

HIRAN MEDEIROS MOREIRA

DESEMPENHO DE MÉTODOS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A
CULTURA DO TOMATEIRO CULTIVADO EM CAMPO E
EM CASA DE VEGETAÇÃO

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

HIRAN MEDEIROS MOREIRA

DESEMPENHO DE MÉTODOS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO PARA A
CULTURA DO TOMATEIRO CULTIVADO EM CAMPO E
EM CASA DE VEGETAÇÃO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA EM: 19 de novembro de 2002.

Prof. Derly José H. da Silva
(Conselheiro)

Prof. Elias Fernandes Sousa

Prof. Rubens Alves Oliveira

Prof. Márcio Mota Ramos

Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

Aos meus pais Creonom da Silva Moreira (*in memoriam*) e
Adnalva Medeiros Moreira.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me dar a oportunidade de viver, pela saúde, pelo amparo, pela guarnição e pela força e luz tão necessárias em todos os momentos de minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Professor Everardo Chartuni Mantovani, pela amizade, pela orientação segura, pelos ensinamentos acadêmicos, pela confiança, pela atitude profissional durante a condução do trabalho e pela convivência o que muito contribuiu para o meu amadurecimento profissional.

Aos Professores conselheiros Derly José Henriques da Silva e Gilberto Chohaku Sedyama, pelas valiosas sugestões, pela atenção e pela dedicação, fundamentais na realização deste trabalho.

À minha esposa Raquel, pelo apoio, pela paciência, pela compreensão, pelo carinho, pelo amor e pelo companheirismo ao longo desta fase de meu desenvolvimento profissional.

Aos meus irmãos Augusto, Daniella e Ludmilla, pela presença constante em meus dias – ainda que fisicamente distantes –, pela amizade, pelo apoio, pelos conselhos, pelo amor, pela atenção, pela consideração, pelo respeito e pela fraternidade.

Aos meus amigos Ivo, Madu, Cézane, Rafael, Ximena, Renato, Charles, Cristiane, Sérgio, César, Vitória, Moisés, Gina e Imaculada, pelos momentos

que passamos juntos e pela amizade construída em fortes laços, registrados na memória de meu coração.

A todos do Recanto das Flores, por ao longo desses anos terem me feito sentir que fazemos parte de uma grande família universal, pelos ensinamentos, pela amizade, pela fraternidade e pelo carinho, que me preencheram a alma de força e disposição para vencer os obstáculos e muito auxiliaram na minha formação como pessoa.

Aos estagiários que me ajudaram na condução do experimento Maíra, Diego, Samir, André, Marlos, Adinan, Sarah e Sidney, pela dedicação, pelo esforço – muitas vezes exaustivo –, pela disposição, pela amizade e pelo companheirismo, e aos demais estagiários do grupo de pesquisa, pelo auxílio na montagem e condução do experimento.

Aos meus colegas de curso Gregório, Marconi, Dalmácio, Cristiano Zinato, Gustavo, Paola, Walfredo Sérgio, Élio e demais integrantes da equipe de pesquisa em manejo de irrigação, pela grande ajuda sempre prestativos e companheiros.

Aos funcionários da Área Experimental e do Departamento de Engenharia Agrícola, pelas diversas vezes em que me auxiliaram.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos acadêmicos.

A todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho – Desejo Luz, Paz e Amor a todos.

BIOGRAFIA

HIRAN MEDEIROS MOREIRA, filho de Creonom da Silva Moreira e Adnalva Medeiros Moreira, nasceu em Itapuranga, GO, em 06 de julho de 1975.

Em 1993, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, onde foi monitor da disciplina ENG 440 – Irrigação e Drenagem, diplomando-se em outubro de 2000.

Nessa mesma data, ingressou no Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, da UFRV, submetendo-se à defesa de tese em novembro de 2002.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Cultivo em casa de vegetação	3
2.2. Cultivo de tomate em casa de vegetação	6
2.3. Irrigação e necessidade hídrica da cultura do tomateiro em campo e em casa de vegetação	8
2.4. Determinação da necessidade hídrica das culturas.....	11
2.4.1. Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc).....	11
2.4.2. Evapotranspiração da cultura ajustada em função da variação da umidade do solo (ks) e da localização de aplicação da água (kl)	14
2.4.3. Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) utilizando coeficiente de cultura duplo (kc duplo).....	18
2.4.4. Medição da evapotranspiração da cultura (ETc).....	22
2.5. Métodos tecnificados de manejo da irrigação	25
2.5.1. Manejo da irrigação utilizando lisímetros	26
2.5.2. Manejo da irrigação utilizando tensiômetros	27

	Página
2.5.3. Manejo da irrigação pelo método do balanço de água no solo utilizando o programa SISDA 3.5 associado à estação meteorológica.....	29
2.6. Considerações	31
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1. Caracterização da área e do ensaio experimental.....	32
3.2. Montagem e manejo da irrigação utilizando lisímetro de lençol freático constante.....	38
3.3. Instalação e manejo da irrigação utilizando tensiômetros.....	40
3.3.1. Manejo da irrigação com déficit utilizando tensiômetros.....	43
3.4. Manejo da irrigação por balanço de água do solo utilizando o programa SISDA 3.5 associado à estação meteorológica e o uso de coeficiente de localização específico (kl)	44
3.5. Definição dos tratamentos	46
3.6. Determinação da necessidade hídrica da cultura utilizando o cálculo do coeficiente de cultura duplo e planilha de cálculo.....	47
3.7. Determinação dos coeficientes da cultura (kc)	49
3.8. Avaliação do desenvolvimento das plantas	50
3.9. Avaliação quantitativa e qualitativa da produtividade.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1. Comportamento dos elementos climáticos dentro e fora da casa de vegetação.....	52
4.2. Avaliação do desenvolvimento das plantas	57
4.3. Avaliação quantitativa da produção	60
4.3.1. Avaliação quantitativa da produção total.....	60
4.3.2. Análise estatística da produtividade total obtida nos tratamentos	64
4.3.3. Avaliação do peso e do número de frutos comercializáveis e não-comercializados	67
4.4. Avaliação qualitativa da produtividade	70
4.5. Comparação entre coeficientes de cultura único e coeficiente de cultura duplo	74

	Página
4.6. Comparação entre coeficiente de cultura medido pelo lisímetro e coeficiente de cultura único estimado ajustado (kc ajustado).	76
4.7. Comparação da necessidade hídrica da cultura definida pelo uso do coeficiente de cultura único, coeficiente de cultura duplo, coeficiente de localização de Keller, coeficiente de localização de Fereres e lisímetro de lençol freático constante.	79
4.8. Irrigações realizadas ao longo do ciclo de cultivo	83
4.9. Estimativa da evolução da umidade do solo ao longo do cultivo	85
5. RESUMO E CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

RESUMO

MOREIRA, Hiran Medeiros, M. S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2002. **Desempenho de métodos de manejo de irrigação para a cultura do tomateiro cultivado em campo e em casa de vegetação.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Gilberto Chohaku Sedyama e Derly José Henriques da Silva.

Este trabalho foi desenvolvido na área experimental de irrigação e drenagem, situada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, durante o período de março a setembro de 2002. Cultivou-se o tomateiro dentro e fora da casa de vegetação, sendo esta com 384 m² de área, estrutura metálica e cobertura na forma circular (altura central de 5 m). Nos dois ambientes foi plantada a mesma área. O objetivo principal foi estudar a necessidade de água do tomateiro e o desempenho do manejo de irrigação pelos métodos: lisímetro de lençol freático constante, balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5 e estação meteorológica, tensiômetros e tensiômetros com déficit hídrico controlado, para dentro e fora da casa de vegetação. Os objetivos secundários foram comparar o comportamento dos elementos climáticos dentro e fora da casa de vegetação, o desempenho do manejo da irrigação utilizando os coeficientes de localização de Keller e Fereres e a demanda hídrica empregando o cálculo do coeficiente de cultura único (kc único) e o coeficiente de cultura duplo (kc duplo); e definir os kc do tomateiro

dentro da casa de vegetação. Os métodos do balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5 (kl Fereres e Kl Keller) e do lisímetro de lençol freático constante alcançaram produtividades mais elevadas (112,4; 103,1; e 98,4 t/ha), o método do tensiômetro apresentou menor produtividade que os primeiros (93,8 t/ha) e o manejo da irrigação com déficit promoveu a menor produtividade que os demais, evidenciando-se a sensibilidade da cultura quando submetida a déficit hídrico (79,1 t/ha). Os ambientes não influenciaram o êxito do uso de cada um desses métodos. Os manejos não propiciaram diferença nas proporções de tamanho de frutos produzidos nem em altura, número de folhas e número de flores produzidas pelas plantas. Aquelas geradas dentro da casa de vegetação apresentaram maior altura média e maior número de flores. A necessidade de água da cultura determinada pelos referidos métodos dentro da casa de vegetação foi, em média, 19,4% menor que a verificada no ambiente externo (223,9 mm e 267,3 mm). A evapotranspiração de referência dentro do ambiente protegido foi 20,3% menor e a radiação incidente, reduzida em 32% com relação ao ambiente externo. O coeficiente de localização de Fereres promoveu elevações de 1/4 e 1/3 da lâmina aplicada para dentro e fora da casa de vegetação, respectivamente. A ET_c determinada com o uso do kl de Fereres foi 10% maior que a medida pelo lisímetro, enquanto a ET_c determinada utilizando kl de Keller foi 15% menor. A curva de k_c medido dentro da casa de vegetação indica que há necessidade de ajustar a duração e o comportamento dos k_c nas várias fases de desenvolvimento da cultura. Os coeficientes de cultura ajustados em função da variação da umidade do solo (k_s) e da localização de aplicação de água (kl) aproximaram-se dos k_c medidos pelo lisímetro de lençol freático constante, ao passo que os ajustados em função do kl de Fereres foram, em geral, maiores que os k_c medidos no lisímetro. Os k_c ajustados em função do kl de Keller foram, em geral, menores que os medidos pelo lisímetro. O uso do k_c duplo não se mostrou fundamental para tornar mais precisa a condução do manejo da irrigação localizada para a cultura do tomateiro.

ABSTRACT

MOREIRA, Hiran Medeiros, M. S., Universidade Federal de Viçosa, November, 2002. **Performance of irrigation management methods for field and greenhouse cultivation of tomato.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee Members: Gilberto Chohaku Sedyama and Derly José Henriques da Silva.

This project was carried out in the experimental area of irrigation and draining, located on the Campus of the Federal University of Viçosa, in Viçosa, from March to September 2002. The tomato was planted inside and outside the greenhouse which has an area of 384 m², a metallic structure, and a circular shaped ceiling (central height of 5m). The same area was planted in both environments. The main objective was to study the water need of the tomato and the performance of the irrigation management through the methods: lisimeter of water level constant, daily water balance using the SISDA 3.5 program and weather station, tensiometers and tensiometers with controlled water deficit, inside and outside the greenhouse. The secondary objectives were to compare the climatic elements behavior inside and outside the greenhouse, the performance of the irrigation management using the location coefficients of Keller and Fereres and the water necessity employing the single crop coefficient calculation (kc single), and the dual crop coefficient (kc dual); and to define the kc of the tomato inside the greenhouse. The water balance

methods using the SISDA 3.5 program (kl Fereres and Kl Keller) and the lisimeter of water constant level reached higher productivity (112,4; 103,1; and 98,4 t/ha), the tensiometer method presented a smaller productivity than the first ones (93,8 t/ha) and the irrigation management with controlled water deficit promoted the smallest productivity, making evident the sensibility of cultivation when submitted to water deficit (79,1 t/ha). The environment did not influence the success of each method. The managements did not present difference in the proportions of size of the fruit produced nor in height, amount of leaves, or quantity of flowers produced by the plants. Those grown inside the greenhouse showed higher average height and larger amount of flowers. The water necessity of the cultivation determined by the mentioned methods inside the greenhouse was, in average, 19,4% lower than that verified in the external environment (223,9 mm and 267,3 mm). The evapotranspiration of reference inside the protected environment was 20,3% less and the incident radiation, reduced 32% in relation to the external environment. The location coefficient of Fereres presented elevations of 1/4 and 1/3 of the accumulated depth water applied inside and outside the greenhouse, respectively. The ET_c determined with the kl of Fereres usage was 10% larger than the one measured by the lisimeter, whereas the ET_c determined utilizing the kl of Keller was 15% lower. The kc curve measured inside the greenhouse indicates the need of adjusting the time and behavior of the kc in the several stages of the cultivation development. The coefficients of cultivation adjusted due to the soil moisture variation (k_s) and water appliance location (kl) approached to the kc measured by the lisimeter of water level constant, whereas those adjusted due to the kl of Fereres were, in general, larger than those measured by the lisimeter. The kc adjusted due to the kl of keller were lower than the ones measured by the lisimeter. The usage of the kc dual was not essential to make the leading of the irrigation management of the tomato cultivation more precise.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura vem se tecnificando com o desenvolvimento de novos equipamentos e a adoção de novas modalidades de cultivo e novas estratégias de manejo das culturas, adequando-se às capacidades financeira e tecnológica de cada produtor.

Os novos sistemas de cultivo são as respostas ao desafio de produzir alimentos de maneira competitiva e sustentável, elevando-se a produtividade e qualidade dos produtos com o mínimo de impacto ao meio ambiente

O cultivo de hortaliças em casas de vegetação vem tendo expressivo crescimento no Brasil, possibilitando aumentar a rentabilidade e, ao mesmo tempo, reduzir os riscos de frustração de safra. Isso tem sido possível pela ação protetora contra situações climáticas adversas propiciada, em certos níveis, pelo uso da cobertura plástica, daí a denominação cultivo protegido.

Dentro da casa de vegetação há alterações dos elementos climáticos que, por sua vez, promovem alterações no desenvolvimento das plantas, incluindo o consumo de água ao longo do cultivo. O conhecimento dessas alterações e das técnicas para condução das culturas nesse ambiente é de fundamental importância para o alcance da produtividade almejada.

A irrigação está sempre presente no processo produtivo em ambiente protegido. Nesse sistema há a possibilidade e perspectiva de transformar pequenas disponibilidades de recursos hídricos em grandes negócios. A água é insumo fundamental para se alcançar o sucesso produtivo, com a ressalva de

que o conhecimento de quando e quanto irrigar pode definir o êxito do empreendimento, otimizando o desenvolvimento vegetativo das plantas, o manejo fitossanitário e a quantidade e qualidade da produção obtida. Correlacionar a necessidade hídrica das culturas com as alterações provocadas com o advento do cultivo em casa de vegetação pode aprimorar a eficiência do uso da água e da capacidade produtiva das culturas.

A hortaliza mais cultivada em ambiente protegido no Brasil é o tomateiro. Essa cultura é bastante sensível ao déficit hídrico, possuindo altíssimo potencial produtivo (acima de 100 t/ha) dentro de um período relativamente curto (120 a 180 dias). Pequenas falhas no fornecimento de água para a cultura poderá incorrer em significativa restrição de produtividade e rentabilidade. A condução do manejo de irrigação é um dos aspectos fundamentais para o alcance de produções satisfatórias.

Há diversos métodos e critérios disponíveis para efetuar, de forma tecnicizada, o manejo da irrigação, havendo escassez de estudos quanto aos mais adequados para a cultura do tomate, bem como quanto a possíveis adaptações necessárias ao seu cultivo em ambiente protegido.

O presente trabalho teve como objetivos principais: (1) comparar o desempenho do manejo de irrigação pelos métodos: lisímetro de lençol freático constante, balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5 e estação meteorológica, tensiômetros e tensiômetros com déficit hídrico controlado; e (2) cotejar a necessidade de água do tomateiro dentro e fora da casa de vegetação. Os objetivos secundários foram: (1) comparar o comportamento dos elementos climáticos dentro e fora da casa de vegetação, o desempenho do manejo da irrigação utilizando os coeficientes de localização de Keller e Fereres e a necessidade de água utilizando o cálculo do coeficiente de cultura único (k_c único) e o coeficiente de cultura duplo (k_c duplo); e (2) definir os k_c do tomateiro dentro da casa de vegetação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultivo em casa de vegetação

Casas de vegetação são instrumentos de proteção ambiental para produção de plantas como hortaliças, flores ou congêneres. Por definição, é a estrutura construída a partir de material diverso, como madeiras, concreto, ferro-doce, ferro galvanizado, duralumínio etc., cobertos com material transparente que permite a passagem da luz solar para crescimento e desenvolvimento das plantas. Há vários tipos de plásticos que podem ser utilizados como cobertura nas casas de vegetação, permitindo o controle do microambiente: polietileno de baixa densidade, plástico de PVC, policarbonato (REIS e MAKISHIMA, 2002).

O cultivo em casa de vegetação tem-se consolidado como uma forma alternativa de produção de olerícolas e flores, buscando elevar o padrão qualitativo da produção e minimizar os riscos do investimento. O cultivo protegido foi introduzido no Brasil por produtores holandeses na década de 50, para produção de flores. O cultivo de hortaliças em casas de vegetação, largamente utilizado em países europeus, no Japão, nos EUA, no Canadá, na Rússia e em Israel (viabiliza a agricultura em regiões desérticas e com invernos rigorosos), foi iniciado no Brasil na década de 80 e está se expandindo de forma bastante intensa. Em meados da década de 90, essa prática já apresentava crescimento anual de 30%, sendo, atualmente, cerca de 10.000

ha cultivados em casas de vegetação. Atualmente, cerca de 60% do cultivo protegido realizado no Estado de São Paulo destina-se à produção de hortaliças e aproximadamente 40%, à produção de flores (TIVELLI, 1998).

Há, basicamente, três sistemas de produção em cultivo protegido: cultivo no solo, cultivo em substrato e hidropônico. O cultivo de hortaliças em condições protegidas, utilizando o próprio solo como substrato, é a forma mais empregada no mundo, principalmente em países em desenvolvimento (SILVA e MAROUELLI, 1998). O tomateiro é a cultura mais cultivada sob esse sistema, especialmente na Região Sul, objetivando a proteção contra o frio; e na Região Sudeste, visando à proteção contra a chuva (CAMARGOS, 1998).

As casas de vegetação podem ser classificadas, com relação ao controle dos parâmetros meteorológicos, em climatizadas, semiclimatizadas e não-climatizadas. As casas de vegetação não-climatizadas são as que reúnem viabilidade econômica e podem ser utilizadas em processo de exploração comercial para produção de hortaliças e flores. Não possuem nenhum tipo de equipamento que utilize energia transformada, estando condicionadas à aplicação de transformação de fatores físicos da própria natureza do ambiente (REIS e MAKISHIMA, 2002). O cultivo nesse ambiente possibilita, até certo ponto, redução de ocorrência de condições climáticas indesejáveis, impedindo que as culturas sejam expostas a ambientes adversos ao seu pleno desenvolvimento.

De acordo com a região e época do ano, a casa de vegetação pode ter finalidade de contrastes: proteger a cultura de precipitação pluvial e de radiação intensa (efeito guarda-chuva – regiões de menores latitudes e estações chuvosas) e contra a elevação da temperatura pelo efeito estufa (em regiões de maiores latitudes e em cultivos no outono/inverno). Com isso, culturas antes inviáveis em determinadas condições climáticas passam a ser viáveis a partir da adoção correta de técnicas de cultivo, consolidando-se mais uma estratégia para a obtenção do êxito na produção agrícola (FILGUEIRA, 2000). A consequência direta é a viabilização do cultivo em épocas do ano antes não recomendadas ou, até mesmo, a introdução do cultivo de espécies antes restritas a determinada condição climática.

A utilização da cobertura plástica nas casas de vegetação promove alterações sobre os elementos meteorológicos que interferem no desenvolvimento da cultura. Durante o dia, o saldo de radiação sendo positivo faz com que a superfície aqueça a parcela de ar próxima a ela, gerando um processo convectivo. Dentro de casas de vegetação, esse processo é interrompido pela cobertura plástica, que impede a ascensão do ar quente, provocando a elevação da temperatura (efeito estufa), afetando o balanço de energia, dependendo do tipo de cobertura, do ângulo de incidência da radiação solar, do tipo de solo e, principalmente, do tamanho da casa de vegetação e seu volume (SEEMAN, 1979).

Dentro do ambiente protegido, há alteração das condições climáticas como um todo: aproximadamente 30% da radiação solar direta é refletida pelo plástico (REIS e MAKISHIMA, 2002); a temperatura se eleva significativamente (as médias se elevam de 1,2 a 4,4 °C) e a amplitude térmica é reduzida (menor queda de temperaturas durante a noite); os níveis de umidade relativa durante a noite são maiores e durante o dia, menores (maiores médias das máximas e menores médias das mínimas); e a velocidade do vento reduz drasticamente (FARIAS et al., 1992). LOPES e STRIPARI (1998) apresentaram resultados de estudos de redução de luminosidade propiciados pela cobertura plástica entre 18 e 43% da luminosidade, chegando dentro da casa de vegetação entre 57 e 82% da radiação incidente. Essa variação do decréscimo da incidência solar global e da transmitância espectral do filme se dá em razão do período de cultivo e das condições do plástico (espessura e limpeza).

Em razão das alterações do ambiente dentro da casa de vegetação, a cultura também se desenvolverá de maneira bastante diferenciada. A compreensão dos efeitos dessas alterações é premissa básica para gerar tecnologia de produção apropriada em todos os aspectos do sistema de cultivo.

A ação combinada dos fatores que afetam a evapotranspiração das culturas faz com que o consumo de água em condições protegidas seja, em geral, menor que em condições de campo (SILVA e MAROUELLI, 1998). Reduções entre 20 e 30% da demanda hídrica acumulada têm sido comumente encontradas nas primeiras pesquisas realizadas no Brasil (TIVELLI, 1998).

Sendo a irrigação atividade obrigatória e intensiva em ambientes protegidos, é necessário que o agricultor tenha algumas precauções no

planejamento do uso da técnica e cuidados durante a operação (TESTEZLAF, 2002). A adoção de um método adequado de manejo da irrigação e a utilização de parâmetros específicos devido às peculiaridades do ambiente protegido são necessárias para o êxito financeiro esperado. A literatura pertinente ainda é escassa, havendo muito para ser estudado e ajustado, sendo crucial a realização de pesquisas conduzidas em nossas condições edafoclimáticas.

Plantas cultivadas em ambientes fechados estão em um estado muito delicado, e dessa forma a margem de lucro do produtor pode ser rapidamente perdida se as operações de manejo forem mal realizadas (TESTEZLAF, 2002).

Devido à escassez de pesquisas e conhecimento a respeito da produção de hortaliças em casas de vegetação, a adoção de práticas culturais convencionais em cultivos protegidos tem provocado abandono da atividade por parte de 70 a 80% dos produtores por volta do segundo ano de cultivo (TIVELLI, 1998).

A hortaliça de maior importância socioeconômica nacional em cultivo convencional e em casas de vegetação é o tomateiro (LOPES e STRIPARI, 1998). A produção nacional anual é de três milhões de toneladas (o Brasil é o oitavo maior produtor mundial), sendo cultivados 56.223 ha com essa planta, o que movimenta na cadeia produtiva 1,5 bilhão de reais (AGRIANUAL, 2002).

2.2. Cultivo de tomate em casa de vegetação

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) é uma planta herbácea, pertencente à família das solanáceas, cultivada em todo o mundo, cujo centro de origem é a América do Sul (Chile ao Equador). É uma planta de clima tropical de altitude que se adapta a quase todos os tipos de climas, só não tolerando temperaturas extremas (LOPES e STRIPARI, 1998). Possui ciclo de 120 a 180 dias que exige água durante todo o seu período de desenvolvimento, desde a germinação da semente no solo até a colheita. Os cultivares comerciais mais produtivos alcançam 120 t/ha, sendo 93% da massa do fruto constituída de água.

A cultura do tomateiro requer grande investimento e manejo complexo, além de apresentar alta rentabilidade e alto risco. O ambiente protegido potencializa a produtividade e rentabilidade do tomateiro, permite a produção

no período de entressafras (fevereiro a maio) e diminui os altos riscos de produção da cultura no campo. Consiste, portanto, numa ferramenta de trabalho que pode proporcionar segurança na produção, eficiência nos tratos culturais e na produtividade, colocação do produto num período de menor oferta e, conseqüentemente, alto retorno do investimento.

O tomateiro é uma planta que exige clima favorável para seu adequado desenvolvimento, para o que a faixa de temperatura ideal é de 18 a 24 °C; temperaturas médias variando de 16 a 27 °C propiciam elevada produtividade. A temperatura é importante para o crescimento vegetativo da cultura como um todo. Na fase reprodutiva, a temperatura está intrinsecamente ligada a florescimento, quantidade de pólen produzida, polinização, fixação e pegamento de frutos, produção de sementes, tamanho, concentração de sólidos solúveis (sabor) e coloração dos frutos (LOPES e STRIPARI, 1998).

A umidade relativa do ar no ambiente protegido tem grande influência no desenvolvimento vegetativo do tomateiro, estando a umidade relativa ótima compreendida entre 50 e 60%. O excesso de umidade no interior da casa de vegetação impede a polinização das flores e provoca abortamento e queda destas. Isso ocorre porque o pólen úmido se aglutina e, ao cair no estigma da flor, não pode fecundar os óvulos da mesma. Em ambiente úmido, há maior possibilidade de aparecimento de doenças criptogâmicas (SGANZERLA, 1995).

Embora o tomateiro seja considerado indiferente ao fotoperíodo, em determinadas condições pode sofrer efeitos de prolongada exposição luminosa (acima de 16 horas). As plantas que crescem em condições de baixa luminosidade tornam-se mais sensíveis ao fotoperíodo (MINAMI e HAAG, 1980). Em cultivos realizados no inverno, período de menor intensidade luminosa, a redução da intensidade luminosa deve ser tal que não provoque aumento de abortamento de flores e má formação de frutos (causa da ocorrência de redução da produtividade verificada em cultivos de inverno).

A elevação da temperatura promove aceleração no crescimento das plantas e no florescimento e amadurecimento dos frutos, favorecendo a precocidade da cultura. No entanto, caso a temperatura se eleve à faixa de 35 °C durante o dia e 25 °C durante a noite, poderá haver maior queda de flores e menor formação de frutos por cachos, em comparação com as

temperaturas normais e adequadas para as plantas (22 °C de dia e 18 °C à noite) (LOPES e STRIPARI, 1998). Caso a baixa temperatura externa impeça a abertura da casa de vegetação para o arejamento, a umidade relativa tende a se elevar substancialmente, o que poderá dificultar a polinização das flores, dificultando também a movimentação dos grãos de pólen pelo ar. Nesses casos, justifica-se o uso de práticas como aplicação de hormônios, jato de ar e abelha mecânica (vibração mecânica dos tutores e, ou, cachos) (SGANZERLA, 1995). Florescimento, polinização e pegamento de frutos são altamente dependentes de condições climáticas adequadas, sobretudo temperatura, umidade relativa e velocidade do vento, o que deve requerer grande atenção por parte do produtor que trabalha com cultivo protegido.

Em condições de verão quente e chuvoso, a estufa funciona como guarda-chuva, e, nesse período, a temperatura interna pode superar a externa em até 15 °C, gerando, com isso, distúrbios fisiológicos na cultura do tomateiro. Muitos produtores que ousam plantar tomates no verão têm tido muitas frustrações, em virtude da porcentagem de flores que caem por não haver polinização ou fixação de frutos (LOPES e STRIPARI, 1998)

A produção de tomate em ambiente protegido exige bom conhecimento técnico, embora existam poucas informações sobre o desempenho da cultura em casa de vegetação, necessitando urgentemente de pesquisas que possam dar maior respaldo às recomendações e, conseqüentemente, contribuir para a expansão e tecnificação dessa atividade (LOPES e STRIPARI, 1998).

Trabalhos de análise técnico-econômica comprovam a viabilidade do investimento na tomaticultura em ambiente protegido no Brasil, desde que sejam levados em consideração aspectos fundamentais, como: escolha do cultivar e da época, manejo da cultura e do ambiente e eficiência de comercialização, atendendo às exigências do mercado e considerando as oscilações de preço (LOPES e STRIPARI, 1998).

2.3. Irrigação e necessidade hídrica da cultura do tomateiro em campo e em casa de vegetação

O tomateiro é exigente quanto à regularidade de irrigação, sendo o excesso de umidade altamente prejudicial. A irrigação por gotejamento é o

método mais utilizado (praticamente exclusivo) para produção de hortaliças em casas de vegetação, propiciando maior eficiência de aplicação, facilitando o manejo integrado de pragas e doenças e otimizando a aplicação de fertilizantes através da fertirrigação. Mesmo em cultivos convencionais, o gotejamento tende a substituir os demais métodos em muitas situações, especialmente em solos arenosos, devido à economia de água e elevada eficiência de aplicação propiciadas pelo método. Esse aspecto adquire dimensão ainda maior devido aos conflitos pelo uso de recursos hídricos, cada vez mais freqüentes e intensos (SGANZERLA, 1995), necessitando da otimização do uso de água e energia. MAROUELLI et al. (2001) concluíram que a irrigação por gotejamento aumenta a produtividade e reduz a percentagem de frutos podres quando comparada com a irrigação por aspersão. Em cultivos irrigados por aspersão convencional e pivô central, conduzidos na região de cerrados, tem aumentado a infestação de bacterioses como *Xanthomonas campestris pv* e *Pseudomonas syringae*, proporcionada pelo contínuo molhamento da parte aérea das plantas, estimulando os produtores a implantar sistemas de irrigação por gotejamento (MAROUELLI et al., 2002).

Em regiões de elevada umidade relativa, pode-se afirmar que a escassez de água chega a ser menos prejudicial que o excesso (SGANZERLA, 1995). Em geral, os produtores, ao observarem uma planta crescer com muita velocidade, principalmente nas condições de verão, tendem a fornecer água em demasia, não avaliando o contexto do ambiente dentro da casa de vegetação (LOPES e STRIPARI, 1998). A consequência direta é propiciar ambiente mais úmido, causando injúrias às raízes pela diminuição do teor de oxigênio e pelo aumento de gás carbônico, o que pode paralisar o crescimento (MINAMI e HAAG, 1980), além de facilitar a disseminação e aumento da pressão de inóculo de fitopatógenos (sobretudo fungos e bactérias).

A cultura apresenta consumo hídrico acumulado variando de 300 a 600 mm por ciclo, dependendo da duração do ciclo, evapotranspiração de referência da região e época de plantio.

O consumo de água das plantas dentro da casa de vegetação é menor que no ambiente externo, podendo haver redução da evapotranspiração de 20 a 55% (FARIAS et al., 1992), sendo mais comuns reduções de 20 a 30% (TIVELLI, 1998). Isso se deve, principalmente, à redução do fluxo de radiação

solar incidente e à menor velocidade de renovação do ar junto às plantas (DALSASSO et al., 1998).

Um dos novos desafios ao estudo de consumo de água está nos novos sistemas de cultivo protegido. Apesar da grande tecnificação do sistema de produção, há muitas modalidades de cultivo, havendo, também, as dificuldades de padronização das medições para controle do uso da água. As discussões em torno do tema são iniciais e pouco pragmáticas. De modo geral, o consumo de água em condições de cultivo protegido é cerca de 60 a 80% daquele verificado em condições de campo aberto (ARRUDA et al., 2002).

Considerando a inexistência de resultados de pesquisa que possibilite ajustar, em vários contextos, a demanda hídrica para dentro da casa de vegetação, especialistas têm indicado o uso do bom senso associado a técnicas de manejo de irrigação utilizadas em cultivo no campo. SILVA e MAROUELLI (1998) recomendaram que, na ausência de informações específicas que possam ser utilizadas para quantificar a demanda hídrica dentro da casa de vegetação, a quantidade de água aplicada pode ser feita tal como no campo, fazendo-se um rigoroso monitoramento da umidade por meio de tensiômetros. Dessa maneira, o agricultor faria contínuos ajustes, ganhando experiência ao longo do tempo. LOPES e STRIPARI (1998) afirmaram que, enquanto não se obtêm informações mais completas sobre evapotranspiração dentro do ambiente protegido em nossas condições, têm-se utilizado valores obtidos em estações meteorológicas próximas da área de cultivo. Alertam que, como esses valores não representam a realidade, deve-se proceder com atenção e bom senso para fornecer água suficiente e não em pouca ou quantidade em demasia. Adotar o critério de irrigação do ambiente externo para ser utilizado no ambiente protegido consiste numa forma simplória e precária de manejar a irrigação. Há necessidade de aprimoramento de conhecimento técnico para conduzir a irrigação dentro da casa de vegetação, de forma mais específica e acurada.

Como não há chuva dentro do ambiente protegido, deve-se tomar precauções para não salinizar o solo. A irrigação por gotejamento associada à prática da fertirrigação, caso ambas sejam utilizadas de forma indiscriminada, associadas ao potencial natural de salinização da água utilizada, pode levar à rápida salinização dos solos (TESTEZLAF e QUEIROZ, 2002). A maior

concentração salina ocorre nos limites do bulbo molhado, principalmente na superfície do solo devido ao processo de evaporação. Para tanto, a condutividade elétrica da água de irrigação não deverá ultrapassar 2 dS/m. Valores de condutividade elétrica da solução do solo acima de 3 dS/m podem tornar o solo impróprio para o cultivo de hortaliças. Como prática preventiva, é fundamental o monitoramento dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e da solução do solo. Caso seja necessário, a aplicação de lâminas de lixiviação durante o cultivo pode ser realizada. Outra opção seria o uso de pesadas lâminas de lixiviação nos intervalos entre cultivos (até 200 mm, utilizando aspersão ou inundação) (MAROUELLI e SILVA, 1998).

O aprimoramento do conhecimento técnico a respeito das necessidades hídricas da cultura, os parâmetros envolvidos e os métodos mais viáveis para a condução racional da irrigação são de grande importância para elevar a margem de segurança do produtor, uma vez que o fornecimento adequado de água está vinculado a todos os aspectos envolvidos na produção vegetal.

2.4. Determinação da necessidade hídrica das culturas

A necessidade hídrica das culturas pode ser determinada a partir da estimativa ou medição da evapotranspiração (evaporação + transpiração) que ocorre na área de cultivo (ET_c), variando conforme a espécie cultivada, o estágio e condições de desenvolvimento da cultura e o clima do ambiente.

2.4.1. Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c)

A estimativa da ET_c envolve um procedimento que se desenvolve em duas etapas. Na primeira, estima-se a evapotranspiração de referência (ET_o), geralmente utilizando uma equação empírica. Na segunda, a ET_c é obtida ao multiplicar ET_o por um coeficiente de cultura (k_c) que integra as características desta (varia de acordo com a fase fenológica) e do clima local (DOORENBOS e PRUITT, 1977) (equação 1).

SMITH (1991) e ALLEN et al. (1998 - FAO Irrigation and Drainage paper 56) propuseram novo conceito para cultura de referência. A evapotranspiração de referência passou a ser definida como a evapotranspiração promovida por

uma hipotética cultura de grama que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica nem nutricional, com altura média de 0,12 m, albedo 0,23 e resistência da superfície ao transporte de vapor de 70 s/m. O modelo utilizado como padrão para estimar a ETo passou a ser a equação de Penman-Monteith parametrizada. Esse método foi selecionado porque é o que mais se aproxima da ETo da grama no local avaliado, tem embasamento físico e incorpora explicitamente tanto os parâmetros fisiológicos quanto os aerodinâmicos (ALBUQUERQUE et al., 2002).

FACCIOLI (1998) realizou um estudo visando padronizar um modelo para estimar a ETo dentro do ambiente protegido. Para tanto, testou vários métodos, concluindo que a equação de Penman-Monteith parametrizada também pode ser considerada padrão para estimar a ETo dentro de casas de vegetação.

$$ET_c = ETo \times kc \quad \text{equação (1)}$$

em que

ET_c = evapotranspiração da cultura;

ETo = evapotranspiração de referência; e

kc = coeficiente da cultura.

O coeficiente da cultura (kc) varia conforme o estágio de desenvolvimento da mesma. DOORENBOS e PRUITT (1977) e DOORENBOS e KASSAN (1979) reuniram grande quantidade de informações a respeito das necessidades hídricas das culturas, apresentando amplo estudo sobre kc na maioria das espécies cultivadas comercialmente. O método consiste em dividir o ciclo da cultura em quatro fases de desenvolvimento, definindo-se um kc específico para cada fase. ALLEN et al. (1998) atualizaram essa metodologia, propondo equações para ajustar os kc em razão de variações climáticas.

No Quadro 1, a fase de floração é considerada quando 50% das plantas apresentam flores. Os kc são definidos considerando a velocidade do vento, umidade relativa e altura do dossel da cultura. O coeficiente da fase de produção citado (kc_{med}) diz respeito ao cultivo de tomateiro tutorado verticalmente.

Quadro 1 – Definição dos estádios e k_c do tomateiro cultivado sob manejo adequado, sem estresse, em clima subúmido, com umidade relativa mínima de 45% e velocidade do vento de 2,0 m/s

Estádios	Definição	Kc tomate
Inicial	Germinação até 10% de cobertura vegetal	0,60
Desenvolvimento	Inicial até floração (75% cobertura vegetal)	0,90
Produção	Floração até início da maturação	1,20
Maturação	Início da maturação até a colheita	0,70 – 0,90

Fonte: ALLEN et al. (1998).

O k_c inicial ($k_{c_{ini}}$) está sujeito aos efeitos das variações das freqüências de umedecimento. Em umedecimentos freqüentes, como irrigação por aspersão ou chuva de alta freqüência, os valores de $k_{c_{ini}}$ podem aumentar substancialmente (ALBUQUERQUE et al., 2002). SILVA e MAROUELLI (1998) recomendaram, em condições de alta freqüência de irrigação, valores mais elevados para $k_{c_{ini}}$: 0,70 – 0,90 para irrigações diárias e 0,60 – 0,80 para turno de rega de dois dias.

O cálculo dos k_c da fase de produção ($k_{c_{med}}$) e fase de maturação ($k_{c_{fim}}$), para cada situação climática que difira da situação-padrão, é feito através da equação 2.

$$k_{cfase} = k_{cfase}(tab) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad \text{equação (2)}$$

em que

$k_{cfase}(tab)$ = coeficiente de cultura da fase específica (produção ou maturação), a ser ajustado em relação ao valor tabelado, adimensional;

u_2 = velocidade do vento média de 2 m de altura, em m/s;

UR_{min} = média da umidade relativa mínima diária, em %; e

h = altura da planta, em m.

Os valores apresentados são para culturas não-estressadas sob excelentes condições agronômicas e de manejo de água, condição propícia para produzir potencialmente (ALBUQUERQUE et al., 2002). Quando as culturas divergirem em sua dinâmica de produção do padrão apresentado, fazem-se necessárias adaptações oportunas para cada contexto. Para a cultura do tomateiro, quando há o transplântio da muda não é necessário considerar a primeira fase, e, como a planta não alcança a fase de maturação de todos os frutos ao mesmo tempo, a quarta fase também é desprezada para a realização do manejo de irrigação.

2.4.2. Evapotranspiração da cultura ajustada em função da variação da umidade do solo (k_s) e da localização de aplicação da água (k_l)

O método apresentado para determinar a ET_c (ALLEN et al., 1998) objetiva a determinação da evapotranspiração da cultura, sendo o cultivo conduzido em ótimas condições de desenvolvimento, adequadamente manejado, sem estresses hídrico e nutricional. Intrinsecamente, também supõe o suprimento de água na forma de precipitação ou irrigação total (cobrindo toda a área).

A redução dos níveis de umidade do solo em períodos após a irrigação ou precipitação, mais evidenciada em cultivos irrigados com turnos de rega maiores, promove decréscimos da energia potencial da água, dificultando a absorção pelas plantas, que, mesmo em níveis pequenos, poderá estar em estresse hídrico. Os efeitos do estresse hídrico na evapotranspiração da cultura podem ser descritos utilizando o coeficiente de redução da evapotranspiração dependente da disponibilidade de água no solo, também chamado de coeficiente de estresse hídrico (k_s) (ALLEN et al., 1998), o qual promoverá um ajuste na ET_c .

O coeficiente de estresse hídrico (k_s) promove o ajuste da evapotranspiração potencial para a evapotranspiração real da cultura em função do nível de umidade atual do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento. Na literatura, há diversas proposições para o cálculo de k_s . A maioria dos pesquisadores acredita que o k_s é igual a 1 (evapotranspiração real se iguala à potencial) durante algum tempo após a irrigação, decrescendo rapidamente a

partir de determinado valor de umidade do solo, segundo uma forma exponencial (BERNARDO, 1996). Há três considerações que se destacam:

k_s linear (modelo linear), a partir da equação

$$k_s = \frac{(Ua - PM)}{(CC - PM)} \quad \text{equação (3)}$$

k_s logarítmico (modelo logarítmico), a partir da seguinte equação:

$$k_s = \frac{\ln[(Ua - PM) + 1]}{\ln[(CC - PM) + 1]} \quad \text{equação (4)}$$

k_s unitário, utilizado quando a umidade estiver sempre muito próxima da capacidade de campo (turnos de rega muito reduzidos), ou seja:

$$k_s = 1 \quad \text{equação (5)}$$

em que

k_s = coeficiente de estresse hídrico em função da umidade atual do solo;

Ua = umidade atual do solo, em %;

PM = ponto de murcha permanente, em %; e

CC = capacidade de campo, em %.

Na Figura 1, pode-se visualizar o padrão de variação do k_s pelos modelos linear e logarítmico.

Para determinar a evapotranspiração em cultivos irrigados por métodos de irrigação localizada, é necessário o uso de coeficiente de ajuste específico (k_l). Em média, a irrigação localizada molha apenas de 1/3 a 2/3 da área, reduzindo a evapotranspiração em razão do decréscimo da área molhada e da área sombreada pela cultura. A magnitude de redução da evapotranspiração dependerá de várias características das partes transpirantes das plantas, como: massa foliar, superfície total das folhas e volume da copa, entre outras (HERNANDEZ ABREU et al., 1987; PIZARRO, 1990). Assim, em irrigação localizada, é necessário fazer uma correção na evapotranspiração da cultura (ET_c) determinada nos demais sistemas de irrigação (SOARES, 1998). A correção devida à localização consiste em multiplicar a ET_c por um coeficiente de localização (k_l), cujo valor depende, sobretudo, da percentagem de área sombreada e, ou, molhada do solo ao longo do ciclo da cultura.

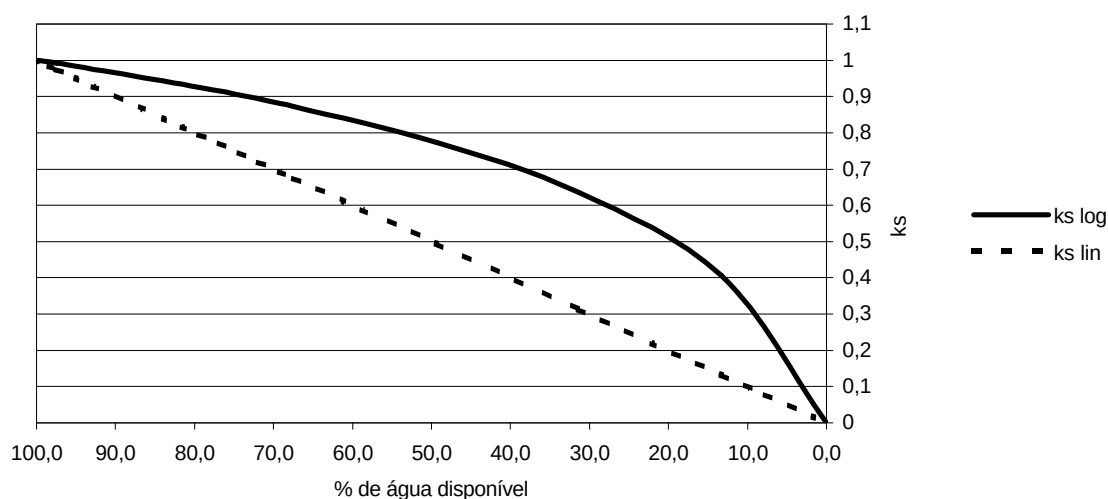


Figura 1 – Curvas do coeficiente de estresse hídrico (k_s) em função da percentagem da água disponível no solo. Modelos logarítmico e linear.

Vários autores propuseram equações ou modelos para determinar o coeficiente de localização. Os modelos mais práticos para determinar k_l são aqueles que se baseiam na percentagem de área sombreada, que é definida como a fração da superfície do solo sombreada pela cobertura vegetal ao meio-dia no zênite local, em relação à superfície total (PIZARRO, 1990).

Entre os modelos que visam representar a relação entre k_l e percentagem de área sombreada, alguns são, a seguir, apresentados:

1. KELLER (1978)

$$k_l = 0,85P + 0,15 \quad \text{equação (6)}$$

2. KELLER e BLIESNER (1990)

$$k_l = \sqrt{P} \quad \text{equação (7)}$$

3. KELLER e KARMELI (1975)

$$k_l = \frac{P}{0,85} \quad \text{equação (8)}$$

4. FERERES (1981)

$$\text{Se, } P \geq 65\% \rightarrow kl = 1 \quad \text{equação (9)}$$

$$\text{Se, } 20\% < P < 65\% \rightarrow kl = 1,09P + 0,30 \quad \text{equação (10)}$$

$$\text{Se, } P \leq 20\% \rightarrow kl = 1,94 P + 0,1 \quad \text{equação (11)}$$

5. Aljibury et al. (1974), citados por HERNANDEZ ABREU et al. (1987)

$$Kl = 1,34P \quad \text{equação (12)}$$

6. Decroix (CTGREF – Comunicação pessoal), citado por VERMEIREN e JOBLING (1980)

$$Kl = 0,1 + P \quad \text{equação (13)}$$

7. Hoare et al. (1974), citados por HERNANDEZ ABREU et al. (1987)

$$Kl = P + 0,5 (1 - P) \quad \text{equação (14)}$$

Em todas as equações, P representa a parcela (percentagem) da área sombreada, em decimal.

Uma crítica que se pode fazer sobre as equações anteriores, com exceção das propostas por FERERES (1981) e KELLER e BLIESNER (1990), é o aspecto linear da relação entre kl e P utilizado nessas equações (PIZARRO, 1990). Trabalhos conduzidos na Califórnia por FERERES (1981), com as culturas da amendoeira e do pessegueiro, evidenciaram que tal relação não se cumpre e que, para pequenos valores de P , as necessidades calculadas podem ser menores que as reais.

Em síntese, a evapotranspiração da cultura ajustada (ETc_{aj}) define a demanda de água da cultura, sendo de fundamental importância na determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada. O programa SISDA 3.5 utiliza a seguinte equação para cálculo da ETc (MANTOVANI e COSTA, 1998):

$$ETc_{aj} = ET_o \times kc \times ks \times kl \quad \text{equação (15)}$$

em que

ETc_{aj} = evapotranspiração da cultura ajustada;

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm/dia;

k_c = coeficiente da cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento, adimensional;

k_s = coeficiente de estresse hídrico, em função da variação da umidade do solo (0 a 1), adimensional; e

k_l = coeficiente de localização, dependente da percentagem de área molhada e sombreada (0,2 a 1,0).

Dependendo de outros tipos de estresse, como solo com elevada salinidade, deficiência nutricional, camada de impedimento ou encharcamento, pragas, doenças etc., a evapotranspiração poderá se reduzir. Nesse caso, a ET_{c-aj} é calculada ajustando-se o k_c para outros tipos de estresse (ALBUQUERQUE et al., 2002).

2.4.3. Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) utilizando coeficiente de cultura duplo (k_c duplo)

ALLEN et al. (1998), no boletim FAO 56, atualizaram o conhecimento quanto à determinação da necessidade hídrica das culturas. Nesse trabalho, novos critérios de ajustes para determinação de k_c , em situações típicas e atípicas (plantio direto, cultivo consorciado, *mulches* etc.), foram apresentados. Além de aprimorar a metodologia apresentada pelo boletim FAO 24 (1977), o conceito e a metodologia para determinação do coeficiente de cultura duplo foram apresentados. O k_c duplo desmembra os componentes do processo de evapotranspiração em evaporação e transpiração.

$$K_{c_{duplo}} = K_e + k_{cb} \quad \text{equação (16)}$$

em que

k_e = coeficiente de evaporação, definido em função da evaporação que ocorre na superfície do solo; e

k_{cb} = coeficiente de transpiração ou coeficiente de cultura basal, definido para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

As diferenças na evaporação e transpiração entre campos de uma cultura comercial e a cultura de referência podem ser integrados em apenas um coeficiente de cultura (k_c) ou separado em dois coeficientes: coeficiente de cultura basal e coeficiente de evaporação da água do solo. O k_c simples (único) é mais utilizado para planejamento, projeto e manejo de irrigação. Os coeficientes duplos são relevantes nos cálculos em que requerem estimativas detalhadas da evaporação da água do solo, como na programação da irrigação em tempo real, na modelagem da qualidade da água e em atividades de pesquisa (ALBUQUERQUE et al., 2002).

O componente de evaporação varia diariamente de acordo com a umidade na camada superficial do solo. Já o componente de transpiração possui comportamento mais estável, sendo tabelado em faixas de variação para cada fase do ciclo da cultura (tal como o k_c único). O cálculo do k_c duplo possibilita maior acurácia, uma vez que o k_e varia muito, de acordo com os elementos meteorológicos e a umidade da superfície do solo, sobretudo em estações chuvosas e utilizando irrigação em área total.

O uso de planilhas aumenta a praticidade para realizar o cálculo diário do k_c duplo, uma vez que requer o balanço hídrico diário nos primeiros 10 a 15 cm de profundidade, camada em que ocorre o processo evaporativo, necessário para determinação do coeficiente de evaporação (k_e). O k_e possui peso maior na determinação do k_c durante a fase inicial da cultura, momento em que o solo se apresenta exposto e a capacidade transpirométrica da cultura está reduzida. Durante a fase inicial, caso haja chuva ou irrigação freqüente (típico para irrigação localizada), o componente de evaporação se eleva, promovendo um substancial aumento do k_c . A partir do pleno desenvolvimento vegetativo e em razão do sombreamento do solo e da maior capacidade transpirométrica da cultura, o k_e torna-se menos representativo na formação do k_c duplo, sendo o k_c basal preponderante na definição daquele.

O k_e é definido pela seguinte equação:

$$k_e = k_r(k_{cmáx} - k_{cb}) \leq f_{ew} k_{cmáx} \quad \text{equação (17)}$$

(menor entre os dois termos da equação)

em que

k_e = componente de evaporação do solo, adimensional;

k_{cb} = coeficiente de cultura basal, tabelado por fase fenológica, adimensional;

$k_{cmáx}$ = máximo valor de k_c após chuva ou irrigação, adimensional;

k_r = coeficiente de redução da evaporação, dependente do acúmulo de lâmina de água evaporada da superfície do solo e definido diariamente, adimensional; e

f_{ew} = fração do solo exposta e molhada, em %.

O coeficiente de cultura basal (k_{cb}) é definido em função do estágio de desenvolvimento da cultura, havendo quatro estádios e quatro k_{cb} por cultura (tal como o k_c único). É ajustado para cada condição climática, segundo a equação 2.

A evaporação ocorre predominantemente na fração exposta do solo, e conseqüentemente a evaporação é restrita pela energia disponível na fração exposta. Por isso, k_e não pode exceder $f_{ew} \times k_{cmáx}$ (segundo termo da equação). O cálculo diário do k_e pode ser didaticamente compartimentalizado em três passos: cálculo do $k_{cmáx}$, cálculo do k_r e cálculo de f_{ew} .

O k_c máximo representa o limite máximo da evapotranspiração de qualquer superfície cultivada, variando dentro da faixa de 1,05 a 1,30 da ETo . Pode ser calculado pela seguinte equação:

$$k_{cmáx} = \max \left\{ \left[1,2 + [0,04 (u_2 - 2) - 0,004 (UR_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \right], \{ K_{cb} + 0,05 \} \right\}$$

equação (18)

em que

$k_{cmáx}$ = limite máximo do coeficiente da cultura, adimensional;

u_2 = velocidade do vento média de 2 m de altura, em m/s;

$UR_{\min}$ = média da umidade relativa mínima diária, em %;

h = altura da planta, em m; e

k_{cb} = coeficiente de cultura basal, adimensional.

O coeficiente de redução da evaporação do solo (kr) é calculado diariamente, sendo definido em dois estádios. No primeiro estágio, a energia incidente é que limita a evaporação, pois a superfície está molhada (após chuva ou irrigação); nesse estágio, o kr é 1. Quando a água contida na superfície do solo se torna limitante para o processo evaporativo, o kr decresce e torna-se zero quando a quantidade total de água evaporável da superfície do solo se extingue. No segundo estágio, o kr pode ser calculado a partir da equação

$$kr = \frac{TEW - De_{i-1}}{TEW - REW} \quad \text{equação (19)}$$

em que

kr = coeficiente de redução da evaporação dependente da depleção da água evaporável da superfície do solo, adimensional;

TEW = lâmina d'água total evaporável da camada superficial do solo, em mm;

De_{i-1} = lâmina d'água acumulada evaporada da camada superfície do solo ao final do dia anterior; e

REW = lâmina d'água evaporável no primeiro estágio (quando $kr = 1$) variando de 8 a 12 mm, de acordo com a textura do solo (arenoso a argiloso, respectivamente), em mm.

A lâmina total evaporável da camada superficial dependerá dos limites de água disponível do solo e da profundidade da superfície do solo que perde água por meio da evaporação, ou seja:

$$TEW = \frac{(CC - 0,5PM)}{10} \times ds \times Ze \quad \text{equação (20)}$$

em que

CC = capacidade de campo, em %;

PM = ponto de murcha permanente, em %;

ds = densidade do solo, em g/cm^3 ; e

Ze = profundidade da superfície solo sujeita à evaporação, em cm (10 a 15 cm).

A fração exposta e molhada da superfície (f_{ew}) define a percentagem da área de cultivo mais susceptível ao processo evaporativo. Pode ser calculada pela seguinte equação:

$$f_{ew} = \min (1 - f_c, f_w) \quad \text{equação (21)}$$

em que

f_c = fração média de solo coberto;

$1 - f_c$ = fração média de solo exposto e não coberto (ou sombreado) por vegetação, variando de 0,01 a 1; e

f_w = fração da superfície do solo molhada pela irrigação ou precipitação, variando de 0,01 a 1.

A partir do que fora apresentado, pode-se afirmar que o k_c duplo propicia condições de ajustes finos no cálculo da necessidade hídrica das culturas, sobretudo na fase inicial, em culturas que expõem o solo por um período maior e em cultivos irrigados com pequeno turno de rega (irrigação localizada). Situações essas em que o componente de evaporação tende a se elevar, aumentando a possibilidade de erro do k_c único empregado.

Estudos de k_c duplo realizados em condições edafoclimáticas brasileiras são escassos, embora importantes para possibilitar uma avaliação sobre a precisão do uso de k_c único e, talvez, contribuir para ajustá-los.

A metodologia para o cálculo de k_c duplo não exime a necessidade de promover ajustes na ET_c em situações em que ocorra variação da umidade do solo (k_s) e em localização da irrigação (k_l).

2.4.4. Medição da evapotranspiração da cultura (ET_c)

Há vários métodos diretos utilizados para medir a necessidade hídrica das culturas, dentre os quais podem ser citados lisímetros, parcelas experimentais, controle de umidade do solo e método da entrada/saída em grandes áreas. O método mais preciso para medir a evapotranspiração é por

meio do uso de lisímetros, desde que sejam instalados corretamente (BERNARDO, 1996).

Lisímetros são tanques enterrados no solo, dentro dos quais se mede a evapotranspiração. A palavra lisímetro é derivada do grego *lysis*, que significa dissociação ou movimento; e *metron* significa mensurar. São volumes de controle que devem ser bem impermeabilizados, podendo ser construídos de material variado, como concreto, amianto e plástico. São preenchidos com solo e devem ser localizados para representar um ambiente específico. Podem apresentar superfície nua ou coberta por vegetação, para determinação da evaporação em solo exposto ou evapotranspiração de culturas (ABOUKHALED et al., 1982).

Existem vários tipos de lisímetros, sendo o tamanho e a geometria de cada um baseados no requerimento específico do estudo e das condições de construção e custos envolvidos. A forma e área do lisímetro devem ser baseadas no tipo de cultura e no desenvolvimento radicular (HOWELL et al., 1991), e sua localização deve representar as condições de solo e plantas do ambiente de cultivo.

Os lisímetros podem ser, basicamente, de três tipos:

- ✓ Não-pesáveis, com lençol freático (L.F.) de nível constante.
- ✓ Não-pesáveis, com drenagem livre.
- ✓ Lisímetros pesáveis.

Os lisímetros de pesagem apresentam a possibilidade de medir a evapotranspiração que ocorre em intervalos muito curtos (horários e diários), o que não acontece com os demais tipos de lisímetros; consistem em um tanque apoiado sobre uma balança mecânica, de modo que toda variação de peso seja promovida por perda de água por evapotranspiração; e apresentam alto custo de instalação (BERNARDO, 1996).

O lisímetro de lençol freático constante foi proposto originalmente por Thornthwaite em 1948, denominado evapotranspirômetro de nível constante. Consiste em um tanque com 70 cm de profundidade, dotado de dispositivos de suprimento e percolação de água com o nível de água mantido por meio de um sistema de válvula e bóia. É utilizado para medida de evapotranspiração potencial e estudos de evaporação do solo (SILVA, 1996). Utilizando esse

instrumento, realizaram-se comparações de algumas das principais equações de estimativa da evapotranspiração para o Estado de São Paulo (ARRUDA et al., 2002). FACCIOLI (1998) comparou vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência com a evapotranspiração potencial obtida em lisímetros de lençol freático constante com grama (considerada ETo) em casas de vegetação, padronizando a estimativa da ETo pela equação de Penman-Monteith também para o ambiente protegido. O lisímetro pode também ser adaptado para medir a evapotranspiração de culturas, desde que seja construído com profundidade adequada para o desenvolvimento radicular da planta, uma vez que o original foi desenvolvido para grama, e que se faça o adequado manejo da profundidade freática, para evitar a superestimação ou subestimação da ETc. Isso possibilita o uso de evapotranspirômetros para determinação de kc.

Embora os lisímetros de lençol freático de nível constante não permitam medidas com o mesmo grau de exatidão e em intervalos tão curtos quantos os lisímetros de pesagem, eles têm custos de instalação e operação bem menores, sendo também muito utilizados para determinação da evapotranspiração máxima de cada fase de crescimento nas principais culturas, o que é necessário para definição do valor do coeficiente da cultura por estágio de desenvolvimento. Nesse tipo de lisímetro, o lençol freático é mantido constante na parte inferior do tanque e em resposta ao consumo de água pela cultura; a água se desloca para a zona radicular por capilaridade (VILLA NOVA e REICHARDT, 1989). O abaixamento do nível freático é automaticamente compensado por um dispositivo que repõe a água, sendo a quantidade medida em um reservatório de abastecimento (FERREIRA et al., 2001).

A determinação da ETc é a partir da lâmina média consumida no lisímetro, o que pode ser observado após a leitura diária em uma régua graduada adaptada no reservatório de abastecimento de cada lisímetro.

Como a movimentação da água no solo é relativamente lenta, as medições de evapotranspiração apresentam adequada precisão quando efetuadas na forma de médias semanais, quinzenais ou mensais (BERNARDO, 1996). SILVA (1996) realizou estudos sobre o uso de dispositivos lisimétricos para o cálculo da evapotranspiração de referência, concluindo que o lisímetro

de lençol freático constante apresenta resultados inconsistentes em base diária e a cada cinco dias.

2.5. Métodos tecnificados de manejo da irrigação

A irrigação deve ser realizada para suprir, de forma adequada, as exigências hídricas da cultura, propiciando, assim, condição para o seu pleno desenvolvimento. A quantidade de água a ser aplicada pelo sistema de irrigação deve ser tal que promova a elevação do teor de umidade do solo à capacidade de campo.

A eficiência do manejo de irrigação é avaliada pela capacidade que o método tem de determinar quando e quanto irrigar e promover aplicação de água na quantidade requerida pela cultura, possibilitando condições para a planta produzir de forma potencial. Ao mesmo tempo, é importante que o sistema de irrigação utilizado apresente elevada eficiência de aplicação, de forma uniforme e sem vazamentos, para que não haja aplicação em quantidade excessiva, evitando elevação do custo de energia elétrica (ou diesel), perdas do recurso hídrico por percolação profunda e degradação dos recursos naturais.

Para implantar um método de manejo de irrigação, é fundamental que se avalie o funcionamento do sistema de irrigação utilizado. Testes de uniformidade de aplicação e determinação da eficiência de aplicação do sistema devem ser realizados utilizando metodologias apropriadas.

Para o manejo adequado da água de irrigação, é necessário o controle rigoroso da umidade do solo e, ou, da evapotranspiração durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto, é indispensável o conhecimento de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima, para determinar o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada (MAROUELLI et al., 1994). O manejo racional da água de irrigação visa minimizar o consumo de energia, maximizar a eficiência do uso da água e manter favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas. Pode ser baseado em critérios relacionados ao “status” da água no solo e nas plantas, na taxa de evapotranspiração da cultura ou na combinação de dois ou mais critérios ou parâmetros. Em alguns casos, o uso associado de

dois métodos pode elevar a precisão na determinação da necessidade hídrica da cultura. A escolha do método e critério dependerá da disponibilidade de informações e do nível tecnológico da produção (SILVA e MAROUELLI, 1998).

Há vários métodos para realizar, de forma tecnificada, o manejo de irrigação, sendo todos utilizados para informar quando e quanto irrigar. Os métodos mais utilizados em condições de campo são os baseados no turno de rega pré-calculado, no balanço e na tensão de água no solo.

O método do turno de rega não realiza o manejo em tempo real, havendo uma previsão de demanda de irrigação em função da evapotranspiração média mensal e histórica, daí apresentar menor precisão. Por ser de simples execução e baixo custo, é o mais utilizado. É recomendado quando não se dispõe de dados e, ou, equipamentos que permitam a utilização de um método mais eficiente (MAROUELLI et al., 1994).

Entre os que podem promover a determinação da lâmina de irrigação em tempo real com adequada precisão, em ensaios experimentais e cultivos de campo, pode ser citado o manejo da irrigação utilizando lisímetros, tensiômetros e balanço de água do solo. Há recursos que facilitam e incrementam o método do balanço hídrico do solo, como o uso de estação meteorológica, planilhas de cálculo ou programas computacionais.

2.5.1. Manejo da irrigação utilizando lisímetros

O uso de lisímetros para definição da lâmina de irrigação é, sobretudo, em ensaios experimentais. Isso ocorre devido à complexa montagem e utilização desses equipamentos. Obviamente, os lisímetros de pesagem são proibitivos para manejar a irrigação em cultivos comerciais, em função do custo de implantação desses instrumentos. Os lisímetros de lençol freático constante e de drenagem apresentam custos de instalação bem menores, embora a manipulação deles seja bastante complexa, tendo em vista a praticidade requerida pelos irrigantes.

Em casas de vegetação não há ocorrência de precipitação, o que facilita muito a utilização de lisímetros de lençol freático constante, não havendo necessidade de realizar drenagens periódicas para rebaixar o lençol freático. O uso de lisímetros de lençol freático para determinar a lâmina a ser aplicada em

cultivos experimentais em casas de vegetação possibilita a medição da demanda hídrica da cultura, podendo ser de grande importância na comparação com outros métodos.

Desde que sejam instalados de forma adequada, sem vazamentos, com sistemas de drenagem e reposição automática de água com adequado funcionamento, a lâmina d'água consumida pode ser aferida em função da variação de leituras do nível da água nos reservatórios de alimentação.

A lâmina de irrigação pode ser determinada da seguinte forma:

$$LI(c.v.) = \frac{\Delta \text{ leitura na régua } \times \text{ ajuste}}{Ea} \quad \text{equação (22)}$$

em que

$LI(c.v.)$ = lâmina de irrigação dentro da casa de vegetação, em mm;

$\Delta \text{ Leitura na régua}$ = variação de leituras nos reservatórios de abastecimento entre os dias anteriores sem irrigação, em mm;

ajuste = coeficiente de ajuste entre reservatório e lisímetro, adimensional; e

Ea = eficiência de aplicação, em %.

Um aspecto de fundamental importância para o manejo da irrigação por lisímetros de lençol freático constante, ainda mais quando se pretende determinar o k_c da cultura, é a definição do manejo da profundidade do lençol freático. Essa profundidade não pode ser muito pequena, pois poderá superestimar o componente de evaporação, elevando o k_c encontrado. Em situações extremas poderia, até mesmo, provocar falta de oxigênio; também, não pode ser muito grande, pois poderia promover déficit hídrico às plantas, subestimando a ET_c e os k_c .

2.5.2. Manejo da irrigação utilizando tensiômetros

Os tensiômetros são instrumentos que medem diretamente a tensão d'água no solo e indiretamente a percentagem de água no solo, sendo necessária uma calibração através da curva de retenção de água neste. Esses

instrumentos são constituídos de uma cápsula de cerâmica, ligada por meio de um tubo a um manômetro, em que a tensão é lida (BERNARDO,1996). Utilizando-se tensiômetros, é possível estimar a percentagem da umidade real do solo e, dessa forma, poder determinar a lâmina a ser aplicada para retornar a umidade à capacidade de campo. Para fins práticos, admite-se que um solo arenoso está na capacidade de campo quando a água está retida com a tensão de 10 kPa, enquanto solos argilosos o estão com uma tensão de 30 kPa.

Para realizar o manejo de irrigação, é necessário o monitoramento contínuo da tensão da água no solo. A irrigação é efetuada quando a tensão atingir um valor máximo que não prejudique o desempenho da cultura (MAROUELLI et al., 1994).

Embora tenha o limite de funcionamento restrito a 75 kPa, o tensiômetro é capaz de aferir grande parte da água disponível no solo. Em um solo arenoso, o tensiômetro mede aproximadamente 70% da água disponível e em solos argilosos, 40% (BERNARDO, 1996). Daí ser recomendável que o manejo com tensiômetros seja realizado para irrigações com pequeno turno de rega.

Em cultivos irrigados por gotejamento, o posicionamento dos tensiômetros deve ser feito de forma que a cápsula fique situada na porção mediana do raio do bulbo molhado. Para hortaliças, sugere-se que sejam instalados em duas profundidades: a 1/3 e 2/3 da profundidade efetiva do sistema radicular. Devem ser instalados tensiômetros em pelo menos três pontos representativos da área, sendo o controle da irrigação realizado pela média das leituras (MAROUELLI et al., 1998).

A lâmina de irrigação pode ser determinada pela seguinte equação:

$$Li = \frac{\frac{(CC - Ua)}{10} \times ds \times Z}{Ea} \quad \text{equação (23)}$$

em que

Li = lâmina de irrigação, em mm;

CC = umidade do solo à capacidade de campo, em % do peso, em base seca;

Ua = umidade atual, em % do peso, em base seca;

ds = massa específica aparente do solo, em mg/dm³;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular do tomateiro, em cm; e

Ea = eficiência de aplicação do sistema de irrigação, em %.

A capacidade de campo é definida em função da curva de retenção da água do solo e da textura. A umidade real é determinada a partir da tensão média verificada entre os tensiômetros localizados nos pontos de amostragem e nas profundidades exploradas pelo sistema radicular da cultura. A eficiência de aplicação pelo método da irrigação localizada é a própria uniformidade de distribuição.

2.5.3. Manejo da irrigação pelo método do balanço de água no solo utilizando o programa SISDA 3.5 associado à estação meteorológica

O SISDA, abreviação de Sistema de Suporte à Decisão Agrícola, versão 3.5, é um programa computacional desenvolvido pelo DEA-UFV e utilizado para gestão da irrigação com elevado nível de precisão. Para o funcionamento do programa, faz-se um cadastramento abrangente contendo informações de solo, clima, cultura, qualidade da água e equipamento de irrigação. De forma sucinta, as principais informações cadastradas são:

Área de cultivo – Município, tamanho da área, latitude, longitude e altitude.

Solo – Capacidade de campo, ponto de murcha, densidade aparente, análise granulométrica (para três camadas: 0-20, 20-40 e 40-60 cm).

Clima – Dados diários de velocidade do vento, radiação, temperatura (máxima, média e mínima), umidade relativa (média) e precipitação.

Cultura – Estádios fenológicos e suas durações, kc's, profundidade radicular, salinidade máxima, temperaturas basal e ótima, valor de mercado, espaçamento, variedade, dia de plantio, umidade no dia de plantio etc.

Qualidade da água – Condutividade elétrica, pH, alcalinidade, razão de adsorção de sódio (RAS) etc.

Equipamento de irrigação – Especificações do equipamento (tipo, marca e modelo), espaçamento entre gotejadores, número de emissores por planta, vazão, pressão de serviço, distância entre linhas laterais, percentagem de área molhada, uniformidade de aplicação, turno de rega utilizado etc.

Com as informações cadastradas, o programa realiza o manejo de irrigação, calculando a lâmina a ser aplicada e o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação utilizado, a partir do cadastramento diário dos elementos climáticos (proveniente de estações climatológicas) e das irrigações realizadas. Por meio do cadastramento diário dos elementos climáticos, o SISDA realiza a estimativa da ETo utilizando a equação de Penman-Monteith, equação-padrão recomendada pela FAO. Dentro da casa de vegetação, a evapotranspiração de referência (ETo) também pode ser estimada pela equação de Penman-Monteith, conforme FACCIOLI (1998).

O SISDA determina a demanda hídrica da cultura realizando o balanço hídrico diário e utilizando coeficientes de ajustes sobre a ETo, bem como define a lâmina de irrigação em função da diferença entre demanda hídrica e precipitação efetiva (MANTOVANI e COSTA, 1998), ou seja:

$$Li = \frac{ETo \times kc \times ks \times kl}{Ea} - Pe \quad \text{equação (24)}$$

em que

Li = lâmina de irrigação, em mm;

ETo = evapotranspiração de referência (Penman-Monteith), em mm/dia;

kc = coeficiente da cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento, adimensional (0,40 a 1,10);

ks = coeficiente de estresse, em função da variação de umidade no solo (0 a 1), adimensional;

kl = coeficiente de localização, em função da percentagem de áreas molhada e sombreada (0,2 a 1,0);

Ea = eficiência de aplicação, em %; e

Pe = precipitação efetiva, em mm.

Para ajustar a ETc, o programa possui opções de uso de modelos. Para calcular o coeficiente de estresse hídrico, os modelos unitário, linear e logarítmico estão disponíveis. Para calcular o coeficiente de localização, os modelos disponíveis são os de Keller e Fereres.

O SISDA 3.5 realiza o balanço hídrico do solo dividindo o mesmo em até quatro camadas. O programa estima e considera no balanço hídrico perdas por escoamento superficial e percolação profunda.

2.6. Considerações

O estudo comparativo de métodos de determinação da necessidade de irrigação dentro e fora da casa de vegetação pode indicar quais métodos e respectivos parâmetros são mais adequados para o manejo da irrigação, dos pontos de vista de praticidade, custo e precisão. Outro aspecto importante é avaliar qual a diferença de necessidade hídrica da cultura cultivada dentro e fora da casa de vegetação. Como há variedades de tomateiro muito distintas em termos de condução de cultivo, produtividade e tipo de fruto, é pertinente estudar se há diferença efetiva de demanda hídrica entre elas, bem como de parâmetros de irrigação, como os coeficientes de cultura (k_c) que ajustam a evapotranspiração de referência à evapotranspiração da cultura.

No Brasil, não existem dados adequados disponíveis sobre o cultivo do tomateiro em casa de vegetação, e as informações técnicas de cultivo são ainda insuficientes, necessitando, urgentemente, de pesquisas que possam dar maior respaldo às recomendações e, conseqüentemente, contribuir para a expansão e tecnificação dessa atividade (GOTO, 1998). Daí o interesse em realizar um estudo direcionado à cultura do tomateiro, buscando-se comparar vários métodos de manejo de irrigação e definir parâmetros e coeficientes práticos que poderão ser utilizados para otimizar o uso da água e o desenvolvimento da cultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área e do ensaio experimental

O ensaio experimental foi conduzido de março a setembro de 2002, no Campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, área experimental de irrigação e drenagem. Fizeram-se cultivos em uma casa de vegetação de 380 m² e em uma área adjacente de mesma área. A casa de vegetação possuía cobertura na forma circular, com 24 m de comprimento, largura de 16 m e altura central de 5 m; a cobertura foi com filme de polietileno de baixa densidade e 150 µm de espessura. As laterais foram revestidas com cortinas retráteis de mesmo material. Foram instaladas lateralmente telas plásticas antiafídicas, objetivando impedir a entrada de insetos (Figura 2).

O solo da área de cultivo era um Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, típico de terraços da Zona da Mata mineira, possuindo textura argilosa (Quadro 2), intensamente cultivado, apresentando alta fertilidade e contendo elevados teores de P₂O₅ (32,6 mg/dm³) e K₂O (435 mg/dm³) (Quadro 3).

Foram realizadas amostragens com trado de anel (Uhland) em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm), para determinação da massa específica aparente do solo. A massa específica aparente média foi de 1,24 g/cm³.

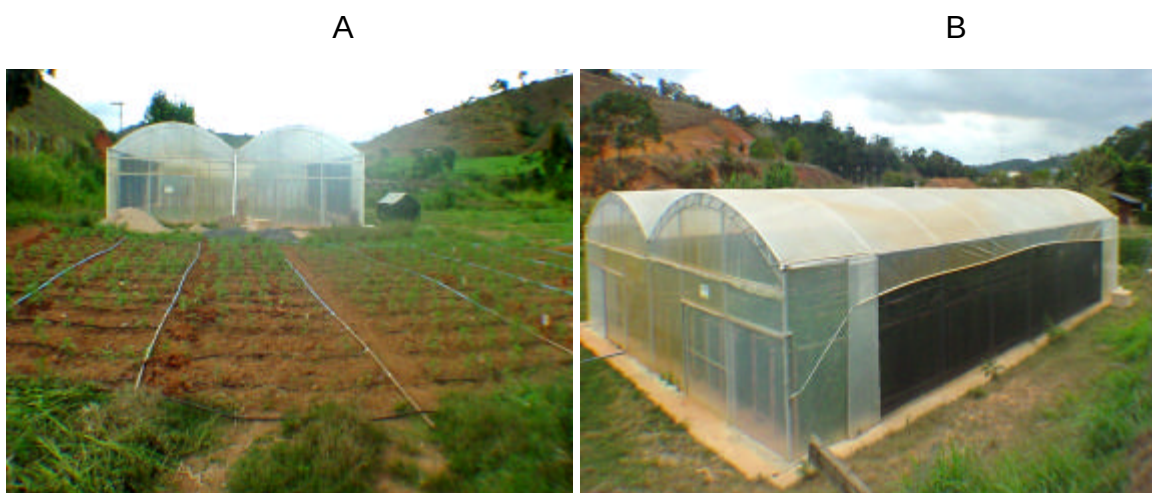


Figura 2 – Vista geral da área de condução do experimento, com detalhe da área externa (A) e casa de vegetação (B).

Quadro 2 – Valores médios da composição granulométrica do solo da área experimental na profundidade de 0 a 0,4 m

Camada cm	Distribuição Granulométrica				Classificação Textural
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
0 – 20	18	21	24	37	Franco-argilosa
20 – 40	15	22	19	44	Argilosa

Quadro 3 – Análise química do solo da área de cultivo (médias das camadas 0 – 20 cm e 20 – 40 cm)

Camadas	pH	P	K	Cu	B	Zn	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	CTC (T)	V	MO
Cm	H ₂ O	mg/dm ³					cmolc/dm ³					%	dag/kg
0 – 20	6,5	45,1	430	6,3	0,38	23,6	5,3	2,1	0,0	8,5	11,10	77	2,24
20 - 40	6,5	20,1	440	5,0	0,19	8,0	2,4	1,2	0,0	4,73	6,43	74	1,06

O preparo do solo foi com enxada rotativa e sulcador, sendo realizadas duas passadas de enxada rotativa e o solo sulcado para o plantio. A adubação foi com base na 5^a aproximação para recomendação de uso de fertilizantes

para o Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999). A adubação fosfatada foi aplicada no sulco de plantio e a adubação nitrogenada, parcelada em nove aplicações quinzenais (alternando-se nitrocálcio e sulfato de amônio na dosagem de 0,8 g de N por planta) por fertirrigação, com o auxílio de um venturi.

Cultivou-se tomate (*Lycopersicon esculentum*) da variedade Carmen, dentro e fora do ambiente protegido. Trata-se de um híbrido F1, tipo longa vida, pertencente ao grupo salada, com plantas vigorosas, rústicas, de crescimento indeterminado e altamente produtivo (potencial de produção de 120 t/ha). Os frutos são firmes, de colorações vermelho-intensa e brilhante, formato achatado, pesando entre 150 e 250 g. É indicado para plantio dentro e fora do ambiente protegido.

As mudas foram formadas em tubetes, semeadas em 23 de março e transplantadas em 16 de abril de 2002 (24 dias após o semeio). A primeira colheita ocorreu aos 110 dias após o semeio (em 13 de julho) e a última, aos 172 dias após o semeio (em 12 de setembro de 2002), sendo essa a duração do ciclo. O espaçamento utilizado foi de 1,0 m entre fileiras e 0,5 m entre plantas.

A cultura foi tutorada utilizando bambu e fitilhos (espaldeira) e conduzida com haste única e seis cachos

Foram transplantadas 600 mudas de tomate, somando-se as duas áreas. As mudas foram distribuídas de maneira similar para dentro e fora da casa de vegetação. Foram implantados cinco tratamentos (cinco dentro da casa de vegetação e cinco fora da casa de vegetação), com três repetições cada. Cada parcela útil foi composta por quatro plantas úteis, havendo, para cada parcela útil, duas plantas de bordadura na própria fileira da parcela e duas outras fileiras de bordaduras nas adjacências. O experimento conteve 45 fileiras (contendo seis plantas) dentro e fora da casa de vegetação (Figura 3). Em cada ambiente havia 15 parcelas úteis e 30 fileiras de bordaduras. Foram transplantadas 30 mudas, dentro e fora da casa de vegetação, objetivando monitorar a profundidade efetiva do sistema radicular (sendo retirada uma a cada 15 dias).



Figura 3 – Vista da cultura do tomateiro dentro (A) e fora (B) da casa de vegetação, 109 dias após o transplântio.

A análise estatística foi efetuada de forma conjunta dos dois ambientes, no modelo fatorial 5 x 2 (cinco tratamentos e dois ambientes), com os tratamentos dispostos no delineamento em blocos casualizados. Foi efetuada a análise de variância utilizando o teste f e o teste de Newman-Keuls para contraste entre duas médias e a análise por contrastes ortogonais. Foi utilizado o nível de probabilidade de 5% em todos os testes.

A cultura foi irrigada por gotejamento, tipo fita gotejadora (Golden drip - SCARCELI) contendo gotejadores espaçados a cada 0,5 m (um emissor por planta), com uma vazão de 1,5 l/h e pressão de serviço de 70 kPa. O sistema foi constituído de um cabeçal de controle, duas válvulas reguladoras de pressão (70 kPa), um filtro de disco, tubulação de linha principal, tubulação de linha de derivação e uma linha de gotejadores por parcela de plantio. Cada linha de plantio possuía 3 m e seis plantas (uma parcela), contendo um registro de esfera por linha lateral. Ao todo foram implantadas 54 linhas dentro e 54 linhas fora da casa de vegetação.

Para determinar a eficiência da irrigação apresentada pelo sistema instalado, foram efetuados testes de uniformidade de aplicação para dentro e fora da casa de vegetação, utilizando-se a metodologia de KELLER e KARMELI (1975). A média dos resultados de uniformidade de aplicação em

ambos os ambientes foi de 87%, segundo o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Foram instaladas duas estações agroclimatológicas, modelo Micrometos, uma em cada ambiente (Figura 4). As estações registraram leituras de velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa, temperatura e precipitação a cada cinco minutos. Os valores médios diários foram coletados e utilizados para calcular a ETo diária e a lâmina de irrigação.



Figura 4 – Estação meteorológica dentro (A) e fora (B) da casa de vegetação.

O manejo da irrigação foi efetuado utilizando vários métodos e, ou, coeficientes de ajustes, conduzidos independentemente (constituindo os tratamentos). Foram utilizados lisímetros, tensiômetros, estações meteorológicas e programa computacional para realizar balanço hídrico diário, determinando-se a lâmina de irrigação (SISDA 3.5) com coeficientes de ajustes diferentes.

Os tratamentos implantados foram: (1) manejo de irrigação utilizando lisímetro de lençol freático constante; (2) manejo de irrigação por balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5, estação meteorológica e coeficiente

de localização de Keller; (3) manejo de irrigação por balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5, estação meteorológica e coeficiente de localização de Fereres; (4) manejo de irrigação utilizando tensiômetros; e (5) manejo de irrigação com déficit utilizando tensiômetros.

As irrigações foram conduzidas utilizando turno de rega fixo, nos manejos de irrigação por lisímetro (tratamento 1), e balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5 (tratamentos 2 e 3). Nesse caso, as irrigações foram realizadas às segundas e quintas-feiras e aos sábados. Nos manejos conduzidos utilizando tensiômetros, o turno de rega era variável. Nesse caso, as irrigações eram efetuadas quando a tensão da água no solo estava abaixo da capacidade de campo (tratamento 4) ou do nível de umidade-limite (tratamento 5).

O manejo de abertura e fechamento das cortinas laterais da casa de vegetação foi feito em razão da redução da temperatura, uma vez que o cultivo foi realizado no período outono/inverno. As cortinas e portas permaneceram abertas durante os meses de abril e maio. A partir de 28 de maio, as temperaturas mínimas caíram a valores próximos a 10 °C, quando as cortinas passaram a ser fechadas às 16h30 e abertas às 9 h do dia seguinte. As portas passaram a permanecer fechadas todo o tempo. A partir do dia 19 de junho, as portas passaram a ser fechadas e abertas de acordo com as cortinas, uma vez que o ambiente interno (durante a noite) estava muito úmido e a temperatura, amena, elevando o risco de infecção por *Phytophthora*. Esse manejo foi seguido até o término do cultivo.

O manejo integrado de pragas e doenças foi realizado, fazendo-se pulverizações com rodízio de princípios ativos. Durante a maior parte do ciclo da cultura, as pulverizações com fungicidas foram semanais (principalmente para mela do tomateiro – *Phytophthora infestans*) e pulverizações com inseticidas, de acordo com os sinais de infestação das plantas (principalmente para traça – *Tuta absoluta* e broca-grande do tomateiro – *Heliothis zea*).

3.2. Montagem e manejo da irrigação utilizando lisímetro de lençol freático constante

O lisímetro de lençol freático constante foi instalado dentro da casa de vegetação, com dimensões de 1,0 x 1,2 x 1,1 m, sendo 0,70 m de profundidade útil para o manejo da altura do lençol freático.

O lisímetro foi construído com caixa de fibra de vidro e enterrado, apresentando área exposta evaporante de 1,2 m², e acoplado a um latão de 230 L, utilizado como reservatório de abastecimento, tendo sido calibrado com régua graduada, em que cada milímetro correspondia a 0,221 mm de água adicionada ao lisímetro (Figura 5). Para a reposição automática de água no lisímetro e promover a manutenção do nível constante de água, foi adaptada a ele uma bóia com haste para regulação de nível. Para condução da água do reservatório de abastecimento ao lisímetro, foi utilizada uma mangueira de polietileno de 16 mm.

Foi instalado um sistema de drenos constituído de uma malha de tubulações de 25 mm, perfuradas, conectadas e montadas no fundo da caixa. A malha foi, por sua vez, conectada a um sistema de tubos (25 mm) para conduzir a água até um fosso central, construído para receber a água do lisímetro e, assim, variar o lençol freático conforme o interesse. Os tubos de drenagem foram envelopados com uma camada de brita de 0,15 m de altura e 0,10 m de areia. O sistema de drenagem foi mantido fechado, sendo aberto somente para limpeza e escoamento do excesso de água.

Para o preenchimento de solo no lisímetro, teve-se o cuidado de repor as camadas na mesma ordem original do perfil.

Foram transplantadas duas mudas de tomate centralizadas dentro do lisímetro. A lâmina acumulada consumida no lisímetro, nos dias anteriores em que não houve irrigação, era considerada lâmina líquida, sendo repostas observando-se os ajustes efetuados em função da eficiência de aplicação apresentada pelo sistema de irrigação (equação 22).



Figura 5 – Vista do lisímetro de lençol freático constante com tensiômetros (A) e tambores de fornecimento de água (B).

Para o manejo da irrigação por meio de lisímetro fora da casa de vegetação, o cálculo da lâmina de irrigação foi efetuado utilizando o consumo acumulado no lisímetro dentro do ambiente protegido, ajustando-se a lâmina líquida em função da relação entre as ET_o dos dois ambientes nos dias de leitura acumulada (equação 25). Isso foi possível pela instalação de duas estações meteorológicas, uma em cada ambiente.

$$LI (campo) = LI (c.v.) \times \frac{ET_o (campo.)}{ET_o (c.v.)} \quad \text{equação (25)}$$

em que

$LI (campo)$ = lâmina de irrigação do ambiente externo, em mm;

$ET_o (campo)$ = média de evapotranspiração de referência do ambiente externo, em mm/dia; e

$ET_o (c.v.)$ = média de evapotranspiração de referência da casa de vegetação, em mm/dia.

Para definir a profundidade adequada do lençol freático, utilizou-se o monitoramento da disponibilidade hídrica na profundidade radicular das plantas

por meio de tensiômetros. A profundidade utilizada foi a que promoveu, na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, a tensão da água no solo que indicasse a capacidade de campo, ou seja, que promovesse a tensão de 30 kPa.

Dessa forma, foi feito um teste preliminar, instalando três tensiômetros em cada lisímetro, onde foi realizado o monitoramento das tensões, variando-se a profundidade do lençol freático. A profundidade que promoveu o nível de umidade na capacidade de campo do solo foi de 70 cm (tensões variando de 10 a 30 kPa). Monitoramentos constantes foram efetuados ao longo do cultivo para garantir o nível de disponibilidade hídrica almejado (faixa de tensão). Em razão da grande franja capilar verificada e do pequeno aprofundamento do sistema radicular no solo de textura argilosa, não foi necessário alterar o nível do lençol freático ao longo do experimento.

3.3. Instalação e manejo da irrigação utilizando tensiômetros

Foram utilizados tensiômetros digitais e tensiômetros metálicos. Cada ponto de aferição de tensão de retenção da água do solo possuía três tensiômetros, sendo um para cada profundidade (0,15; 0,30; e 0,50 m). Os tensiômetros foram preenchidos com água destilada e devidamente escorvados.

A escorva foi realizada deixando os tensiômetros com as cápsulas submersas (metálicos e digitais) por 48 horas, utilizando-se, ao final, a bomba de vácuo (para metálicos) até que as bolhas de ar deixassem de ocorrer. Para a instalação, procurou-se garantir o contato da cápsula com a matriz do solo, para o que foi utilizado um trado específico para instalação de tensiômetros, aplicando-se água no buraco aberto pelo trado. Após formar uma massa de solo e água (barro) dentro do buraco, o tensiômetro foi instalado. Os tensiômetros foram alocados em pontos intermediários ao longo do diâmetro do bulbo molhado formado, a cerca de 0,15 m do gotejador. Os três tensiômetros instalados por ponto foram dispostos radialmente e à mesma distância do gotejador, garantindo, assim, a aferição indireta da umidade de forma mais representativa (Figura 6).



Figura 6 – Vista dos tensiômetros metálicos (A) e digitais (B) instalados.

Para realizar o manejo da irrigação utilizando tensiômetros, o primeiro passo foi fazer uma amostragem do solo da área para obtenção da curva de retenção da água do solo. Para tanto, foi feita uma amostra composta e encaminhada para laboratório, sendo requeridos os níveis de umidade pelo método-padrão de estufa para as tensões de 10, 30, 50, 100, 500 e 1.500 kPa. A partir dessas informações foi gerada a curva de retenção da água do solo, bem como a sua equação (equação 26), através de regressão potencial.

A água disponível para o solo em questão foi determinada utilizando a curva de retenção (Figura 7). Considerou-se como limites máximo (capacidade de campo) e mínimo (ponto de murcha), respectivamente, 30 kPa e 1.500 kPa. A umidade na capacidade de campo do solo foi estimada em 38,42% (30 kPa) e no ponto de murcha permanente, 21,79% (1.500 kPa).

$$Ua = 62,918Tm^{-0,145} \quad \text{equação (26)}$$

em que

Ua = percentagem de umidade do solo (%); e

Tm = tensão média da água no solo (Kpa).

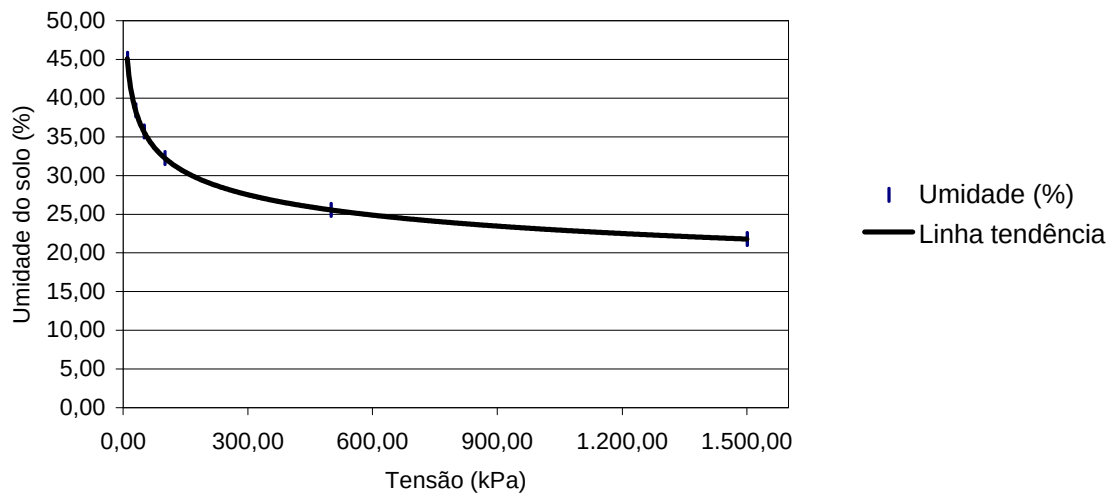


Figura 7 – Curva de retenção da água no solo da área de cultivo ($R^2=95\%$).

Para efetuar o manejo da irrigação por tensiômetros, procurou-se utilizar a distribuição de tensiômetros recomendada para os produtores/irrigantes, seguindo a metodologia descrita por MAROUELLI et al. (1994).

Para cada tratamento manejado com tensiômetros foram escolhidos dois pontos representativos, com o controle da irrigação realizado pela média das leituras. Como havia três repetições por tratamento, em duas repetições foi aferida a tensão de água no solo para composição da média. O tensiômetro localizado a 0,50 m não foi utilizado para composição da tensão média em razão de o sistema radicular da cultura ter se mantido muito superficial durante todo o ciclo. A determinação da tensão média foi definida pela seguinte equação:

$$T_m = \frac{T_{10,15} + T_{20,30} + T_{20,15} + T_{20,30}}{4} \quad \text{equação (27)}$$

em que

T_m = tensão média, em kPa;

$T_{10,15}$ = tensão do ponto 1 na profundidade de 0,15 m, em kPa;

$T_{10,30}$ = tensão do ponto 1 na profundidade de 0,30 m, em kPa;

$T_{2,0,15}$ = tensão do ponto 2 na profundidade de 0,15 m, em kPa; e

$T_{2,0,30}$ = tensão do ponto 2 na profundidade de 0,30 m, em kPa.

Como o solo da área experimental era argiloso, considerou-se a umidade na capacidade de campo quando a tensão média dos tensiômetros instalados na profundidade de exploração radicular era de 30 kPa. Portanto, as irrigações foram realizadas visando retornar a umidade do solo a esse nível de tensão (38,42%). O cálculo foi efetuado utilizando a equação 23.

Quadro 4 – Variação da profundidade efetiva do sistema radicular nos diferentes estádios fenológicos da cultura (dentro e fora da casa de vegetação)

Estádio Fenológico	Duração (dias)	Profundidade Efetiva (cm)
Inicial	24	10
Pegamento	15	20
Desenvolvimento	40	20
Produção	95	25

A variação da profundidade radicular foi avaliada quinzenalmente por amostragem, utilizando-se plantas cultivadas. Os valores de profundidade radicular foram utilizados nos demais tratamentos. As plantas eram retiradas do solo, procurando-se preservar o sistema radicular. A seguir, esse sistema era individualizado do solo, e a profundidade onde se localizavam 80 a 90% das raízes absorventes era medida e considerada como profundidade efetiva do sistema radicular.

3.3.1. Manejo da irrigação com déficit utilizando tensiômetros

Com o objetivo de avaliar o efeito de tensões mais elevadas da água no solo na produtividade do tomateiro, efetuou-se um manejo específico com tensiômetros, buscando-se retornar a umidade do solo ao nível de tensão de 50 kPa. Dessa forma, foi estabelecida uma condição de déficit hídrico

controlado. A umidade considerada como máxima para cálculo da lâmina de irrigação passou a ser a promovida pelo nível de tensão de 50 kPa, que pela curva de retenção era de 35,68% de umidade em peso. Conseqüentemente, pôde-se avaliar o desenvolvimento da cultura com menor disponibilidade hídrica.

3.4. Manejo da irrigação por balanço de água do solo utilizando o programa SISDA 3.5 associado à estação meteorológica e o uso de coeficiente de localização específico (kl)

Para conduzir o manejo da irrigação através do SISDA 3.5, foram cadastradas informações detalhadas sobre solo, cultura, clima e equipamento de irrigação. Com essas informações cadastradas, o programa calculou a lâmina a ser aplicada e o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação utilizado, a partir do cadastramento diário dos elementos climáticos (proveniente das estações) e das irrigações. Através do cadastramento diário dos elementos climáticos, o SISDA estimou a ETo utilizando a equação de Penman-Monteith, dentro e fora do ambiente protegido.

O SISDA foi empregado para calcular a demanda hídrica da cultura, utilizando-se coeficientes de ajustes sobre a Eto e definindo a lâmina de irrigação em função da diferença entre demanda hídrica e precipitação efetiva (equação 24).

A eficiência de aplicação da lâmina de irrigação foi determinada para área adequadamente irrigada de 90%, por tratar-se de uma cultura de alto valor comercial. Foram efetuados testes de uniformidade de aplicação, segundo a metodologia proposta por MERRIAN e KELLER (1975), obtendo-se o coeficiente de uniformidade de Crsthiansen de 87%.

O referido programa estima diariamente a umidade do solo, gerando gráficos correlacionando umidade diária à capacidade de campo (38,42% em peso), umidade no ponto de murcha (21,79% em peso) e umidade de segurança (31,77% em peso). A umidade de segurança estabelecida foi de 60% da água disponível.

A floração foi considerada quando 50% das plantas apresentavam flores. O estágio de desenvolvimento foi o único em que o k_c considerado não foi fixo.

Os kc do Quadro 5 foram ajustados segundo a metodologia de ALLEN et al. (1998), observando-se uma concordância com os valores propostos por MAROUELLI e SILVA (2002). Os ajustes foram efetuados, considerando-se a umidade relativa mínima de 65% e a velocidade média do vento de 1,0 m/s (médias verificadas na região de Viçosa, MG, no período de cultivo – Normais climatológicas do INMET).

Quadro 5 – Estádios de desenvolvimento, duração e coeficientes de cultura (kc) do tomateiro

Estádios	Definição	Duração	kc
Inicial	Semeio ao transplântio	24 dias	0,6
Pegamento	Adaptação das mudas transplantadas	15 dias	0,6
Desenvolvimento	Pegamento à floração	40 dias	0,85
Produção	Floração à colheita	95 dias	1,10

O ajuste para kc_{ini} foi efetuado para frequência de irrigação de dois dias. O ajuste para kc_{med} e kc_{fim} foi feito, aplicando-se a equação 2.

O coeficiente de estresse hídrico (ks) utilizado no manejo da irrigação pelo SISDA 3.5 foi o modelo logarítmico, definido pela equação 4 (Quadro 6).

Quadro 6 – Coeficiente de estresse hídrico (ks) em função da porcentagem de água disponível e da variação da umidade atual do solo

Umidade Atual (%)	Água Disponível (%)	Ks Logarítmico
38,4	100,0	1
38,0	97,5	0,99
35,0	79,4	0,92
33,0	67,4	0,87
30,0	49,4	0,77
27,0	31,3	0,64
24,0	13,3	0,41
21,8	0,0	0,00

Foram utilizados dois coeficientes de localização (kl) presentes no programa SISDA 3.5, modelo de Keller (equação 6) e modelo de Fereres (equações 9, 10 e 11), cada qual caracterizando um manejo (e um tratamento) específico (Figura 8).

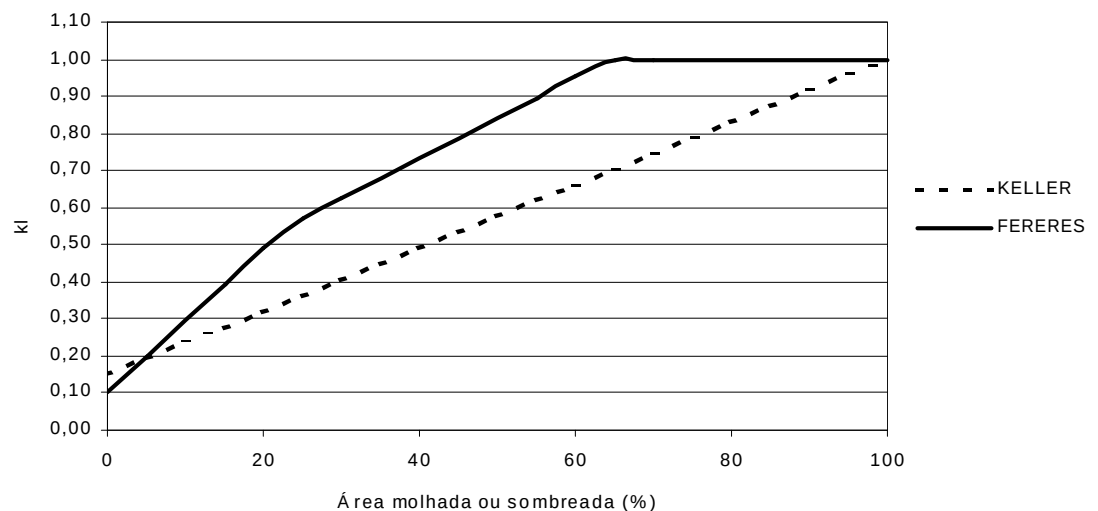


Figura 8 – Curvas de coeficientes de localização de Keller e Fereres em função da porcentagem da área molhada e, ou, coberta.

3.5. Definição dos tratamentos

Tratamento 1: **Lisímetro**. Parcelas irrigadas conforme o consumo de lâmina d'água do lisímetro.

Tratamento 2: **SISDA kl Keller**. Parcelas irrigadas conforme o balanço hídrico e recomendações de lâmina de irrigação geradas pelo programa SISDA 3.5 com coeficiente de localização de Keller.

Tratamento 3: **SISDA kl Fereres**. Parcelas irrigadas conforme o balanço hídrico e recomendações de lâmina de irrigação geradas pelo programa SISDA 3.5 com coeficiente de localização de Fereres.

Tratamento 4: **Tensiômetro**. Parcelas irrigadas a partir da leitura de tensão da água do solo, na profundidade efetiva do sistema radicular ao longo do desenvolvimento da cultura.

Tratamento 5: **Tensiômetro com déficit**. Parcelas irrigadas a partir da leitura de tensão da água do solo, na profundidade efetiva do sistema radicular ao longo do desenvolvimento da cultura. A lâmina de irrigação foi aplicada para retornar à tensão da água no solo para 0,5 Bar.

3.6. Determinação da necessidade hídrica da cultura utilizando o cálculo do coeficiente de cultura duplo e planilha de cálculo

O cálculo da evapotranspiração da cultura por meio do uso de coeficiente de cultura duplo foi efetuado para permitir uma comparação com a determinação da necessidade hídrica através de k_c único. Para tanto, utilizaram-se dados meteorológicos diários e turno de rega praticado nos manejos/tratamentos conduzidos pelo método do balanço hídrico da água do solo (com o uso de k_c único para definir a evapotranspiração da cultura), nos ambientes estudados.

Na determinação da evapotranspiração da cultura utilizando o k_c duplo, foi empregada uma planilha de cálculo que efetuava o balanço hídrico diário do solo, incorporando, no mesmo, a determinação diária do k_c duplo e seguindo a metodologia proposta por ALLEN et al. (1998), no boletim FAO 56.

Para efetuar o cálculo dos componentes do k_c duplo (k_e e k_{cb}), foram cadastrados diariamente os seguintes dados (referentes ao dia anterior): médias da velocidade do vento, umidade relativa mínima, precipitação acumulada, irrigação realizada e evapotranspiração de referência. Os dados climáticos foram obtidos utilizando as estações climatológicas localizadas no ambiente externo e na casa de vegetação. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pela equação de Penman-Monteith e, diariamente, pelo programa SISDA 3.5.

O k_{cb} definido para cada estágio da cultura apresentou valores tabelados (padrão) para cultivo em condições otimizadas de desenvolvimento, com ausência de estresse, para clima subúmido, com umidade relativa de 45%

e velocidade do vento de 2 m/s (a 2 m de altura). Os k_{cb} utilizados foram ajustados em função da variação das condições climáticas verificadas durante o ciclo. A média de umidade relativa mínima do ambiente externo foi de 64,7% e a do ambiente protegido, de 48,1%. A velocidade média do vento para o ambiente externo foi de 0,3 m/s e a do ambiente protegido, de 0,0 m/s (Quadro 7).

Quadro 7 – Valores de k_{cb} para condição-padrão, condição climática do ambiente externo e condição de ambiente protegido, para a cultura do tomateiro cultivado em Viçosa, MG

Estádio Fenológico	Duração (dias)	K_{cb} padrão	K_{cb} campo	K_{cb} c.v.
Inicial	20	0,15	0,15	0,15
Pegamento	15	0,15	0,15	0,15
Desenvolvimento	40	0,83	0,59	0,64
Produção	95	1,15	1,03	1,08
Maturação	20	0,70	0,58	0,63

Os valores de $k_{cb_{mid}}$ e $k_{cb_{fim}}$ foram ajustados utilizando o mesmo critério para ajustar os $k_{c_{mid}}$ e $k_{c_{fim}}$ (equação 2).

Para o cálculo do k_e , a profundidade considerada da camada onde ocorre o processo evaporativo foi de 10 cm. O k_e foi calculado pela equação 17 e o k_c máximo, pela equação 18.

O coeficiente de redução da evaporação do solo (k_r) foi calculado diariamente, sendo definido em dois estádios. No primeiro, a energia incidente limitou a evaporação, pois a superfície estava molhada (após uma chuva ou a irrigação) e o k_r foi 1. Quando a água contida na superfície do solo se tornou limitante para o processo evaporativo, o k_r decresceu, chegando a zero quando a quantidade total de água evaporável da superfície se extinguiu. No segundo estágio, o k_r foi calculado utilizando a equação 19. Para tanto, a lâmina d'água total evaporável da camada superficial do solo cultivado foi 34,1 mm (calculada pela equação 20), e a lâmina d'água evaporável no primeiro estágio foi de 12 mm (tabelado em função da textura). A fração exposta foi calculada pela

equação 21, ressaltando-se que a fração média de solo exposta variou de 10 a 75% dentro da casa de vegetação e de 10 a 65% no ambiente externo (Quadro 8) e, finalmente, a percentagem de área molhada pelo gotejamento foi 40% da área de cultivo.

Quadro 8 – Evolução de percentagem de área sombreada pela cultura do tomateiro cultivado em campo e em casa de vegetação

Estádios	Duração	Percentagem Área Sombreada (%)	
	(dias)	Campo	Casa de vegetação
Pegamento	15	10	10
Desenvolvimento	40	30	40
Produção I	45	50	60
Produção II	50	65	75

Com o uso de uma planilha de cálculo para o balanço hídrico diário, calcularam-se a lâmina e o tempo de irrigação para um suposto manejo desta com k_c duplo requerido pela cultura (para o turno de rega utilizado efetivamente no campo).

3.7. Determinação dos coeficientes da cultura (k_c)

O k_c da cultura dentro da casa de vegetação foi determinado a partir da lâmina consumida diariamente (ET_c), medida pelo lisímetro, dividida pela evapotranspiração de referência (ET_o) e estimada pela equação de Penman-Monteith utilizando os dados fornecidos pela estação meteorológica situada dentro da casa de vegetação (equação 1).

Como as plantas foram transplantadas e as colheitas efetuadas antes do período de senescência das plantas, foi possível mensurar os k_c das fases de desenvolvimento e produção. Para determinação do k_c medido, consideraram-

se como evapotranspiração da cultura médias de cinco dias de leituras no lisímetro.

O coeficiente de cultura (k_c) medido pelo lisímetro não necessita de ajustes em função da localização da aplicação (k_l) e da variação da umidade do solo (k_s), gerando diretamente a demanda hídrica da cultura. Toda a água é fornecida por capilaridade, não havendo elevação do potencial evaporativo da superfície verificada após a aplicação superficial promovida pelo método de irrigação, sobretudo na entrelinha de cultivo. Por esse motivo não há necessidade de ajuste em função da localização da aplicação (k_l), o que é ainda mais explícito dentro da casa de vegetação, onde há redução da radiação solar incidente, reduzindo ainda mais o potencial evaporativo. Dentro do lisímetro, a umidade do solo é praticamente constante e próxima à capacidade de campo, sendo o k_s unitário. Ao ser utilizado como parâmetro de necessidade hídrica para manejar irrigação com turno de rega de dois a três dias, a variação da umidade do solo na cultura a ser irrigada será bastante reduzida e a umidade será sempre próxima à capacidade de campo, daí não necessitar de ajuste em função do coeficiente de estresse hídrico.

O ambiente protegido pode promover alterações no k_c em relação ao ambiente externo, uma vez que ocorrem modificações nas variáveis pelas quais se ajusta o k_c estimado pela metodologia de ALLEN et al. (1998), ou seja, umidade relativa mínima, velocidade do vento e altura do dossel. O k_c medido dentro da casa de vegetação poderá ser ajustado para o ambiente externo, tendo-se os valores dos elementos climáticos citados e utilizando a equação 2.

A medição do k_c utilizando lisímetro de lençol freático constante dentro do ambiente protegido é facilitada por não haver precipitação, o que requereria rebaixamento e posterior restabelecimento do lençol freático, perdendo-se dias de medição.

3.8. Avaliação do desenvolvimento das plantas

Para monitoramento do desenvolvimento da cultura foram medidos: número de folhas totalmente expandidas, altura e número de flores por planta. Foram efetuadas cinco medições ao longo do ciclo da cultura, as quais

iniciaram em 25.05.2002 e terminaram em 27/07/2002. Os valores foram levantados na forma de médias por parcela útil avaliada.

3.9. Avaliação quantitativa e qualitativa da produtividade

A avaliação quantitativa da produtividade foi realizada por meio de colheitas semanais, iniciando-se em 13.07.2002 e terminando em 12.09.2002. Foram quantificados peso e número de frutos comerciais e peso e número de frutos não-comerciais para cada repetição (parcela útil).

Para avaliação qualitativa da produtividade, os frutos (bons) colhidos foram selecionados seguindo o padrão de classificação utilizado pelo comércio e definido pela Portaria do Ministério da Agricultura Nº. 553, de 30.08.1995 (CAMARGOS, 1998). A seleção foi efetuada utilizando peneiras específicas (Quadro 9).

Para facilitar o estudo, as classes gigante e grande foram reunidas em apenas uma, aqui chamada de classe grande.

Quadro 9 – Classificação dos frutos de tomate utilizada no comércio e definida pela Portaria Nº 553/95 do Ministério da Agricultura

Classes de Fruto	Maior Diâmetro Transversal (m)
Gigante	> 0,1
Grande	0,080 - 0,1
Médio	0,065 – 0,080
Pequeno	0,050 – 0,065

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Comportamento dos elementos climáticos dentro e fora da casa de vegetação

No Quadro 10 estão relacionadas as médias diárias dos principais elementos meteorológicos envolvidos no processo evapotranspirométrico nos ambientes interno e externo à casa de vegetação. Os dados foram oriundos de leituras registradas pelas estações climatológicas instaladas dentro e fora do ambiente protegido. Também, estão relacionados os valores de evapotranspiração de referência estimados pela equação de Penman-Monteith, utilizando-se as leituras diárias das estações.

A temperatura dentro da casa de vegetação permaneceu mais elevada durante todo o ciclo de cultivo. A temperatura média no ambiente interno foi 1,9 °C superior à do ambiente externo, estando compatível com resultados encontrados por FARIAS et al. (1993). A elevação da temperatura está diretamente associada à maior precocidade no crescimento, florescimento e produção verificada nas plantas conduzidas dentro da casa de vegetação. A média das temperaturas mínimas dentro do ambiente protegido foi apenas 0,4 °C superior à verificada no ambiente externo, no entanto houve grande diferença entre as médias das máximas, ou seja, 6,0 °C acima da média do ambiente externo (Figura 9). Resultados esses compatíveis com os apresentados por TIVELLI (1998).

Quadro 10 – Valores médios, máximos e mínimos diários de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, radiação e evapotranspiração de referência dentro e fora da casa de vegetação

Elementos Meteorológicos	Ambiente Interno			Ambiente Externo		
	Méd ⁽¹⁾	Máx ⁽²⁾	Mín ⁽³⁾	Méd ⁽¹⁾	Máx ⁽²⁾	Mín ⁽³⁾
Temperatura (°C)	20,3	31,4	13,2	18,4	25,8	12,9
Umidade relativa (%)	85	99	48	90	94	65
Velocidade do vento (m/s)	–	–	–	0,3	1,0	0,1
Radiação (W/m ²)	113	178	36	167	326	45
ET _o (mm/dia)	1,71	2,63	0,68	2,14	3,81	0,83

(1) Valor médio do período.

(2) Média das máximas diárias por período para temperatura e umidade relativa. Valor máximo por período para velocidade do vento, radiação e evapotranspiração de referência.

(3) Média das mínimas diárias por período para temperatura e umidade relativa. Valor mínimo por período para velocidade do vento, radiação e evapotranspiração de referência.

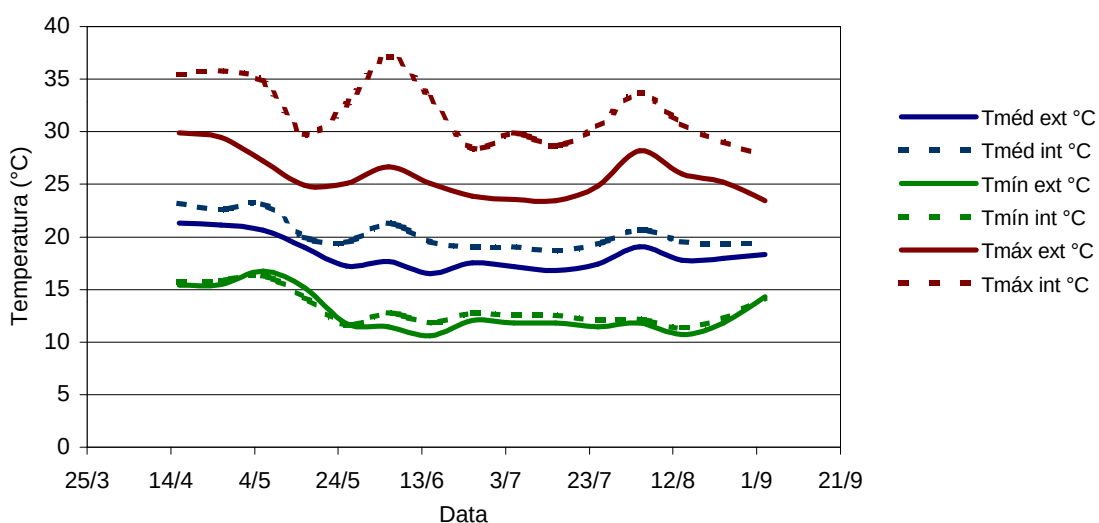


Figura 9 – Comportamento das temperaturas média, máxima e mínima, dentro e fora da casa de vegetação, para valores médios acumulados de 10 em 10 dias.

A umidade relativa média dentro da casa de vegetação foi 6,5% inferior à verificada no ambiente externo, com valores mínimos em média 26,3% inferiores aos medidos em campo aberto. Quase todas as noites, a umidade relativa alcançou valores máximos de 100% dentro do ambiente protegido

(devido à retenção de vapor d'água pelo filme de polietileno) e próximos de 100%, no ambiente externo (por ser área de terraço, próxima a corpo hídrico, e pela ocorrência de orvalho noturno). A retenção de umidade pelo plástico poderia ser reduzida caso a casa de vegetação tivesse lanternim (janela zenital).

A cobertura plástica promoveu redução da umidade relativa durante o dia e elevação durante a noite. Houve elevação da amplitude diária da umidade relativa dentro da casa de vegetação, e as umidades relativas mínimas foram muito reduzidas, enquanto os valores máximos foram aproximados. A consequência foi a redução da umidade relativa média no ambiente interno (Figura 10).

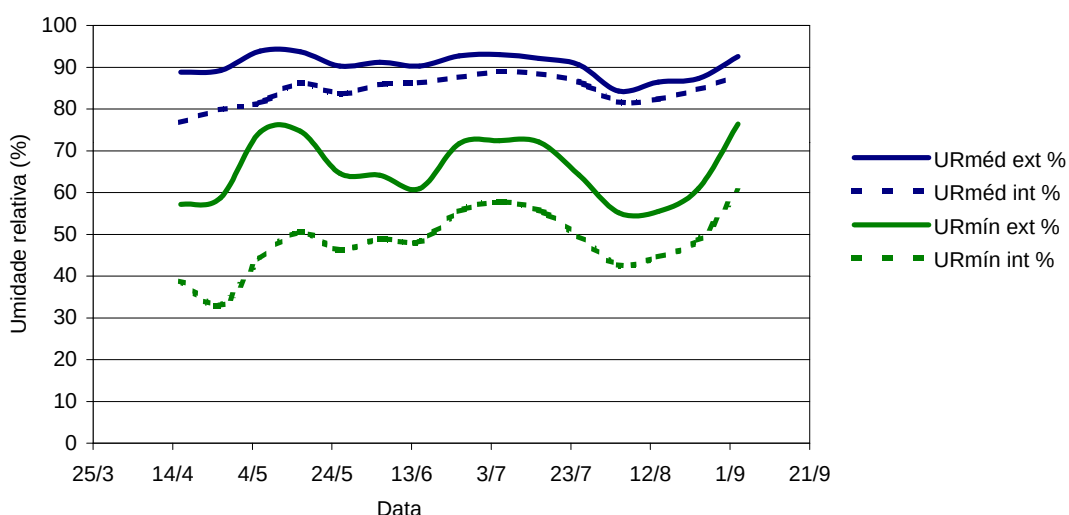


Figura 10 – Comportamento da umidade relativa média e mínima, dentro e fora da casa de vegetação, para valores médios acumulados de 10 em 10 dias

A velocidade do vento medida dentro da casa de vegetação foi nula, e a estação foi posicionada no centro da mesma, onde não havia corrente de ar. Nas laterais da casa de vegetação, nos intervalos em que as portas permaneciam abertas se percebia, mesmo que ameno, um fluxo de ar (das 9 às 16h30), embora não mensurado pela estação. No ambiente externo houve

picos de ventos de elevada velocidade, embora bastante raros durante o ciclo de cultivo, daí a velocidade média do vento ter sido baixa (0,3 m/s).

O filme plástico interceptou, em média, 32% da radiação incidente (transmissividade média de 68%). A faixa de variação da redução de radiação foi de 6 a 51%, valores próximos aos encontrados na literatura. A transmissividade média pode ter sido reduzida em função do filme de gotas d'água formado diariamente pelo processo evapotranspirométrico associado à não-existência de lanternim dentro da casa de vegetação.

A evapotranspiração de referência dentro do ambiente protegido foi 20,3% inferior à estimada para o ambiente externo. Durante todo o ciclo, a ETo dentro da casa de vegetação foi menor, ressaltando-se que as reduções variaram entre 4,4 e 53,9%. A faixa de variação da redução da evapotranspiração de referência foi definida pela faixa de variação da redução da radiação incidente, que apresentou amplitude muito aproximada (Figuras 11 e 12).

O comportamento da ETo durante o ciclo, em ambos os ambientes, foi definido pelo comportamento da radiação, de forma preponderante se comparado aos demais elementos meteorológicos (Figuras 13 e 14).

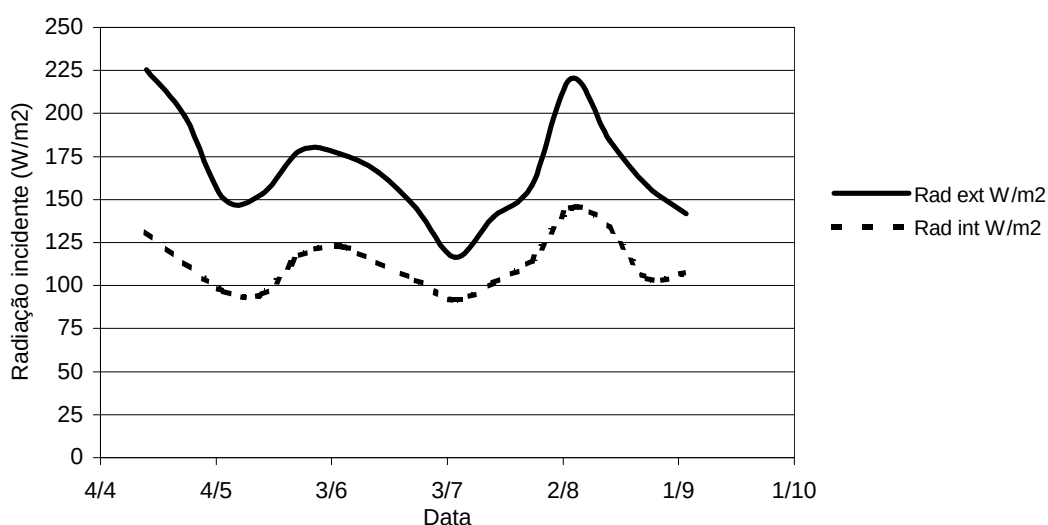


Figura 11 – Comportamento da radiação incidente média, dentro e fora da casa de vegetação, para valores médios acumulados de 10 em 10 dias.

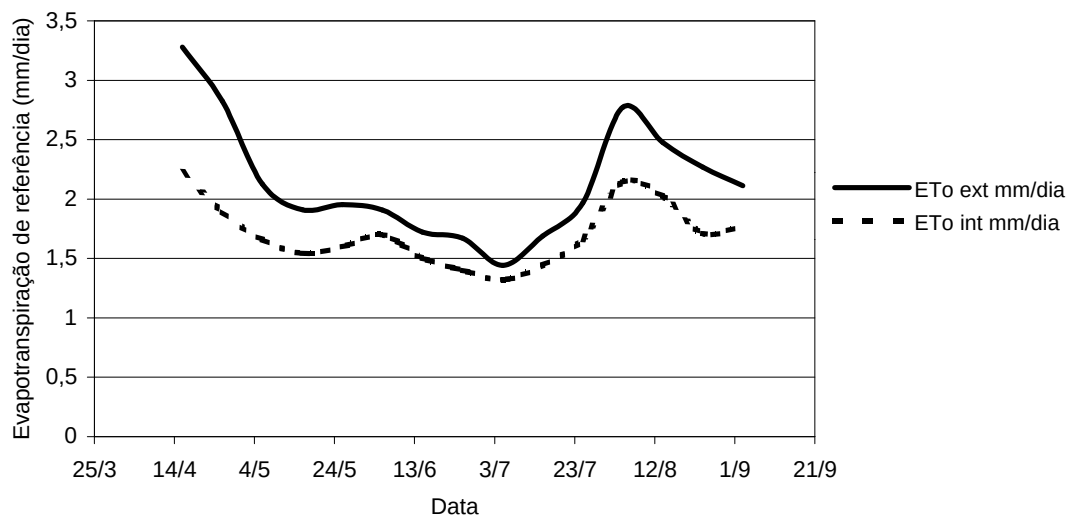


Figura 12 – Comportamento da evapotranspiração de referência, dentro e fora da casa de vegetação, para valores médios acumulados de 10 em 10 dias.

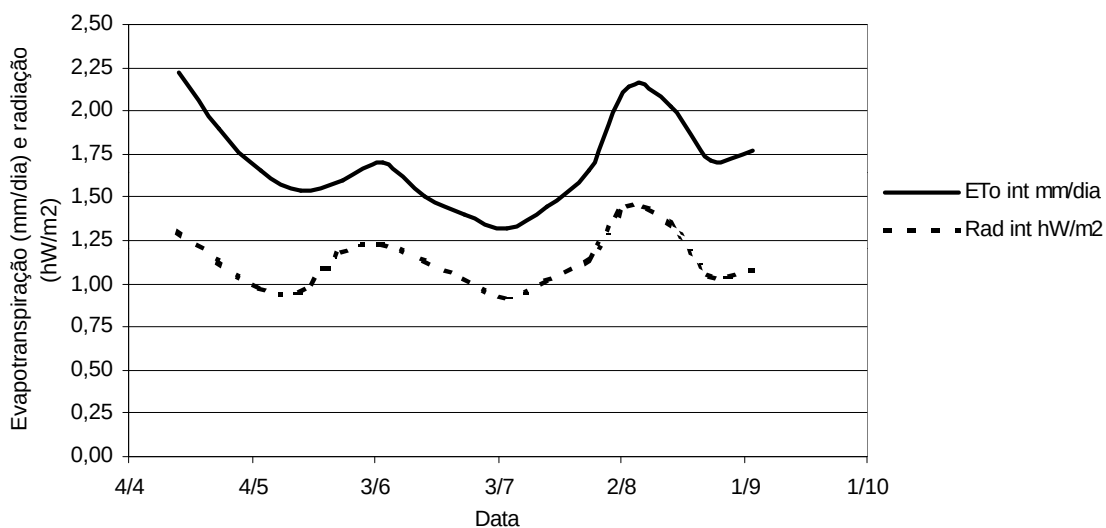


Figura 13 – Comportamento da evapotranspiração de referência e radiação incidente, dentro da casa de vegetação, para valores médios acumulados de 10 em 10 dias.

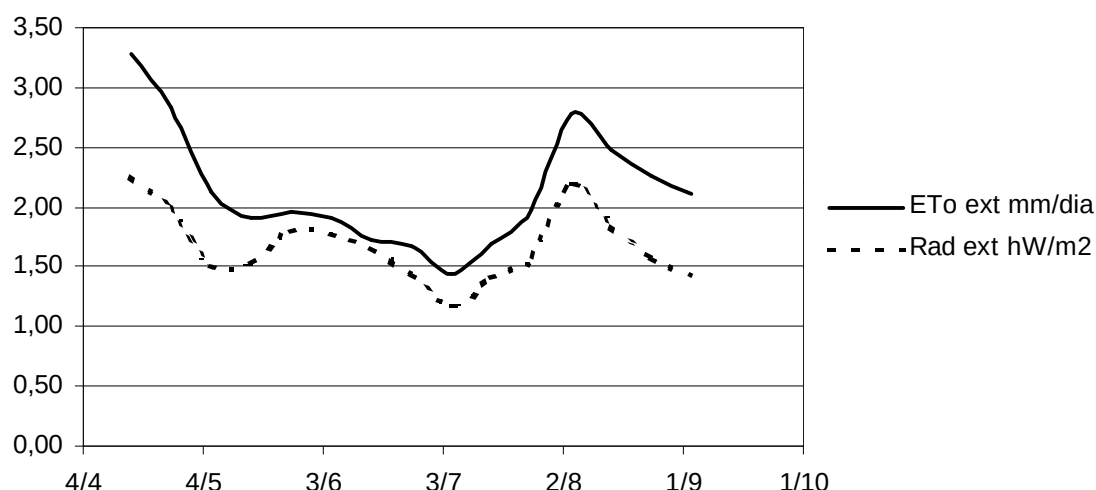


Figura 14 – Comportamento da evapotranspiração de referência e radiação incidente, fora da casa de vegetação, para valores médios acumulados de 10 em 10 dias.

4.2. Avaliação do desenvolvimento das plantas

Foram efetuadas contagens periódicas de folhas totalmente expandidas, altura de plantas e número de flores em todas as parcelas úteis dentro e fora do ambiente protegido (Quadro 11).

A análise estatística foi realizada utilizando o modelo fatorial 5 x 2, sendo efetuado análise de variância, uma vez que as variáveis dependentes apresentaram distribuição normal, evidenciada pelo teste de Lillifour; e variância comum, evidenciada pelo teste de Cochran.

Não houve diferença estatística dos parâmetros avaliados em função dos tratamentos testados, não existindo nenhum contraste entre médias de tratamentos estatisticamente diferentes de zero, a 5% de probabilidade, pelo teste f (Quadros 12, 13 e 14), ou seja, todos os manejos de irrigação conduzidos produziram plantas de mesma altura, número de folhas expandidas e número de flores ao final do ciclo de cultivo.

Não houve interação significativa entre tratamento e ambiente nos três parâmetros avaliados, ou seja, o êxito dos tratamentos na definição de altura, geração de folhas e flores não foi correlacionado com o ambiente de cultivo.

Quadro 11 – Valores médios de altura, número de folhas totalmente expandidas e número de flores por planta, nos tratamentos, repetições e ambientes estudados

Trat.	Repetição	Altura (cm)		Número de Flores (flores/planta)		Número de Folhas (folhas/planta)	
		C. veg.	Campo	C. veg.	Campo	C. veg.	Campo
T1	R1	175,3	151,5	38	46	19,7	17,0
	R2	182,0	145,0	63	36	18,7	20,7
	R3	182,3	151,0	57	43	22,2	21,0
T2	R1	173,0	144,0	59	40	19,0	19,3
	R2	168,0	149,0	51	44	20,0	20,0
	R3	158,0	144,7	49	41	19,5	21,3
T3	R1	182,0	141,0	45	49	21,3	22,8
	R2	184,0	148,5	44	42	19,0	20,4
	R3	183,0	155,7	56	47	19,0	20,7
T4	R1	165,8	157,0	40	45	18,5	19,0
	R2	168,7	148,0	48	35	17,7	18,3
	R3	170,0	130,0	54	41	21,5	23,3
T5	R1	183,0	151,0	56	38	19,0	20,7
	R2	185,0	149,3	57	50	23,7	21,8
	R3	165,0	142,0	46	39	20,5	18,3
Médias		175,0	147,2	50,9	42,4	20,0	20,3

Quadro 12 – Análise de variância da altura média de plantas medida até o sexto cacho, em plantas dentro e fora do ambiente protegido

ANOVA – Altura de Plantas					
FV	GL	SQ	QM	Fcalc	Ftab _{5%} (4,18)
Blocos	2	128,9487	64,47434	1,372 ^{ns}	2,93
Ambiente	1	5807,426	5807,426	123,625 *	
Tratamentos	4	481,0187	120,2547	2,560 ^{ns}	
A X T	4	204,4547	51,1136	1,088 ^{ns}	
Resíduo	18	845,5708	46,9761		
Total	29	7467,419			
Coeficiente de variação = 10,94%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Quadro 13 – Análise de variância do número médio de folhas totalmente expandidas por planta, contado até o sexto cacho, em plantas dentro e fora do ambiente protegido

ANOVA – Número de Folhas Totalmente Expandidas					
FV	GL	SQ	QM	Fcalc	Ftab _{5%} (4,18)
Blocos	2	6,1740	3,0870	0,931 ^{ns}	2,93
Ambiente	1	0,9013	0,9013	0,272 ^{ns}	
Tratamentos	4	4,5087	1,1272	0,340 ^{ns}	
A X T	4	6,3151	1,5788	0,476 ^{ns}	
Resíduo	18	59,6912	3,3162		
Total	29	77,5921			
Coeficiente de variação = 10,94%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Quadro 14 – Análise de variância do número médio de flores, contado até o sexto cacho, em plantas dentro e fora do ambiente protegido

ANOVA – Número de Flores					
FV	GL	SQ	QM	Fcalc	Ftab _{5%} (4,18)
Blocos	2	18,2421	9,1211	0,184 ^{ns}	2,93
Ambiente	1	535,5189	535,5189	10,794 *	
Tratamentos	4	61,3695	15,3424	0,309 ^{ns}	
A X T	4	87,6074	21,9019	0,441 ^{ns}	
Resíduo	18	893,0076	49,6115		
Total	29	1595,7455			
Coeficiente de variação = 10,94%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Houve, estatisticamente, maior número médio de flores (50,9 contra 42,2) por planta e maior altura média de plantas (175 cm contra 145 cm) cultivadas dentro da casa de vegetação, a 5% de probabilidade, pelo teste f. Não houve diferença estatística significativa nos valores médios do número de folhas expandidas por plantas, para cultivo conduzido dentro e fora da casa de vegetação (20,0 contra 20,3), a 5% de probabilidade, pelo teste f, embora as folhas das plantas conduzidas no ambiente protegido fossem visivelmente maiores.

Em virtude da restrição de radiação solar incidente (32% de redução), houve estiolamento das plantas dentro da casa de vegetação. Por esse motivo, apresentaram maior altura e tamanho de folhas para otimizar a captação de luz.

Com base na análise estatística, as médias das parcelas úteis dos parâmetros altura de plantas e número de flores podem ser agrupadas, reunindo-as em uma média geral de cada ambiente. No Quadro 15, apresentam-se os dados, assim compilados.

Quadro 15 – Valores médios de altura, número de flores e número de folhas totalmente expandidas das plantas cultivadas em diferentes manejos de irrigação, dentro e fora do ambiente protegido, reunidos segundo a análise estatística

	Altura (cm)		Número de Flores (n/pl)		Número de Folhas (n/pl)	
	C. veg.	Campo	C. veg.	Campo	C. veg.	Campo
Médias	175,0	147,2	50,9	42,4	20,0	20,3

4.3. Avaliação quantitativa da produção

A avaliação quantitativa teve como foco a produtividade global obtida utilizando os tratamentos ou manejos de irrigação, ao longo de nove colheitas, nas datas 13/07, 18/07, 25/07, 01/08, 08/08, 15/08, 26/08, 05/09 e 12/09.

Com o objetivo de facilitar a discussão dos resultados, as produtividades foram expressas em número de frutos e peso de frutos por hectare e, ou, por planta, de acordo com o dado em foco de avaliação. Considerando o espaçamento de cultivo, um hectare representa a produção de 20.000 plantas.

4.3.1. Avaliação quantitativa da produção total

Nos Quadros 16 e 17, apresentam-se as produtividades totais por repetições e médias por tratamentos, obtidas dentro e fora da casa de vegetação.

Quadro 16 – Produtividade total obtida dentro da casa de vegetação, nos tratamentos e nas repetições

Tratamentos	Blocos – Produtividade (t/ha)			Médias
	I	II	III	
T1 (lisímetro)	72,99	97,08	102,75	90,94
T2 (SISDA Keller)	98,49	86,16	72,95	85,87
T3 (SISDA Fereres)	88,97	85,02	118,00	97,33
T4 (Tensiômetro)	62,02	77,40	94,08	77,83
T5 (Tensiômetro – déficit)	64,93	79,88	60,99	68,60
Média geral				84,11

Quadro 17 – Produtividade total obtida fora da casa de vegetação, nos tratamentos e nas repetições

Tratamentos	Blocos – Produtividade (t/ha)			Médias (t/ha)
	I	II	III	
T1 (lisímetro)	94,8	116,1	106,4	105,76
T2 (SISDA Keller)	115,7	121,6	123,3	120,23
T3 (SISDA Fereres)	122,4	133,5	126,6	127,49
T4 (Tensiômetro)	106,8	111,7	110,8	109,80
T5 (Tensiômetro – déficit)	81,2	98,7	88,8	89,56
Média geral				110,57

A produtividade média obtida dentro da casa de vegetação foi 23,9% inferior à alcançada fora do ambiente protegido, com valores respectivos de 84,11 t/ha e 110,57 t/ha ou 4,01 kg/planta e 5,53 kg/planta. Considerando maior controle ambiental e melhor desenvolvimento vegetativo apresentado pelas plantas, esperava-se obter produtividade superior dentro do ambiente protegido. Uma provável causa da redução da produtividade dentro da casa de vegetação foi a deficiência na polinização, verificada nesse ambiente.

No Quadro 18, apresentam-se valores médios de número de frutos comercializáveis e não-comercializáveis e do número de flores por planta conduzida dentro e fora da casa de vegetação. Dessa forma, foi possível realizar o mapeamento do pegamento das flores em cada ambiente.

Quadro 18 – Valores médios de número de frutos comercializáveis, número de frutos não-comercializáveis, número total de frutos, número de flores por planta conduzida dentro e fora da casa de vegetação e mapeamento do pegamento de flores

	C. Veget.	Campo
Número total de frutos comerciais por planta (média)	28,4	32,9
Nº total de frutos não-comerciais por planta (média)	9,4	3,9
Número total de frutos produzidos por planta (média)	37,8	36,9
Número de flores por planta (média)	50,9	42,4
Percentual de flores que originaram frutos comerciais	56%	78%
Percentual de flores que originaram frutos não-comerciais	18%	09%
Percentual de flores que originaram frutos *	75%	88%

* Índice de pegamento.

Na casa de vegetação, as plantas produziram um número duas vezes e meia superior de frutos não-comerciais, em comparação com as no ambiente externo. Também, produziram mais flores que as cultivadas em campo (50,9 contra 42,4 flores por planta). No entanto, na casa de vegetação, apenas 56% das flores originaram frutos bons e 18% originaram frutos não-comerciais, alcançando índice de pegamento de flores de 75%. No entanto, fora da casa de vegetação, 78% das flores originaram frutos comerciais e apenas 9% originaram frutos não-comerciais, alcançando índice de pegamento de 88%. Por essa razão, a produtividade fora da casa de vegetação foi maior. Caso o índice de pegamento de flores dentro da casa de vegetação fosse idêntico ao ocorrido em campo aberto e, ao mesmo tempo, tivesse acompanhado na mesma proporção o maior número de flores produzidas, a produção dentro da casa de vegetação teria sido 16,7% superior à obtida fora do ambiente protegido.

Dentro do ambiente protegido, observou-se grande quantidade de frutos diminutos, deformados e com ausência de sementes. A Figura 15 permite visualizar a quantidade maior de frutos ruins em relação ao número total de frutos colhidos dentro da casa de vegetação (ao longo das colheitas). Na primeira colheita, grande parte dos frutos colhidos no ambiente externo estava com sinais de traça, então já controlada. Na casa de vegetação, as colheitas realizadas a partir de 8 de agosto passaram a apresentar quantidade maior de

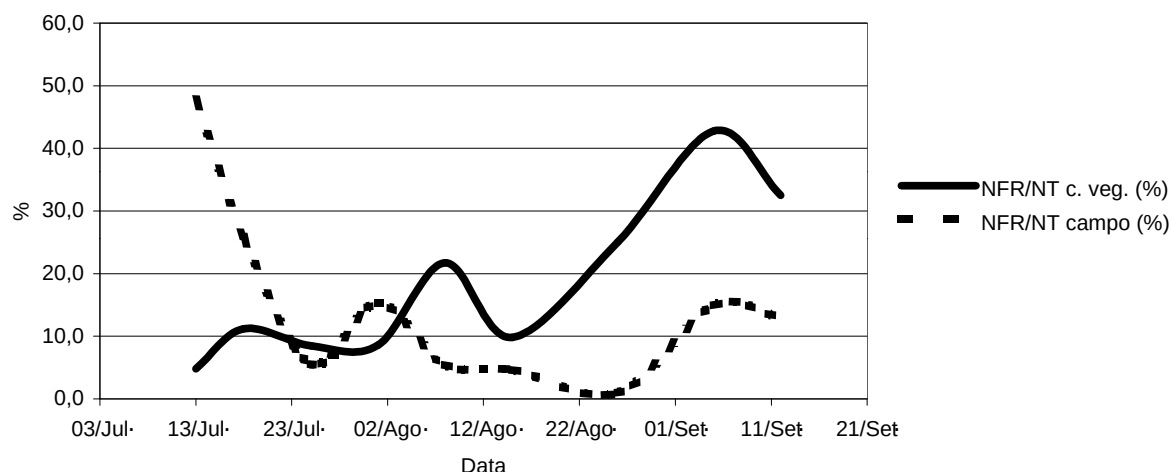


Figura 15 – Relação entre número de frutos não-comerciais (ruins – NFR) e número total de frutos (NT) colhidos ao longo das colheitas realizadas em campo e casa de vegetação (c. veg.).

frutos defeituosos, em razão da inadequada polinização. O peso médio dos frutos colhidos dentro da casa de vegetação foi 13% inferior aos colhidos no ambiente externo (133,81 g contra 153,89 g), intrinsecamente ligado à polinização menos adequada dentro do ambiente protegido (quanto mais bem polinizado, maior o número de sementes e maior e mais pesado o fruto).

Na Figura 15, a percentagem de número de frutos não-comerciais não está associada à mesma proporção em peso, uma vez que os frutos não-comerciais são muito menores e mais leves que os frutos bons.

A deficiência na polinização deu-se pela ausência de vento dentro do ambiente protegido. Ainda que as portas permanecessem abertas durante o dia (a partir de 19 de junho), não houve registro de velocidade do vento pelas medições realizadas na estação climatológica localizada no centro da casa de vegetação.

Observando a distribuição das repetições nos respectivos blocos, percebeu-se que a percentagem de frutos defeituosos (oriundos de polinização deficiente) aumentou quanto mais ao centro estivesse a parcela e diminuiu quanto mais próxima da lateral estivesse a parcela. Próximo das laterais havia circulação de ar durante o dia em razão da abertura das portas.

A temperatura seria outro fator que poderia comprometer o sucesso da polinização dentro do ambiente protegido, no entanto, avaliando a temperatura, percebeu-se que os níveis alcançados não foram suficientes para promover o abortamento de flores, mais comuns em cultivos de verão (temperaturas superiores a 35 °C por mais de três horas consecutivas).

4.3.2. Análise estatística da produtividade total obtida nos tratamentos

Para fazer a análise estatística da produtividade obtida, utilizou-se o modelo fatorial 5 x 2, com tratamentos dispostos no delineamento em blocos casualizados.

Houve pelo menos um contraste entre médias de produtividade dos tratamentos estatisticamente diferentes de zero, a 5% de probabilidade, pelo teste f (Quadro 19). Não houve interação entre ambiente e tratamento, evidenciando que o êxito de cada tratamento na produtividade alcançada não foi influenciado pelo ambiente no qual foi implantado.

Essa não-interação entre ambientes e tratamentos permite o estudo conjunto das médias obtidas, ao efetuar a análise de variância (Quadros 20 e 21). Mesmo havendo redução da produtividade em razão da deficiência na polinização, as produtividades obtidas dentro da casa de vegetação foram satisfatórias (maiores que 75 t/ha), permitindo análise conjunta com as geradas em campo aberto.

Quadro 19 – Análise de variância de produtividades totais (t/ha) dentro e fora do ambiente protegido, utilizando-se o modelo fatorial 5 x 2

ANOVA – Produtividade Total (t/ha)					
FV	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tab5%} (4,18)
Blocos	2	634,912	317,4558	2,80 ^{ns}	
Ambiente	1	5248,976	5248,9762	46,26 *	
Tratamentos	4	3640,656	910,1639	8,02 *	2,93
A X T	4	408,208	102,0520	0,90 ^{n.s.}	
Resíduo	18	2042,487	113,4715		
Total	29	11975			
Coeficiente de variação = 10,94%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Quadro 20 – Produtividades (t/ha) dentro e fora do ambiente protegido para análise conjunta por meio de teste de média

TRATAMENTOS	Ambiente 1 *			Ambiente 2 **			TOTAIS	Médias (t/ha)
	BLOCOS			BLOCOS				
	I	II	III	I	II	III		
T1	73,0	97,1	102,7	94,8	116,1	106,4	590,1	98,4
T2	98,5	86,2	73,0	115,7	121,6	123,3	618,3	103,1
T3	89,0	85,0	118,0	122,4	133,5	126,6	674,5	112,4
T4	62,0	77,4	94,1	106,8	111,7	110,8	562,9	93,8
T5	64,9	79,9	61,0	81,2	98,7	88,8	474,5	79,1
TOTAIS	387,4	425,5	448,8	521,0	581,7	555,9	2920,2	97,3

*Casa de vegetação e ** Campo.

Quadro 21 – Teste de Newman-Keuls de médias de produtividade total (t/ha) obtidas nos tratamentos conduzidos dentro e fora do ambiente protegido

Tratamentos	Nº Médias	Médias (t/ha)	Comparações *
T3	6	112,4	A
T2	6	103,1	a b
T1	6	98,4	a b
T4	6	93,8	b
T5	6	79,1	c

*As médias unidas pela mesma barra são estatisticamente idênticas a 5% de probabilidade, pelo teste de Newman-Keuls.

Os tratamentos 3, 2 e 1 apresentaram produtividades estatisticamente semelhantes pelo teste de Newman-Keuls, a 5% de probabilidade, ou seja, as parcelas cujos manejos de irrigação foram realizados pelos métodos do balanço hídrico, utilizando-se coeficiente de localização de Fereres (tratamento 3), Keller (tratamento 2) e manejo de irrigação utilizando lisímetro (tratamento 1), promoveram a mesma produtividade.

O tratamento 4, manejo de irrigação utilizando tensiômetros, obteve produtividade estatisticamente diferente do tratamento 3. O tratamento 5, manejo de irrigação utilizando tensiômetros impondo déficit hídrico, promoveu nível de produtividade estatisticamente inferior aos obtidos por todos os outros métodos.

Fazendo comparação entre grupos de medias através de contrastes ortogonais, o tratamento 4 diferiu estatisticamente dos três mais produtivos (1, 2 e 3), como demonstrado no Quadro 16.

A análise por contrastes (Quadro 22) permite concluir que os tratamentos 1, 2, 3 e 4 foram estatisticamente mais produtivos que o tratamento 5. Os tratamentos 1, 2 e 3 foram estatisticamente mais produtivos que o tratamento 4. As produtividades dos tratamentos 1 e 2 não diferiram estatisticamente da obtida pelo tratamento 3 e, finalmente, não houve diferença estatística entre as médias de produtividade obtidas pelos tratamentos 2 e 3.

Quadro 22 – Análise de variância de contrastes ortogonais entre médias de produtividade total obtidas pelos tratamentos

ANOVA					
FV	GL	SQ	QM	Fcalc	Ftab (1,18)
(T3+T2+T1+T4) Vs (T5)	1	2501,8271	2501,827072	22,05 *	4,41
(T3+T2+T1) Vs (T4)	1	523,8509	523,8509049	4,62 *	
(T3+T2) Vs (T1)	1	351,9772	351,9772056	3,10 n.s.	
T3 Vs T2	1	263,0004	263,000428	2,32 n.s.	
Blocos	2	634,9117	317,46	2,80	
Ambiente	1	5248,9762	5248,98	46,26	
Tratamentos	4	3640,6556	910,16	8,02	
A X T	4	408,2078	102,05	0,90	
Resíduo	18	2042,4871	113,47		
Total	29	11975,23844			

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

O uso de tensiômetros (T4) promoveu menor produtividade que a alcançada ao se fazer o balanço hídrico estimado ou medindo-se a demanda hídrica por meio de lisímetros. O tomateiro sofreu, de forma acentuada, o nível de estresse imposto pelo manejo utilizando tensiômetros com irrigação em tensões de retenção mais elevadas da água do solo, reduzindo a produtividade.

4.3.3. Avaliação do peso e do número de frutos comercializáveis e não-comercializados

Foram avaliados também o número de frutos (frutos/ha) e a produtividade (t/ha) de frutos comercializáveis (bons) e não-comercializáveis (ruins) nos tratamentos dentro e fora da casa de vegetação.

Dentro do ambiente protegido houve menor número de frutos comerciais (13,7% a menos) e menor percentagem de frutos comerciais em relação ao total colhido no respectivo ambiente (75,1% contra 89,3%). Acompanhando a menor produtividade obtida no ambiente protegido, também houve menor peso de frutos comerciais no cultivo realizado dentro da casa de vegetação (75,5 t/ha contra 102,3 t/ha), no entanto, ao avaliar as percentagens de peso de frutos comerciais colhidos em relação ao total, houve grande aproximação para os ambientes: 89,7 e 92,6% em casa de vegetação e no campo, respectivamente (Quadro 23).

Quadro 23 – Médias de número e peso de frutos comerciais e não-comerciais nos tratamentos dentro e fora da casa de vegetação e percentagens desses valores em relação ao total obtido

Média por Tratamento	Nº de Frutos Comerciais		Peso de Frutos Comerciais		Nº de Frutos Não-Comerciais		Peso de Frutos Não-Comerciais	
	(frutos/ha)		(t/ha)		(frutos/ha)		(t/ha)	
	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo
T1	663.796	579.312	82,3	97,9	191.515	72.049	8,7	7,9
T2	504.284	691.420	69,3	110,2	317.828	85.831	16,6	10,0
T3	659.922	795.521	90,9	118,9	143.805	86.462	6,4	8,6
T4	550.977	646.262	74,4	101,0	105.000	94.456	3,5	8,8
T5	464.199	582.136	60,6	83,8	182.778	57.016	8,0	5,8
Média *	568.636	658.930	75,5	102,3	188.185	79.163	8,6	8,2
% do total **	75,1	89,3	89,7	92,6	24,9	10,7	10,3	7,4

* Média por ambiente e ** Percentagem em relação ao total obtido.

Dentro do ambiente protegido houve maior número de frutos não-comerciais (237% a mais) e maior percentagem de frutos não-comerciais em relação ao total colhido no respectivo ambiente (24,9% contra 10,7%). Houve

grande aproximação dos pesos de frutos não-comerciais obtidos dentro e fora da casa de vegetação, ou seja, 8,6 t/ha e 8,2 t/ha, respectivamente (diferença de apenas 4,65%) (Quadro 23).

O peso médio de frutos não-comerciais colhidos na casa de vegetação foi de 46 g, e o de frutos não-comerciais colhidos fora da casa de vegetação foi de 104 g. Isso evidencia o exposto sobre a polinização deficiente dentro da casa de vegetação. Os frutos não-comerciais colhidos na casa de vegetação eram muito pequenos, em grande número, e grande parte deles não tinha semente ou, se tinham, era em número reduzido. Os frutos não-comerciais colhidos em campo apresentaram peso médio mais elevado, por terem sido desclassificados em função de danos provocados por pragas, ataque fúngico ou má formação. Por isso, 1/4 do número de frutos colhidos dentro do ambiente protegido era não-comercial, no entanto significou apenas 10,2% do peso da produção obtida, não sendo tão discrepante da percentagem do peso de frutos não-comerciais obtidos em campo (7,4%).

A análise de variância de número e peso de frutos não-comerciais colhidos nas parcelas dos tratamentos dentro e fora da casa de vegetação permitiu concluir que não houve interação significativa entre tratamentos e ambientes, tanto para número quanto para peso de frutos não-comerciais (Quadros 24 e 25).

Quadro 24 – Análise de variância do número de frutos não-comerciais (nº frutos/ha) produzidos dentro e fora do ambiente protegido

ANOVA – Número de Frutos Não-Comerciais (nº/ha)					
FV	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tab5%} (4,18)
Blocos	2	5942183	2971092	0,525 ^{n.s.}	
Ambiente	1	8914413	8914413	15,752 *	
Tratamentos	4	38007904	9501976	1,679 ^{n.s.}	2,93
A X T	4	4182139	1045535	1,848 ^{n.s.}	
Resíduo	18	101865168	5659176		
Total	29	153563807			
Coeficiente de variação = 56,28%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Quadro 25 – Análise de variância do peso de frutos não-comerciais (t/ha) produzidos dentro e fora do ambiente protegido

ANOVA – Peso de Frutos Não-Comerciais (t/ha)					
FV	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tab5%} (4,18)
Blocos	2	32,8783	15,4391	1,12 ^{n.s}	2,93
Ambiente	1	1,1859	1,1859	0,08 ^{n.s}	
Tratamentos	4	193,0589	48,2672	3,264 [*]	
A X T	4	123,1526	30,7882	2,082 ^{n.s}	
Resíduo	18	266,2010	14,7889		
Total	29	616,4767			
Coeficiente de variação = 45,62%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Não houve diferença estatística do peso de frutos não-comerciais produzidos dentro e fora do ambiente protegido, bem como não houve, estatisticamente, diferença de número de frutos não-comerciais produzidos entre tratamentos. Como apresentado em valores absolutos, também estatisticamente, dentro da casa de vegetação houve maior produção numérica de frutos não-comerciais.

Quanto ao peso de frutos não-comerciais, houve diferença estatística entre médias de tratamentos. O tratamento 2 apresentou, independentemente do ambiente, maior nível de produção de frutos não-comerciais que os demais, que não exibiram diferença entre si, pelo teste de Newman-Keuls a 5% de probabilidade (Quadro 26).

Quadro 26 – Teste de médias do peso de frutos não-comerciais colhidos nos tratamentos conduzidos dentro e fora da casa de vegetação

Tratamentos	Nº Médias	Médias (t/ha)	Comparações *
T2	6	13,3	a
T1	6	8,3	b
T3	6	7,5	b
T5	6	5,9	b
T4	6	6,1	b

*As médias unidas pela mesma barra são estatisticamente idênticas a 5% de probabilidade, pelo teste de Newman-Keuls.

4.4. Avaliação qualitativa da produtividade

A avaliação qualitativa da produtividade foi realizada, fazendo-se classificação dos frutos comerciais em função do diâmetro, os quais foram classificados em três peneiras e selecionados em três classes: grande, médio e pequeno. O tamanho grande (peneira 1) é o fruto-padrão da variedade Carmen para o comércio. Foi efetuada a análise de variância a 5% de probabilidade dos percentuais de peso por classe de frutos em relação ao total do peso de frutos comerciais colhidos, utilizando-se o modelo fatorial 5 x 2. Esse modelo foi utilizado novamente por não ter havido efeito de interação significativa entre ambientes e tratamentos, no que tange às proporções de classes de frutos colhidos.

Como a produção fora da casa de vegetação foi maior, houve diferença nas quantidades colhidas por peneira (Quadro 27). Ao avaliar a proporção de produção por classes de frutos, percebeu-se a aproximação dos percentuais médios para dentro e fora da casa de vegetação (Quadro 28 e Figura 16).

Estatisticamente, não houve diferença na distribuição da produção em classes de frutos entre os tratamentos (Quadros 29, 30 e 31). Já entre ambientes, com relação a frutos médios e pequenos, houve diferença estatística entre as proporções de frutos produzidos, evidenciada mesmo com elevado coeficiente de variância. A percentagem de peso de frutos grandes produzidos no campo (76,6%) foi considerada semelhante à produzida dentro do ambiente protegido (70,6%). A percentagem de peso de frutos médios produzidos no campo foi maior (9,7%) que na casa de vegetação (4,4%). A percentagem de peso de frutos pequenos produzidos dentro da casa de vegetação (15,2%) foi maior que no campo (6,2%).

Como a interação entre tratamentos e ambientes não foi significativa, a variação de proporção de classes de frutos pequenos e médios se deu, possivelmente, em razão da deficiência de polinização evidenciada. Como a polinização foi deficiente dentro do ambiente protegido, houve deslocamento de certa quantidade (aproximadamente 5%) de frutos médios que passaram a ser pequenos, uma vez que a eficiência da polinização está intimamente correlacionada com o tamanho e peso de frutos. Por esse motivo, o peso médio de frutos comerciais produzidos dentro da casa de vegetação foi de 153,81 g, enquanto no campo esse peso foi de 183,89 g.

Quadro 27 – Valores médios (média das três repetições por tratamento) de produtividade por peneira (t/ha) em campo e em casa de vegetação

	Frutos Grandes		Frutos Médios		Frutos Pequenos	
	(t/ha)		(t/ha)		(t/ha)	
	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo
T1	65,8	90,4	6,8	4,6	9,9	2,8
T2	58,9	84,6	1,0	17,9	11,3	7,7
T3	71,5	93,8	3,2	13,2	15,9	11,8
T4	55,8	87,9	5,3	7,6	13,2	5,4
T5	45,4	67,0	2,1	10,0	13,4	9,1
Médias	59,5	84,7	3,7	10,7	12,8	7,4
% do total	70,7	76,6	4,4	9,7	15,2	6,7

Quadro 28 – Percentagem da produção de frutos comerciais (t/ha) por classe de frutos nos tratamentos dentro e fora da casa de vegetação

	Frutos Grandes		Frutos Médios		Frutos Pequenos	
	%		%		%	
	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo
T1	79,8	92,4	8,2	4,7	12,1	2,8
T2	82,7	76,8	1,4	16,3	15,8	7,0
T3	78,9	79,0	3,6	11,1	17,5	9,9
T4	75,1	87,1	7,1	7,5	17,8	5,4
T5	74,6	77,8	3,4	11,6	22,1	10,6
% do total	70,7	76,6	4,4	9,7	15,2	6,7

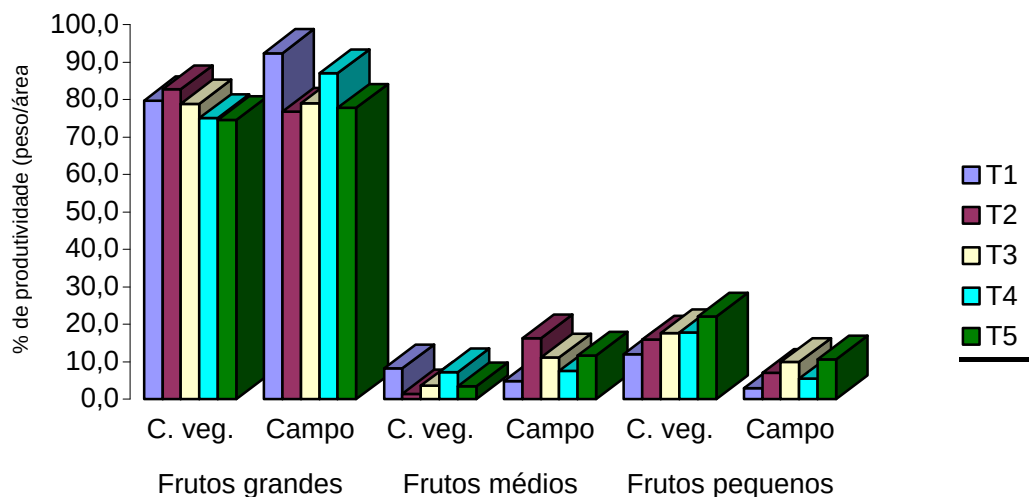


Figura 16 – Distribuição percentual da produtividade (peso/área) de frutos por classe, em relação à produção total (média) de frutos comerciais, nos tratamentos conduzidos dentro e fora da casa de vegetação.

Quadro 29 – Análise de variância da percentagem da produção de frutos grandes (peneira 1), em relação à produção total de frutos comerciais (t/ha), nos tratamentos em campo e em casa de vegetação

ANOVA – % Produção de Frutos Grandes (peneira 1)					
FV	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tab5% (4,18)}
Blocos	2	945,864	472,9320	3,46 *	
Ambiente	1	134,875	134,8753	0,99 n.s.	
Tratamentos	4	295,367	73,8419	0,54 n.s.	2,93
A X T	4	516,785	129,1963	0,95 n.s.	
Resíduo	18	2459,565	136,6425		
Total	29	4352			
Coeficiente de variação = 14,48%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Quadro 30 – Análise de variância da percentagem da produção de frutos médios (peneira 2), em relação à produção total de frutos comerciais (t/ha), nos tratamentos em campo e em casa de vegetação

ANOVA – Produtividade de Frutos Médios (peneira 2)					
FV	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tab5% (4,18)}
Blocos	2	348,357	174,1784	3,84 *	2,93
Ambiente	1	234,696	234,6965	5,17 *	
Tratamentos	4	22,009	5,5023	0,12 ^{n.s}	
A X T	4	356,619	89,1547	1,96 ^{n.s}	
Resíduo	18	816,989	45,3883		
Total	29	1779			
Coeficiente de variação = 94,18%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Quadro 31 – Análise de variância da percentagem da produção de frutos pequenos (peneira 3), em relação à produção total de frutos comerciais (t/ha), nos tratamentos em campo e em casa de vegetação

ANOVA – Produtividade de Frutos Pequenos (peneira 3)					
FV	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tab5% (4,18)}
Blocos	2	374,407	187,2037	2,57 ^{n.s.}	2,93
Ambiente	1	736,881	736,8805	10,10 *	
Tratamentos	4	311,001	77,7503	1,07 ^{n.s}	
A X T	4	24,518	6,1296	0,08 ^{n.s}	
Resíduo	18	1313,163	72,9535		
Total	29	2760			
Coeficiente de variação = 70,51%					

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

n.s. Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste f.

4.5. Comparação entre coeficientes de cultura único e coeficiente de cultura duplo

Foram determinados o coeficiente de cultura único (kc único), utilizado para realizar o balanço hídrico pelo SISDA 3.5 (dentro e fora da casa de vegetação); e o coeficiente de cultura duplo (kc duplo), estimado dentro e fora da casa de vegetação.

Os coeficientes de cultura ao longo do ciclo de cultivo estão apresentados no Quadro 32 e na Figura 17, em valores médios de 15 dias. A fase de desenvolvimento, por possuir duração de 40 dias, foi dividida em duas fases de 20 dias. O estágio de produção, que somou 95 dias para o cultivo objeto deste estudo, foi subdividido em seis subestádios de aproximadamente 15 dias, para promover o estudo mais detalhado da evolução comparativa dos kc.

Quadro 32 – Valores de coeficiente de cultura único (utilizado no SISDA 3.5) e coeficiente de cultura duplo (ambiente externo e interno). Valores médios de 15 dias

Estádio	Duração	Estimado	Estimado	Estimado
		Kc único (SISDA 3.5)	Kc duplo externo	Kc duplo interno
Inicial	15/4	0,60	0,60	0,60
Pegamento	30/4	0,60	0,55	0,62
Desenvolvimento I	21/5	0,74	0,95	0,70
Desenvolvimento II	11/6	1,00	1,08	1,03
Produção I	27/6	1,10	1,10	1,13
Produção II	13/7	1,10	1,09	1,12
Produção III	28/7	1,10	1,09	1,13
Produção IV	13/8	1,10	1,11	1,14
Produção V	29/8	1,10	1,10	1,13
Produção VI	12/9	1,10	1,09	1,13

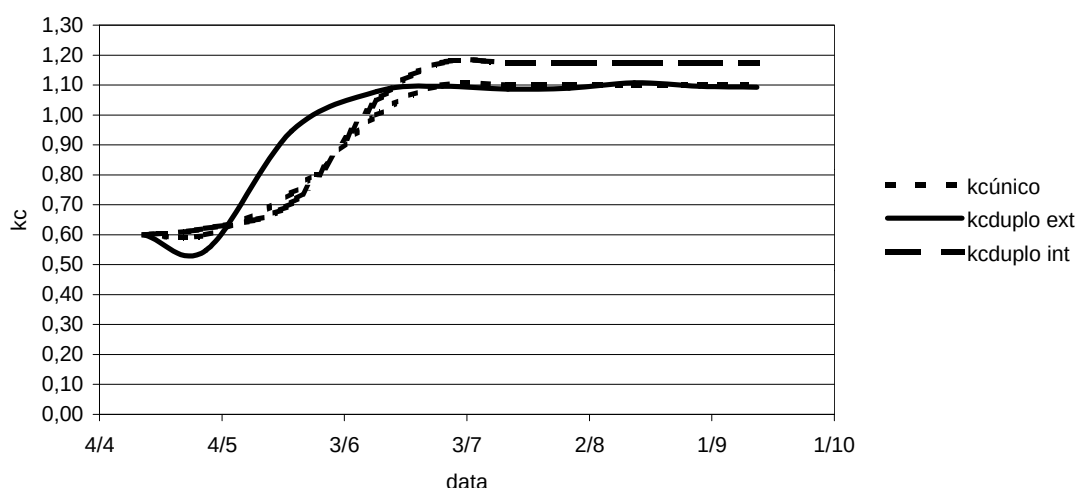


Figura 17 – Valores de coeficiente de cultura único (SISDA 3.5) e coeficiente de cultura duplo (ambiente externo e interno). Valores médios de 15 dias, aproximadamente.

Foram determinados os coeficientes de cultura das fases de desenvolvimento e produção. As mudas foram transplantadas; não havendo o estágio inicial. A última colheita ocorreu antes de as plantas estarem senescentes, não havendo quarto estágio.

Os coeficientes de cultura únicos (kc único) foram ajustados para umidade relativa mínima de 65% e velocidade média do vento de 1,0 m/s (normais climatológicas do INMET). Os coeficientes de cultura duplos foram calculados após o término do cultivo, utilizando-se os dados meteorológicos de dentro e fora do ambiente protegido. Os coeficientes basais (kcb) foram ajustados às condições climáticas (verificadas posteriormente) em ambos os ambientes. Dentro da casa de vegetação, a média de umidade relativa mínima foi de 48,08% e a velocidade do vento, de 0,0 m/s. No cultivo em campo aberto, a média de umidade relativa mínima medida foi de 65% e a velocidade do vento média, de 0,3 m/s.

O estudo comparativo foi realizado, tendo-se como referencial o coeficiente de cultura único, convencional, estimado pela metodologia apresentada por ALLEN et al. (1998).

O coeficiente de cultura duplo estimado para o ambiente externo apresentou elevação significativa durante o estágio de desenvolvimento em

razão das chuvas que ocorreram no mês de maio e promoveram elevação considerável do componente de evaporação (k_e). No início do desenvolvimento houve elevação do k_c de 0,74 (k_c único) para 0,95 (k_c duplo externo). Como não houve chuva dentro da casa de vegetação, o componente de evaporação foi menos expressivo, reduzindo o k_c duplo (0,70) na fase de desenvolvimento a um valor abaixo do k_c único. No intervalo final do desenvolvimento, foi mantida essa mesma tendência.

Como o ambiente dentro da casa de vegetação apresentou níveis de umidade relativa mínima inferiores aos do externo, houve elevação do déficit de pressão de vapor e, conseqüentemente, o processo evapotranspirométrico foi facilitado, promovendo elevação dos coeficientes de cultura basais durante todo o cultivo (ainda que a velocidade do vento fosse nula). Na fase de produção, o componente de evaporação tornou-se menos expressivo, e o componente de transpiração (k_{cb}) passou a definir o k_c duplo, provocando elevação do k_c dentro da casa de vegetação. Por esse motivo, o k_c duplo interno da fase de produção oscilou de 1,12 a 1,14, enquanto o externo variou entre 1,09 e 1,11.

A escolha, ou estimativa, do coeficiente de cultura para o ambiente protegido não pode deixar de considerar, antecipadamente, a redução no nível de umidade relativa mínima dentro da casa de vegetação (durante o dia), fato que promoveu elevação do k_c (seja único ou duplo). No estudo realizado, a redução da umidade relativa provocaria, utilizando o método recomendado pela FAO, elevação do k_c da cultura na fase de produção de 1,10 para 1,13.

4.6. Comparação entre coeficiente de cultura medido pelo lisímetro e coeficiente de cultura único estimado ajustado (k_c ajustado)

O coeficiente de cultura medido pelo lisímetro e o k_c único estimado foram utilizados para manejar a irrigação, definindo-se os respectivos tratamentos conduzidos (tratamentos 1, 2 e 3). No entanto, para definição da evapotranspiração da cultura e, a partir dela, da lâmina de irrigação, o manejo utilizando o k_c estimado necessitou de coeficientes de ajuste em função da variação da umidade do solo (k_s) e em função da localização da irrigação (k_l). Assim, pode-se considerar o coeficiente de cultura ajustado reunindo k_c , k_s e k_l

(Quadro 33). No entanto, o k_c medido pelo lisímetro já define diretamente a evapotranspiração da cultura, não necessitando de outros parâmetros de ajuste. Com isso, a diferença entre ET_c calculada pelo método do lisímetro e ET_c ajustada estimada pelo SISDA apresentou considerável aproximação.

Quadro 33 – Coeficientes de cultura determinados pelos métodos do lisímetro e coeficiente de cultura estimado ajustado ($k_{c\text{ajustado}} = k_c \times k_s \times k_l = \frac{ET_c}{ET_o}$). Valores médios de 15 dias, aproximadamente

Estádio	Duração	Medido	Estimado	Estimado
		K_c - Lisímetro	$K_c \times k_s \times k_{l_{\text{Fer}}}$	$K_c \times k_s \times k_{l_{\text{Kel}}}$
Inicial	15/4		0,43	
Pegamento	30/4		0,43	0,29
Desenvolvimento I	21/5	0,62	0,53	0,39
Desenvolvimento II	11/6	0,62	0,86	0,61
Produção I	27/6	0,83	1,02	0,72
Produção II	13/7	1,02	1,05	0,78
Produção III	28/7	1,10	1,05	0,81
Produção IV	13/8	0,90	1,04	0,83
Produção V	29/8	0,90	0,97	0,83
Produção VI	12/9	0,90	1,05	0,82

Na Figura 18, pode-se visualizar como ocorreu a aproximação entre k_c medido pelo lisímetro e o k_c ajustado para o cálculo da ET_c , a partir da ET_o . Portanto, não houve grande diferença entre as lâminas aplicadas pelo manejo conduzido pelo método do lisímetro e balanço hídrico, utilizando-se o programa SISDA 3.5. O manejo utilizando o coeficiente de localização de Keller promoveu lâminas de irrigação geralmente menores que as determinadas pelo lisímetro. O manejo utilizando o coeficiente de localização de Fereres promoveu lâminas de irrigação geralmente maiores, durante quase todo o ciclo da cultura.

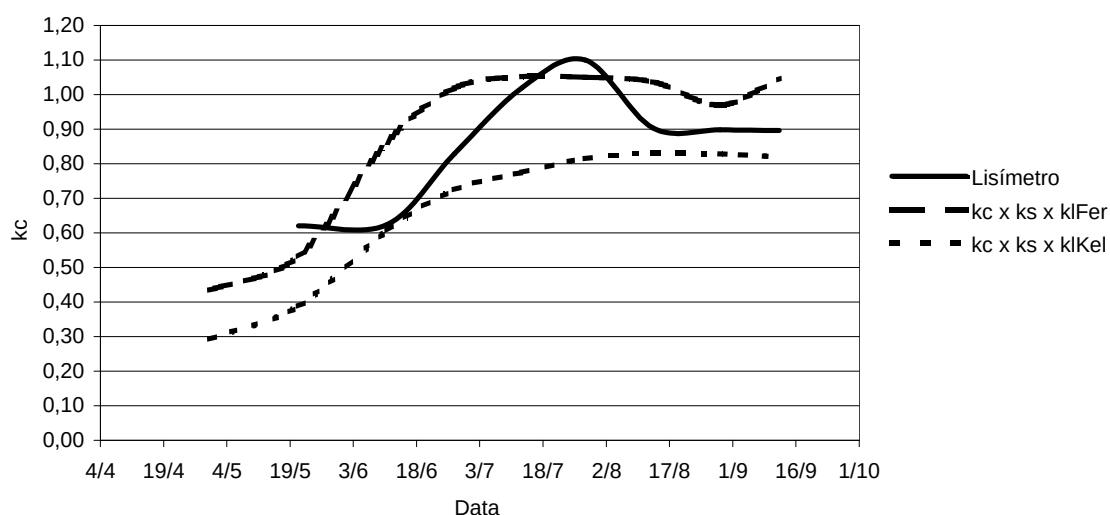


Figura 18 – Valores de coeficiente de cultura determinados pelos métodos do lisímetro e k_c único estimado e ajustado ($k_{c\text{ajustado}} = k_c \times k_s \times k_l = \frac{ET_c}{ET_o}$). Valores médios de 15 dias, aproximadamente.

A elevação do k_c típica da fase de desenvolvimento, para valores medidos, ocorreu somente a partir do dia 11/06, data que, teoricamente, já deveria estar sendo iniciada a fase de produção, talvez sinalizando uma necessidade de ajuste para duração de estádios. Por esse motivo, no período original do estágio de desenvolvimento, a curva de k_c medido não apresentou o comportamento esperado de crescimento (exponencial).

A elevação do k_c típica da fase de desenvolvimento, para valores medidos, ocorreu somente a partir do dia 11/06, data que, teoricamente, já deveria estar sendo iniciada a fase de produção, talvez sinalizando uma necessidade de ajuste para duração de estádios. Por esse motivo, no período original do estágio de desenvolvimento a curva de k_c medido não apresentou o comportamento esperado de crescimento (exponencial).

A curva de k_c medido indica que a fase de desenvolvimento durou cerca de 30 dias a mais, e a fase de produção não apresenta k_c estável, sendo necessário dividi-la em duas subfases.

Utilizando o comportamento-padrão da curva de k_c , as fases e respectivos k_c do cultivo realizado puderam ser organizados segundo o Quadro 34.

Quadro 34 – Estádios, duração e coeficientes de cultura do tomateiro cultivado em casa de vegetação, medido por meio de lisímetro de lençol freático constante

Estádio	Duração	Duração (dias)	Kc Medido
Pegamento	15/4 - 30/4	15	0,60
Inicial	01/05 – 10/06	40	0,62
Desenvolvimento	11/06 – 11/07	30	0,93
Produção I	12/07 – 28/07	16	1,10
Produção II	29/07 – 12/09	45	0,90

Novos experimentos utilizando lisímetros, principalmente durante o período primavera/verão, poderão indicar, de forma mais conclusiva, a duração real dos estádios de desenvolvimento do tomate, uma vez que a subdivisão original, proposta por DOORENBOS e PRUITT (1975), é mais bem aplicada para culturas anuais, com as quatro fases bem definidas. O tomateiro, por florescer ainda bem no início do desenvolvimento, possivelmente requer a definição do início do estágio de desenvolvimento não apenas em razão do florescimento, mas, concomitantemente, avaliando-se o nível de desenvolvimento vegetativo da cultura.

4.7. Comparação da necessidade hídrica da cultura definida pelo uso do coeficiente de cultura único, coeficiente de cultura duplo, coeficiente de localização de Keller, coeficiente de localização de Fereres e lisímetro de lençol freático constante

A evapotranspiração da cultura é a água evapotranspirada da área cultivada; caso não haja precipitação natural, será a própria lâmina líquida de irrigação a ser realizada. A comparação da ET_c calculada por diferentes

métodos permite avaliar o nível de similaridade de demanda hídrica gerada e, talvez, propor ajustes necessários a serem acrescentados.

Para avaliar a necessidade de água, foi considerado o coeficiente de estresse hídrico logarítmico, coeficiente de localização de Keller e Fereres e coeficiente de cultura único e duplo, além das medições diretamente no lisímetro a partir do dia 8 de maio de 2002 (após o período de pegamento).

O coeficiente de localização é de grande importância para a determinação da necessidade hídrica. A evapotranspiração acumulada calculada utilizando kl pelo modelo de Fereres foi 24,93 e 29,6% superior à calculada pelo modelo de Keller na casa de vegetação e no campo, respectivamente. Tal fato Permitiu afirmar que o kl Fereres promoveu aplicação de lâmina entre 1/4 e 1/3 superior ao kl de Keller, uma diferença bastante acentuada e que deverá ser levada em conta ao se decidir qual modelo utilizar (Quadros 35 e 36).

Quadro 35 – Somatório da evapotranspiração da cultura do tomateiro cultivado em casa de vegetação pelos métodos do kc único, kc duplo, kl Fereres, kl Keller e lisímetro, durante todo o cultivo

Período	Demanda Hídrica – Somatório de ETc (mm)				
	kc único		kc duplo		Lísímetro
	kl Fereres	kl Keller	kl Fereres	kl Keller	
16/04 - 12/09	221,97	166,62	227,06	170,80	-
08/05 - 12/09	202,2	153,27	206,98	157,20	182,34

Quadro 36 – Somatório da evapotranspiração da cultura do tomateiro cultivado em campo pelos métodos do kc único, kc duplo, kl Fereres e kl Keller, durante todo o cultivo

Período	Demanda Hídrica – Somatório de ETc (mm)			
	kc único		kc duplo	
	kl Fereres	kl Keller	kl Fereres	kl Keller
16/04 – 12/09	262,9	184,79	274,19	192,28

O uso do kc duplo promoveu pequeno ajuste no cálculo da ETc em razão do componente de evaporação (ke) durante a fase inicial da cultura. O uso do kc duplo promoveu aumento na ETc acumulada de 2%, em média, em casa de vegetação e 4% no campo aberto. O aumento foi maior no cultivo fora da casa de vegetação, porque houve chuvas no período inicial (maio), quando o processo evaporativo é mais significativo para o cômputo da evapotranspiração. Como a elevação foi muito pequena e o uso do kc duplo requer planilhas para cálculos complexos, o uso de kc duplo pode não ser tão fundamental para a condução adequada do manejo de irrigação localizada na cultura do tomateiro (Figura 19). Os resultados confirmam que o kc duplo apresenta maior importância para a condução de manejo da irrigação em área total.

A comparação entre demanda hídrica dentro e fora do ambiente protegido, a partir dos métodos e parâmetros presentes nos Quadros 35 e 36, apresentou pequena diferença, dependendo do kl utilizado. Quando foi empregado o coeficiente de localização de Keller, houve redução de requerimento hídrico de 10,9% (kc único) a 12,5% (kc duplo) para o cultivo em ambiente protegido. Quando foi utilizado o coeficiente de localização de Fereres, a redução de requerimento hídrico foi maior, de 18,4% (kc único) a 20,7% (kc duplo) para o cultivo em casa de vegetação. A diferença de ETc acumulada nos dois ambientes é afetada pelo uso do Kl, porque há diferença na evolução da percentagem de sombreamento da cultura cultivada em cada um dos ambientes. Ao mesmo tempo, há diferença na penalização da ETo em cada faixa de sombreamento, em ambos os modelos utilizados.

A magnitude de redução da ETo dentro da casa de vegetação foi menor, pois houve maior desenvolvimento vegetativo das plantas, maior desenvolvimento foliar e maior nível de sombreamento. Por essa razão, houve maior proximidade entre as necessidades hídricas das plantas cultivadas que o esperado nos dois ambientes, sobretudo utilizando kl de Keller. A diferença oscilou de 10% a 20,7%, enquanto a diferença de ETo entre os ambientes foi de 20,3%.

O método de estimativa que mais se aproximou com a evapotranspiração da cultura medida pelo lisímetro foi utilizando kc único e kl de Fereres, apresentando ETc acumulada 10% superior à medida no lisímetro. A estimativa da necessidade hídrica acumulada utilizando kl de Keller foi 15 (kc único) a 19% (kc duplo) menor que a medida pelo lisímetro (Figura 20).

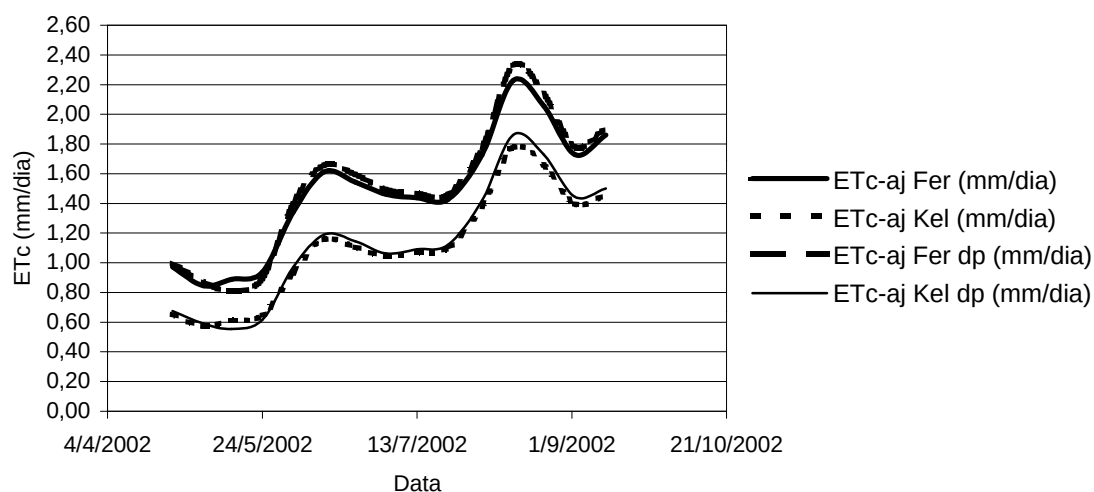


Figura 19 – Evolução da evapotranspiração da cultura (ETc) (médias de 10 dias), utilizando-se kc único e duplo e kl de Fereres e Keller, dentro da casa de vegetação.

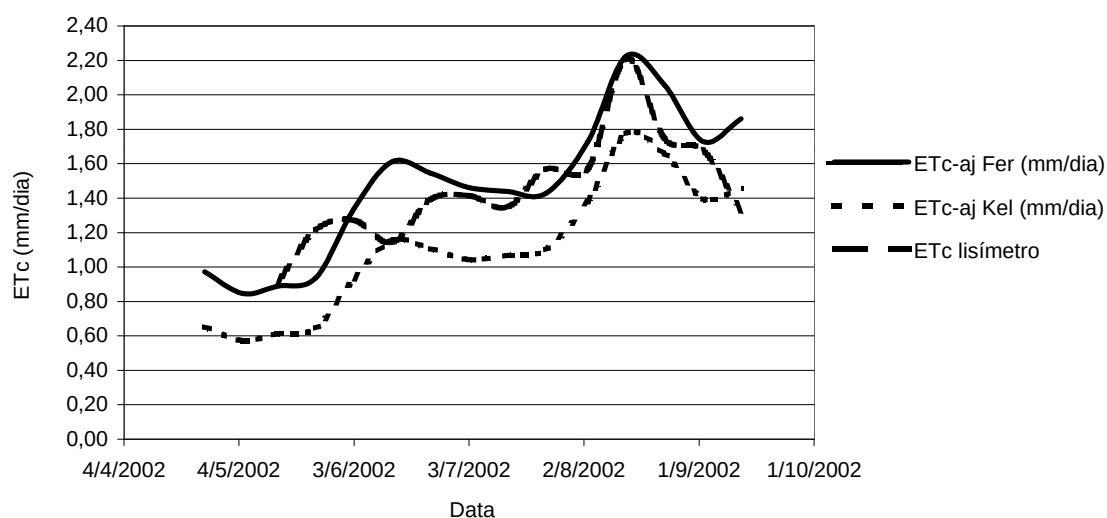


Figura 20 – Valores de evapotranspiração da cultura (médias de 10 dias), utilizando-se kc único, kl de Fereres e Keller e medida pelo lisímetro, dentro da casa de vegetação.

4.8. Irrigações realizadas ao longo do ciclo de cultivo

A necessidade hídrica da cultura foi determinada antes da realização das irrigações e intrinsecamente ligada à demanda evapotranspirométrica calculada por metodologia. Nos Quadros 37 e 38, apresentam-se as lâminas de irrigação acumuladas aplicadas em cada manejo conduzido dentro e fora da casa de vegetação. As irrigações foram contabilizadas do transplântio à véspera da última colheita (16/04 a 10/09).

Quadro 37 – Valores acumulados e médios de lâmina de irrigação, tempo de funcionamento do sistema de irrigação e turno de rega para o cultivo dentro da casa de vegetação

Casa de Vegetação	T1	T2	T3	T4	T5
	(Lisímetro)	(kl Keller)	(kl Fereres)	(T-Carmen)	(T-0,5)
Tempo total (h) *	99,65	80,92	102,08	75,48	65,33
Lâmina acumulada (mm)	263,07	213,62	269,48	199,28	172,48
Número irrigações	61	61	61	41	41
Tempo médio (h)	1,69	1,33	1,73	1,98	1,67
Lâm. média por irrig. (mm)	4,45	3,50	4,57	5,24	4,40
Turno rega médio	2,5	2,5	2,5	4,0	4,0

* A intensidade de aplicação do sistema é de 2,64 mm/h.

Quadro 38 – Valores acumulados e médios da lâmina de irrigação, tempo de funcionamento do sistema de irrigação e turno de rega para o cultivo em campo

Cultivo em Campo	T1	T2	T3	T4	T5
	(Lisímetro)	(kl Keller)	(kl Fereres)	Tensiôm.	Déficit
Tempo total (h) *	81,63	65,46	83,89	71,19	52,30
Lâm. irrig. Total (mm)	215,52	172,82	221,46	187,94	138,07
Lâmina acum. (mm) **	295,67	252,97	301,61	268,09	218,22
Núm. Irrigações	51	51	53	34	35
Tempo médio (h)	1,66	1,27	1,63	2,37	1,55
Lâm. média por irrig. (mm)	4,38	3,36	4,31	6,25	4,09
Turno rega médio	3,1	3,1	3,0	5,2	5,0

* A intensidade de aplicação do sistema é de 2,64 mm/h.

** A Lâmina total acumulada é a lâmina irrigada acumulada somada à precipitação efetiva medida pelo pluviômetro (80,15 mm).

Como já evidenciado pelo estudo dos coeficientes de cultura, o tratamento 3 (SISDA – Fereres) aplicou a maior lâmina acumulada de irrigação em ambos os ambientes, seguido pelos tratamentos 1 e 2 (SISDA – Keller). O tratamento 4, manejo utilizando tensiômetros, propiciou a terceira maior lâmina de irrigação no campo e a quarta maior lâmina na casa de vegetação.

Os manejos utilizando tensiômetros propiciaram maior turno de rega, o que elevou as lâminas médias aplicadas pelo método. Dentro da casa de vegetação, a elevação do turno de rega (de 2,5 dias para 4 dias) fez com que houvesse 20 irrigações a menos utilizando tensiômetros (41), em comparação com os manejos utilizando lisímetros e balanço hídrico (61).

Fora da casa de vegetação, os turnos de rega foram maiores, devido às precipitações que ocorreram ao longo do ciclo. Pelo método do balanço hídrico e lisímetro, o intervalo entre irrigações aumentou para aproximadamente três dias, ao passo que pelos métodos utilizando tensiômetros os intervalos aumentaram para cinco dias (Quadro 38).

A elevação do turno de rega foi fundamental para redução da produtividade propiciada pelo tratamento 4. Fora da casa de vegetação, o tratamento 4 aplicou mais água, mas produziu menos (em função do turno de rega). Já dentro da casa de vegetação, o tratamento 4 reduziu a lâmina aplicada e, conjuntamente, a produção.

O método de irrigação utilizando tensiômetros com déficit hídrico (tratamento 5) promoveu 27 e 21,9% de redução da lâmina total aplicada, para dentro e fora da casa de vegetação, respectivamente, razão pela qual propiciara a menor produtividade entre todos os métodos, associado à elevação do turno de rega.

Observou-se que a cultura foi sensível ao estresse hídrico, reduzindo a produtividade obtida em razão da menor disponibilidade hídrica (tratamento 5).

No Quadro 39, apresenta-se a lâmina total de água disponibilizada para atender à demanda hídrica da cultura determinada pelos manejos de irrigação testados, para dentro e fora do ambiente protegido. A demanda hídrica média calculada pelos métodos foi, em média, 19,4% menor na casa de vegetação que no ambiente externo. Ao considerar apenas os métodos que não promoveram déficit hídrico, a diferença média de lâmina aplicada entre os ambientes caiu para 18,3%. A redução verificada da ETo para dentro da casa

Quadro 39 – Demanda hídrica da cultura do tomateiro cultivada dentro e fora da casa de vegetação, determinada por vários métodos de manejo de irrigação, e evapotranspiração de referência acumulada verificada nos dois ambientes

Tratamentos	Casa de Vegetação	Campo	
	Lâmina total (mm)	Lâmina total (mm)	
T1	263,07	295,67	
T2	213,62	252,97	
T3	269,48	301,61	
T4	199,28	268,09	
T5	174,24	218,22	
L. total média	223,94	267,31	+19,4 %
L. total sem déficit	236,36	279,59	+18,3 %
ET _o (mm)	242,49	307,51	+20,3 %

de vegetação foi de 20,3%, diferença pouco superior à encontrada pela diferença de água aplicada pelos métodos. A pequena redução da diferença entre lâminas totais aplicadas nos ambientes pode ser explicada pelo maior desenvolvimento vegetativo da cultura, que propiciou menor redução da ET_o dentro da casa de vegetação (maiores kl).

Nos manejos de irrigação 1 (lisímetro), 2 (SISDA - Keller) e 3 (SISDA - Fereres), as lâminas médias a cada 10 dias puderam ser visualizadas conjuntamente, para efeito comparativo, como apresentado na Figura 21. O tratamento 1 (lisímetro) promoveu lâminas, em geral, intermediárias entre os tratamentos 3 e 2, acompanhando as curvas dos coeficientes de cultura ajustados por ks e kl (já apresentados).

4.9. Estimativa da evolução da umidade do solo ao longo do cultivo

O monitoramento da evolução da umidade do solo, estimada pelo SISDA 3.5 ao longo do cultivo nos tratamentos conduzidos, auxilia a compreender por que houve diferenças na obtenção de níveis de produtividade, inclusive entre tratamentos que aplicaram mais água e promoveram menor produtividade. A estimativa de variação da umidade do solo foi realizada utilizando kl de Fereres e ks logarítmico, critério que gerou

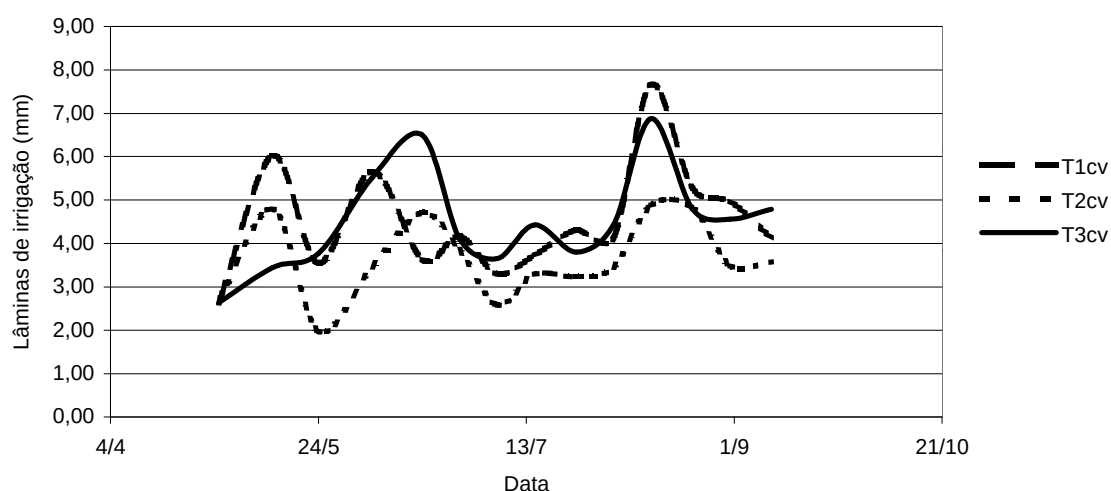


Figura 21 – Médias de irrigações realizadas a cada 10 dias, pelos tratamentos 1, 2 e 3, para cultivo em casa de vegetação.

maiores produtividades absolutas (em ambos os ambientes) e mais se aproximou da evapotranspiração da cultura medida pelo lisímetro. Inclusive, no tratamento 2 (SISDA - Keller), os gráficos foram gerados utilizando o *kl* de Fereres (Figuras 22 e 23).

Os tratamentos 1, 2 e 3 apresentaram níveis de umidade do solo dentro do intervalo de segurança para evitar o déficit hídrico (da capacidade de campo à umidade de segurança), ao longo do ciclo (em ambos os ambientes). Tratamentos esses que promoveram, estatisticamente, níveis semelhantes e mais elevados de produtividade.

O tratamento 1 promoveu níveis de umidade do solo, em média, superiores aos promovidos pelo tratamento 2, aproximando-se ou recuperando a umidade à capacidade de campo logo após as irrigações. Apenas no início de agosto houve nível de umidade inferior à umidade de segurança, o que não foi suficiente para afetar a produtividade.

O tratamento 2, por ser manejado utilizando o coeficiente de localização de Keller, que promove maior redução da *ET_o* nos níveis de sombreamento da cultura do tomate, apresentou níveis de umidade abaixo da capacidade de campo, embora não tenha ultrapassado a umidade de segurança dentro da casa de vegetação. O tratamento 2 conduzido em campo, apenas um dia, no início do mês de agosto promoveu níveis de umidade do solo abaixo da umidade de segurança, também não sendo suficiente para afetar a produtividade.

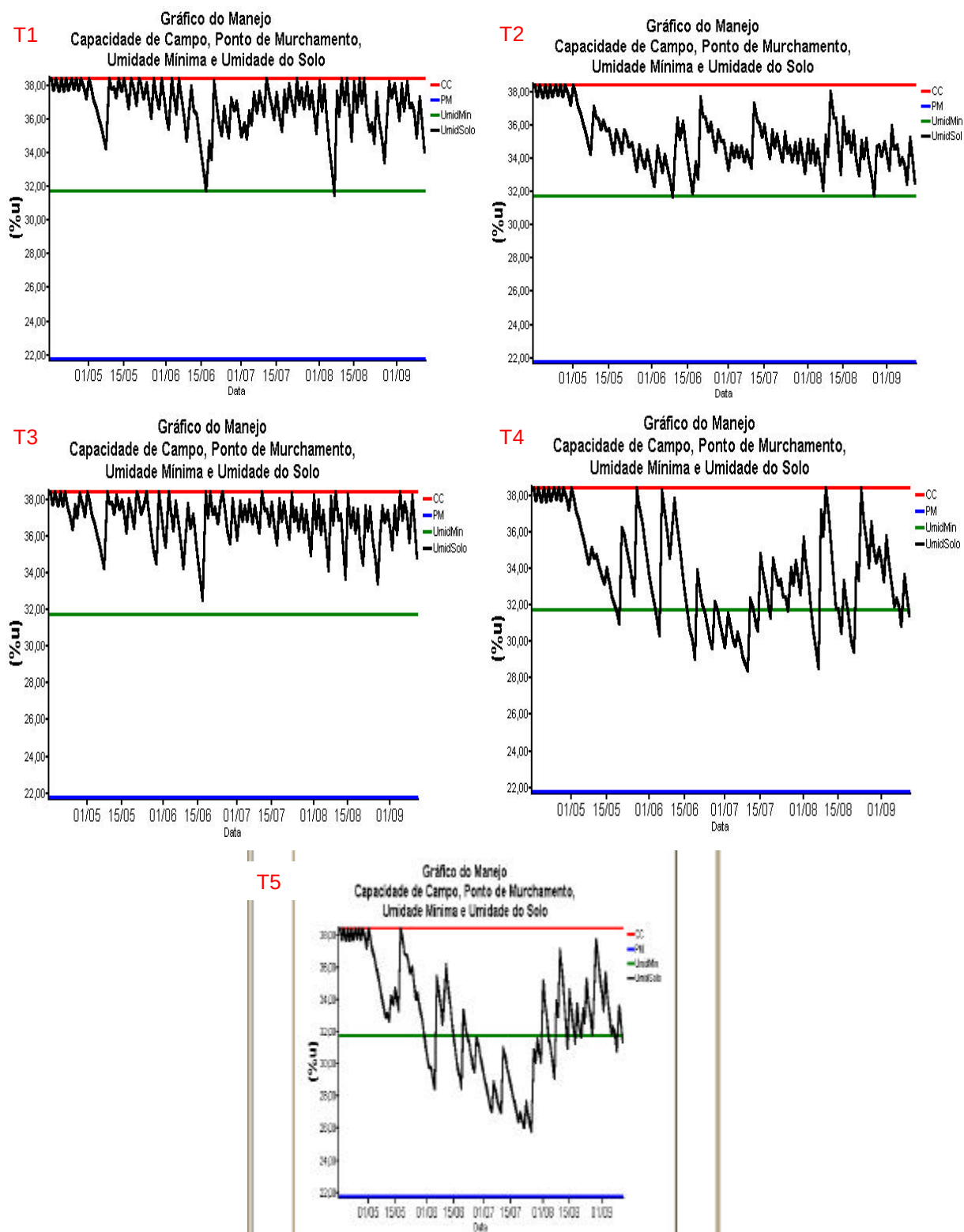


Figura 22 – Estimativa da variação da umidade (%u) do solo ao longo do cultivo para os tratamentos conduzidos dentro da casa de vegetação.

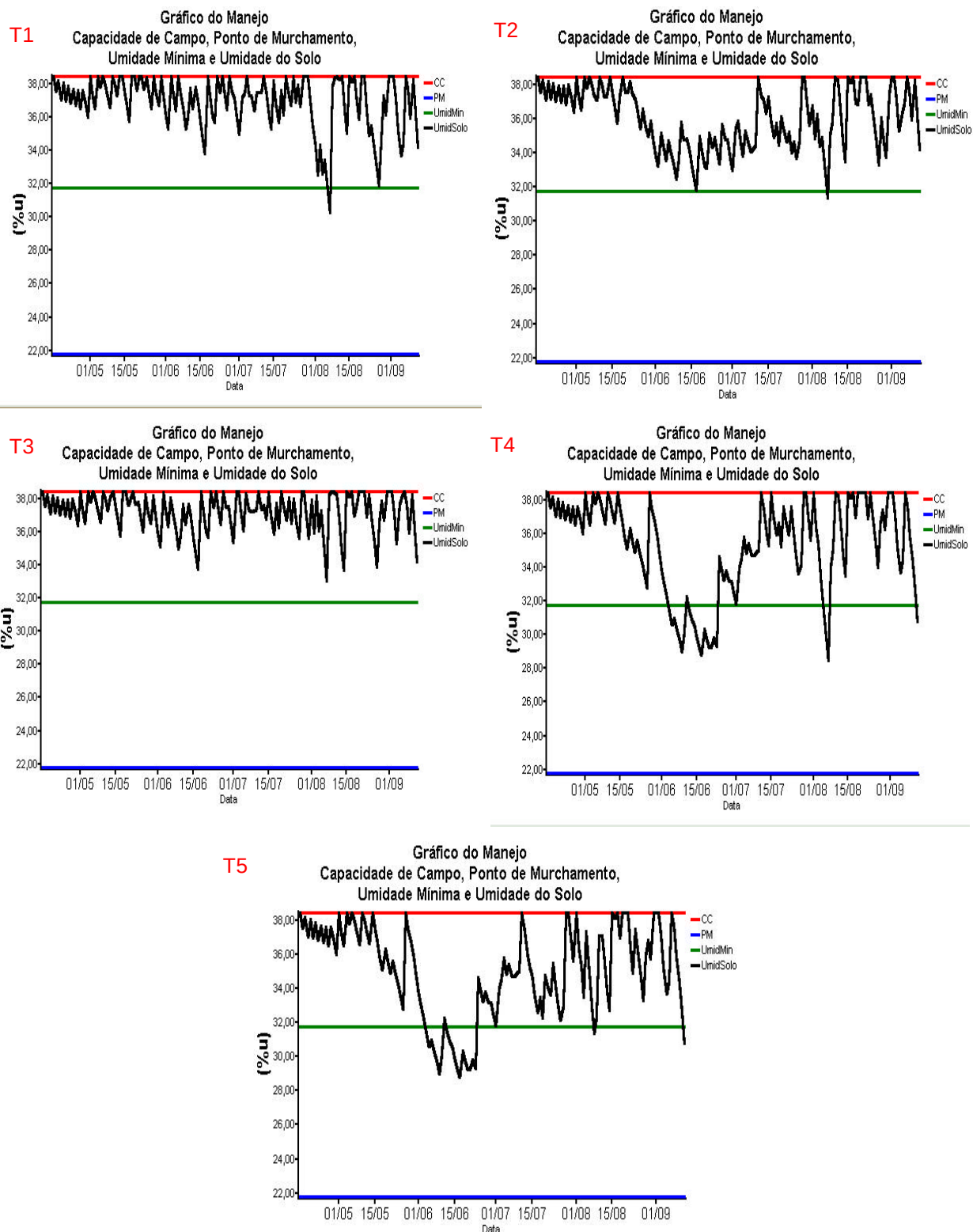


Figura 23 – Estimativa da variação da umidade (%u) do solo ao longo do cultivo para os tratamentos conduzidos fora do ambiente protegido.

O tratamento 3 promoveu níveis de umidade do solo adequados (próximos à capacidade de campo). Ao longo do ciclo, as irrigações retornaram a umidade à capacidade de campo, e nos intervalos entre irrigações, em nenhum momento, a umidade de segurança foi alcançada, o que permite refletir acerca do resultado propiciado pelo tratamento, em que, embora não se tenha distinguido estatisticamente dos tratamentos 1 e 2, em ambos os ambientes promoveu produtividade mais elevada em valores absolutos.

O tratamento 4, manejo por tensiômetros, promoveu níveis de umidade do solo abaixo da umidade de segurança durante vários dias e períodos, e as irrigações realizadas não restabeleciam a umidade à capacidade de campo, principalmente dentro da casa de vegetação. Fora do ambiente protegido, por ter havido precipitações, os níveis de umidade foram melhores, bem como de produtividade alcançada, aproximando-se à produtividade obtida pelos manejos 1, 2 e 3. As plantas entraram em déficit hídrico em vários períodos, o que promoveu queda na produtividade, diferenciando-se do nível produtivo dos três primeiros.

Analisando a evolução dos níveis de umidade do solo nas parcelas irrigadas no tratamento 5, confirma-se a sensibilidade da cultura ao ser submetida a níveis de umidade do solo abaixo do nível de segurança em sucessivos intervalos de dias. Como no tratamento 4, os níveis de umidade foram mais prejudicados para o manejo dentro da casa de vegetação, onde não havia chuva, acentuando-se o déficit hídrico ainda mais. Em agosto, em razão das chuvas ocorridas após a segunda quinzena do mês, houve restabelecimento dos níveis de umidade ao intervalo de segurança da cultura. Em ambos os ambientes, as produtividades promovidas pelo tratamento 5 foram as menores entre todos os manejos conduzidos.

A redução dos níveis de umidade, em relação à capacidade de campo, após as irrigações foi maior no tratamento 5 que no tratamento 4. Pois, embora ambos os tratamentos tenham aumentado o turno de rega, as lâminas médias aplicadas pelo tratamento 5 eram menores, em razão da restrição hídrica utilizada.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O ensaio experimental foi conduzido na Área Experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, situada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, no período de março a setembro de 2002. Cultivou-se tomate, variedade Carmen, dentro e fora da casa de vegetação. A casa de vegetação utilizada possuía 384 m² (16 m x 24 m) de área, estrutura metálica pré-fabricada e cobertura plástica de polietileno de baixa densidade, na forma circular (altura central de 5 m). Nos dois ambientes foi cultivada a mesma área.

O objetivo principal foi comparar a necessidade hídrica do tomateiro dentro e fora da casa de vegetação e o desempenho de métodos tecnificados de manejo de irrigação. Os objetivos secundários foram: comparar o comportamento dos elementos climáticos dentro e fora da casa de vegetação, o desempenho do manejo da irrigação utilizando os coeficientes de localização de Keller e Fereres, a demanda hídrica utilizando o cálculo do coeficiente de cultura único (kc único) e o coeficiente de cultura duplo (kc duplo); e definir os kc do tomateiro dentro da casa de vegetação.

Foram implantados cinco tratamentos dentro e fora da casa de vegetação, cada qual constituindo um manejo de irrigação independente: (1) manejo de irrigação utilizando lisímetro de lençol freático constante; (2) manejo de irrigação por balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5, estação meteorológica e coeficiente de localização de Keller; (3) manejo de irrigação

por balanço hídrico utilizando o programa SISDA 3.5, estação meteorológica e coeficiente de localização de Fereres; (4) manejo de irrigação utilizando tensiômetros; e (5) manejo de irrigação com déficit utilizando tensiômetros.

As medições dos elementos climáticos dentro e fora da casa de vegetação evidenciaram, no ambiente protegido: elevação das temperaturas máxima, média e mínima; redução da umidade relativa média, com pequeno aumento da umidade relativa máxima e significativa redução da umidade relativa mínima (aumento da amplitude de umidade relativa); queda brusca da velocidade do vento; redução da radiação solar incidente de 32%; e redução da evapotranspiração de referência de 20,3%.

Não houve interação significativa entre ambientes e manejos de irrigação em nenhuma das variáveis estudadas (produtividade total, de frutos comerciais e não-comerciais, tamanhos proporcionais de frutos comerciais e desenvolvimento das plantas).

Houve diferença significativa da produtividade promovida pelos métodos de manejo de irrigação testados. Os métodos de manejo de irrigação por balanço hídrico do solo, utilizando estação meteorológica e o programa SISDA 3.5, com coeficiente de localização de Fereres e Keller; e o método de manejo de irrigação utilizando lisímetro de lençol freático constante promoveram as maiores produtividades médias, estatisticamente semelhantes, a 5% de probabilidade. O método de manejo da irrigação por tensiômetros elevou o turno de rega médio e provocou queda na produtividade, em comparação com os três primeiros.

O nível de estresse imposto pelo manejo utilizando tensiômetros com irrigação em tensões de retenção mais elevadas da água do solo promoveu queda na produtividade da cultura.

Não houve diferença na distribuição da produção em classes de frutos entre os manejos de irrigação conduzidos.

Os métodos de manejo de irrigação não provocaram diferença nos parâmetros agrônômicos estudados. Dentro do ambiente protegido, as plantas alcançaram maior altura e número médio de flores. O número de folhas por planta nos dois ambientes foi semelhante.

A curva de kc medido dentro da casa de vegetação indica que houve necessidade de ajustar a duração e o comportamento dos kc nas várias fases de desenvolvimento da cultura.

Os coeficientes de cultura ajustados em função da variação da umidade do solo (ks) e localização de aplicação de água (kl) se aproximaram dos kc medidos pelo lisímetro de lençol freático constante. Os kc ajustados em função do kl de Fereres foram, em geral, maiores que os kc medidos no lisímetro. Os kc ajustados em função do kl de Keller foram, em geral, menores que os kc medidos pelo lisímetro.

O uso do kc duplo não se mostrou fundamental para tornar mais precisa a condução do manejo de irrigação localizada para a cultura do tomateiro.

A redução média da lâmina total aplicada dentro do ambiente protegido foi de 18,3%, aproximando-se da redução de ETo verificada (20,3%). O método que aplicou a maior lâmina foi o balanço hídrico utilizando kl de Fereres, seguido por lisímetro de lençol freático constante, balanço hídrico utilizando kl de Keller, tensiômetro e tensiômetro com déficit.

As estimativas dos níveis de umidade do solo ao longo do ciclo da cultura pelo SISDA 3.5 foram representativas para demonstrar a estreita relação entre nível adequado de água no solo e obtenção de elevada produtividade da cultura do tomateiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).
- ALBUQUERQUE, P.E.P.; JÚNIOR, A.S.A.; SOUZA, F.; SEDIYAMA, G.C.; BEZERRA, J.R.C.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 52/53, p. 49-55, 4º trimestre de 2001 e 1º trimestre de 2002.
- ALJIBURY, F. K.; MARSH, A. W.; HUNTAMER, J. Water use with drip irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, 1974. **Proceedings...** California, USA: [s.n.], 1974. p.341-345.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).
- ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M.; CAMARGO, M.B.; BRUNINI, O. Estudos de consumo de água e coeficiente de cultura. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 52/53, p. 49-55, 4º trimestre de 2001 e 1º trimestre de 2002.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1996. 657 p.
- CAMARGOS, M.I. **Produção e qualidade de tomate longa vida em estufa, em função do espaçamento e do número de cachos por planta**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1998. 68 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- DALSASSO, L.C.M.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M.; STRECK, N.A.; DALMAGO, G.A. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 61-67, 1997.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33).
- FACCIOLI, G.G. **Determinação da evapotranspiração de referência e da cultura da alface em condições de casa de vegetação, em Viçosa, MG**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1998. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 17-22, 1994.
- FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R.; BERLATO, M.A.; OLIVEIRA, A.C.B. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 17-22, 1992.
- FERERES, E. **Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado**. Ponencia en IV Seminario Latinoamericano de Microirrigación. Barquisimeto, Venezuela, 1981. 23 p.
- FERREIRA, P.A.; VILDOSO, T.A.; FONTES, P.C.R.; PRUSKI, F.F.; CECON, P.R.; RAMOS, M.M. Efeito da flutuação do lençol freático na produção da cenoura (*Daucus carota* L.). **Revista Engenharia na Agricultura**, AEAGRI-MG, v. 9, n. 2, p. 132-146, 2001.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Anuário da agricultura brasileira – AGRIANUAL 2002**. São Paulo: FNP, 2002. 536 p.
- GOTO, R.; TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998.
- HERNANDEZ ABREU, J. M.; PEREZ REGALADO, A.; RODRIGO LOPEZ, J.; GONZALEZ HERNANDEZ, J. F. **El riego localizado**. Curso internacional de riego localizado. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317 p.

- HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. Plant water requirements as related to trickle irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, 1974. **Proceedings...** California, USA: [s.n.], 1974. p.323-328.
- HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; JENSEN, M. E. History of lysimeter desing and use for evapotranspiration. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O.; WALTER, I. A.; JENSEN, M. E. **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: ASCE, 1991. p. 1-19.
- INFELD, J.A.; SILVA, J.B.; ASSIS, F.N. Temperatura-base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 187-191, 1998.
- KELLER, J. **Trickle irrigation**. Colorado: En Soil Conservation Service National Engineering Handbook, 1978. 129 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold, 1990. 652 p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler. Glendora, California: [s.n.], 1975. 133 p.
- LOPES, M.C.; STRIPARI, P.C. A cultura do tomateiro. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. p. 15-30.
- MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. **Manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos**. Workshop internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos. Brasília: SRH/MMA – DEA-UFV, 1998. 154 p.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Manejo de irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA/MANEJO DE IRRIGAÇÃO, 27, 1998, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Lavras, MG: UFLA/SBEA, 1998. 378 p.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Coeficientes de cultura para hortaliças sob sistema convencional de cultivo irrigadas por aspersão. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 52/53, p. 56, 4º trimestre de 2001 e 1º trimestre de 2002.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R.; CARRIJO, A.; SILVA, H.R. Estabelecendo parâmetros para a irrigação por gotejamento do tomateiro industrial. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: [s. n.], 2001.

- MAROUELLI, W.A.; SANTANA, R.R.; SILVA, W.L.C. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12, 2002, Uberlândia-MG. **Anais...** Uberlândia, MG: [s. n.], 2002.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994. 60 p.
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- MINAMI, K.; HAAG, H.P. **O tomateiro**. 2. ed. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1980. 397 p.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471 p.
- REIS, N.V.B.; MAKISHIMA, N. Uma visão global sobre as oportunidades com os cultivos protegidos diante das condições climáticas do Brasil. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 52/53, p 13-17, 4º trimestre de 2001 e 1º trimestre de 2002.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa, MG: UFV, Impr., Univ.,1999. 359 p.
- SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com plásticos**. 5. ed. Ver. e atual. Guaíba: Agropecuária, 1995. 342 p.
- SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: SEEMAN et al. **Agrometeorology**. New York: Springer-Verlag, 1979. p. 167-178.
- SILVA, F.C. **Uso de dispositivos lisimétricos para medida de evapotranspiração de referência**. Piracicaba, SP: ESALQ-USP, 1996. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, V.A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. Manejo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA/UFLA, 1998. p. 311-348.
- SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, V.A. Fertirrigação de hortaliças. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 52/53, p 45-48, 4º trimestre de 2001 e 1º trimestre de 2002.

- SOARES, A. A. **Irrigação por aspersão e localizada**. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação, módulo 4. Brasília: ABEAS; Viçosa, MG: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1998. 86 p.
- TESTEZLAF, R. Uso da irrigação em ambientes protegidos: cuidados e atenções. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 52/53, p 18-22, 4º trimestre de 2001 e 1º trimestre de 2002.
- TESTEZLAF, R.; QUEIROZ, S.O.P. Perigo de salinização em ambientes protegidos. Irrigação e tecnologia moderna (ITEM). **Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 52/53, p. 38-462, 4º trimestre de 2001 e 1º trimestre de 2002.
- TIVELLI, S.W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições subtropicais. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. p. 15-30.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Localized irrigation**. Rome: FAO, 1980. 203 p. (Irrigation and Drainage Paper, 36).
- VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F. et al. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH/UFRJ, 1989. Cap. 3, p. 145-97.