

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM CULTURA DE
PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.) EM AMBIENTE PROTEGIDO**

ELCIO SILVÉRIO KLOSOWSKI

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Abril - 2001

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM CULTURA DE
PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.) EM AMBIENTE PROTEGIDO**

ELCIO SILVÉRIO KLOSOWSKI
Engenheiro Agrônomo

Orientadora: **Prof^ª. Dr^ª. Dalva Martinelli Cury Lunardi**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Abril - 2001

*À minha esposa **Luzia***

*Aos meus filhos **Eduardo e Beatriz***

*Aos meus pais **Casemiro Jahir e Rafaela***

*Aos meus tios **Leopoldo e Izabel (in memoriam) e Helena***

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Professora Dr^a. Dalva Martinelli Cury Lunardi pela orientação e dedicação e principalmente pela confiança depositada neste trabalho.

À Universidade Estadual de Maringá pela oportunidade para aperfeiçoar minha formação profissional

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro

Ao Professor Dr. José Cândido Stevaux e Professora Dr^a. Maria Tereza da Nóbrega pelo apoio e incentivo.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná pela oportunidade para continuar o desenvolvimento deste trabalho

Ao Professor Dr. João Francisco Escobedo pelo apoio e incentivo

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Recursos Naturais pelo apoio

Aos amigos Antônio Ribeiro da Cunha e Emerson Galvani pelo companheirismo, amizade e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos inúmeros colaboradores anônimos, que de uma forma ou outra concorreram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Evapotranspiração e coeficiente de cultura: conceitos e definições.....	3
2.2. Evapotranspiração: medida e estimativa.....	6
2.3. Características e exigências da cultura.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Local do experimento.....	17
3.2. Características Físicas e Químicas do Solo.....	17
3.2.1. Classificação do solo.....	17
3.2.2. Análise química e física.....	18
3.2.3. Curva característica de retenção de água do solo.....	19
3.3. Caracterização climática da região.....	19
3.4. O pimentão híbrido Elisa.....	20
3.5. Características do ambiente protegido.....	20
3.6. Disposição dos canteiros.....	21
3.7. Monitoramento de elementos meteorológicos.....	22
3.8. Lisímetros de compensação com nível de lençol freático.....	23
3.8.1. Caixa de cimento amianto.....	23
3.8.2. Tanque intermediário.....	24
3.8.3. Tanque medidor.....	24
3.8.4. Determinação dos fatores de correção e medida da evapotranspiração.....	24
3.8.5. Manejo dos lisímetros.....	27
3.9. Manejo e condução da cultura.....	27
3.10. Manejo da irrigação.....	30

	Páginas
3.11. Avaliação de parâmetros de crescimento da cultura.....	32
3.12. Estimativas da evapotranspiração potencial pelo método de Penman-Monteith....	35
3.13. Relação entre elementos meteorológicos, índices de crescimento e evapotranspiração de cultura.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1. Variação dos elementos meteorológicos dentro e fora de ambiente protegido.....	38
4.2. Consumo de água pela cultura do pimentão.....	45
4.3. Determinação do coeficiente de cultura.....	49
4.4. Efeitos dos elementos meteorológicos sobre o consumo hídrico da cultura.....	50
4.5. Índices de crescimento da cultura do pimentão.....	56
4.6. Classificação dos frutos e rendimento.....	58
4.7. Relação entre índice de área foliar, demanda hídrica e coeficiente de cultura.....	61
5. CONCLUSÕES.....	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1	Análise química do solo (Departamento de Recursos Naturais - Setor Ciência do do 18
2	Salto Características físicas do solo (Departamento de Recursos Naturais - Setor Ciências Ambientais)..... 18
3	Valores de densidade do solo e do teor de umidade inicial expresso em volume.. 18
4	Potencial matricial médio mensal (kPa) do solo..... 32
5	Limites de tolerância de defeitos graves e leves para cada categoria de qualidade de frutos de pimentão..... 35
6	Consumo hídrico total, médio, máximo e mínimo por estágio de desenvolvimento para a cultura do pimentão híbrido Elisa nas condições de Botucatu-SP..... 47
7	Valores médios de kc para o pimentão híbrido Elisa nas condições de Botucatu-SP..... 49
8	Número médio de frutos por planta, massa, comprimento, diâmetro e espessura de polpa dos frutos, produção e rendimento (bordadura)..... 58
9	Número médio de frutos por planta, massa, comprimento, diâmetro e espessura de polpa dos frutos, produção e rendimento (lisímetros)..... 58
10	Classificação dos frutos de pimentão 60
11	Classificação dos frutos de pimentão (lisímetros)..... 60

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Curva característica de retenção de água no solo na camada de 0 a 30 cm, obtida em Laboratório..... 19
2	Vista interna do ambiente protegido e do lisímetro..... 21
3	Representação esquemática da área experimental, mostrando a disposição dos canteiros e lisímetros: (a) caixa de cimento amianto, (b) tanque intermediário e (c) tanque medidor..... 21
4	Representação esquemática de um lisímetro..... 23
5	Representação esquemática do tanque intermediário..... 25
6	Representação esquemática do tanque 26
7	Sistema de tutoramento empregado para condução da cultura de pimentão..... 30
8	Lâmina de água aplicada em função do 31
9	Temperatura do ar medida em ambiente protegido (TarApm) e na estação meteorológica (TarEmm)..... 39
10	Umidade relativa do ar medida em ambiente protegido (URApM) e na estação meteorológica (UREmm)..... 39
11	Radiação solar global medida em ambiente protegido (RGApM) e na estação meteorológica (RGEmm)..... 41
12	Saldo de radiação medido em ambiente protegido (SRApM) e na estação meteorológica (SREmm)..... 41
13	Temperatura do solo na condição de ambiente 43
14	Radição solar difusa em ambiente protegido (DIFApM) e estação meteorológica (DIFEmm)..... 43
15	Radiação refletida pela superfície (REF) e fluxo de calor no solo 44
16	Portamento da velocidade do vento em ambiente protegido (VvApM) e na estação meteorológica (VvEmm)..... 45
17	Consumo hídrico total por estágio de desenvolvimento..... 47
18	Consumo hídrico médio, máximo e mínimo por estágio de desenvolvimento..... 48

Figura	Página
19 Evapotranspiração de referência e de cultura e coeficiente de cultura para diferentes datas após o transplante para a cultura de pimentão nas condições de Botucatu.....	50
20 Variação da evapotranspiração de cultura e da radiação solar global durante o ciclo da cultura de pimentão.....	52
21 Relação entre a radiação solar global e a evapotranspiração em ambiente protegido.....	52
22 Saldo de radiação e evapotranspiração de cultura do pimentão em ambiente protegido.....	53
23 Relação entre o saldo de radiação e a evapotranspiração de cultura em ambiente protegido.....	54
24 Temperatura, umidade relativa do ar e evapotranspiração de cultura em ambiente protegido.....	55
25 Relação entre a umidade relativa do ar e a evapotranspiração de cultura em ambiente protegido.....	56
26 Matéria seca total (MST) e índice de área foliar (IAF) da cultura do pimentão para a condição de bordadura dentro de ambiente	57
27 protegido plantas. (ALT) e número médio de folhas por planta (NF) para a cultura de pimentão híbrido Elisa para a condição de ambiente protegido.....	57
28 Variação da evapotranspiração de cultura (Etc) e do índice de área foliar	61
29 IAF relação entre o índice de área foliar e a evapotranspiração de cultura do pimentão.....	62
30 Variação do coeficiente de cultura e do índice de área foliar.....	63
31 Relação entre IAF e kc da cultura do pimentão.....	63
32 Relação entre Kc e índice de área foliar (IAF) até 150 dias do ciclo.....	64

RESUMO

O consumo hídrico da cultura de pimentão (*Capsicum annuum* L.) cultivado em ambiente protegido foi avaliado por meio de lisímetros de compensação de nível de lençol freático. A evapotranspiração total de cultura, para um ciclo de 198 dias, foi de 293,5mm com média diária de 1,5mm. Para determinação do coeficiente de cultura foi utilizado o modelo de estimativa da evapotranspiração de referência proposto por Penman-Monteith. Os valores de coeficiente de cultura variaram de 0,4 para início do ciclo até 0,7 no período entre o florescimento e início de colheita. Na condição de ambiente protegido, as variáveis meteorológicas como: temperatura do ar, radiação solar global, saldo de radiação e velocidade do vento apresentaram valores menores que os obtidos em estação meteorológica. Os valores de umidade relativa do ar, porém, foram semelhantes àqueles obtidos em estação meteorológica. A radiação solar difusa medida na condição de ambiente protegido foi maior devido à presença de componentes estruturais e da opacidade do plástico de cobertura. Os modelos estatísticos de regressão linear simples, cujas variáveis independentes foram a radiação solar global, o saldo de radiação e a umidade relativa do ar, representaram satisfatoriamente a evapotranspiração de cultura para a condição de ambiente protegido. O índice de área foliar representou adequadamente as variações da evapotranspiração de cultura em todo o ciclo e do coeficiente de cultura para o período compreendido até 150 dias após o transplante. Os valores de evapotranspiração de cultura no ambiente protegido foram cerca de 50% menores que aqueles apresentados pela FAO. Portanto, o cultivo de plantas neste tipo de

ambiente mostra alta eficiência de uso de água e pode ser uma alternativa para otimizar as práticas de irrigação e reduzir os investimentos em equipamentos.

WATER CONSUMPTION DETERMINATION ON RED PEPPER CROP

(Capsicum annuum L.) IN GREENHOUSE. Botucatu, 2001. 82p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ELCIO SILVÉRIO KLOSOWSKI

Adviser: DALVA MARTINELLI CURY LUNARDI

SUMMARY

Water consumption of red pepper (*Capsicum annuum L.*) crop, which was grown in greenhouse, was evaluated through water table lysimeters. The total evapotranspiration of this crop during a hundred ninety eight term, was of 293.5mm, averaging daily in 1.5mm. The crop coefficient determination was gotten using an estimate pattern of reference evapotranspiration proposed by Penman-Monteith. The crop coefficient values ranged from 0.4 according to the beginning of the cycle, to 0.7 which presents the term between the blossom and the cropping term. In a greenhouse, meteorological variables as: air temperature; global solar radiation and wind speed showed inferior records than those ones obtained at the meteorological field station. Meanwhile, relative humidity answers were similar to the ones obtained at the meteorological station. The diffuse solar radiation measured into the greenhouse was superior due to the presence of structural components and plastic opaqueness from the roof. The statistical patterns of simple linear regression which independent variables were global solar radiation; net radiation and relative humidity of air represented satisfactorily crop evapotranspiration according to its condition into the greenhouse. The leaf area index represented properly the crop evapotranspiration changes to all the crop cycle considering the crop coefficient to the term which was comprised until 150 days after a transplant. The crop evapotranspiration values in a greenhouse were almost 50% inferior than those ones shown by FAO. Therefore, growing plants in this kind of

environment shows high efficiency on water use and it can also be an alternative on optimizing watering practices and reducing investments on equipment.

Keywords: crop coefficient; estimate patterns; evapotranspiration; lysimeters.

1. INTRODUÇÃO

A produção de produtos hortícolas no Brasil quando realizada sob algum tipo de estrutura, metálica ou de madeira, em que se utiliza, principalmente, filmes plásticos (polietileno de baixa densidade – PEBD) para a sua cobertura, está sendo denominada de cultivo protegido ou cultivo em ambiente protegido e ou simplesmente de estufa, tendo ou não o controle ambiental (Tivelli, 1998a).

A utilização do cultivo em ambientes protegidos tem crescido de forma significativa no mundo (Nelson, 1991). De acordo com Martalerz (1977), a área total em todo o mundo era de aproximadamente 300.000 hectares. Atualmente, os países mediterrâneos, que antes tinham pouca tradição de uso desta tecnologia, passaram a utilizá-la intensivamente. De acordo com Bot (1992), as exigências de produtos de melhor qualidade e proteção ambiental têm despertado os interesses para o cultivo neste tipo de ambiente.

De acordo com levantamento realizado pela Associação dos Engenheiros Agrônomos do Estado de São Paulo, no período de janeiro a abril de 1995, foram encontrados 897 hectares com algum tipo de cultivo em ambiente protegido. Desse total, 58,9% com hortaliças e 38,7% com flores. Segundo a mesma Associação, no Estado de São Paulo, 80,6% do total da área cultivada foi construída com recursos próprios contra 19,4% de área financiada (Associação, 1995) .

Com relação ao restante do território brasileiro, a estimativa em 1994 foi de aproximadamente 2.000 hectares, com crescimento anual em torno de 30%. Neste ritmo

de crescimento, na virada do milênio, deverá existir uma área cultivada de 10.000 hectares neste sistema (Minami, 1995)

Esta forma de cultivo vem sendo bastante difundida em todo o país principalmente na região sul, onde as adversidades climáticas entre as estações do ano é bastante relevante. Sua expansão aconteceu, visando o cultivo de hortaliças, procurando protegê-las das chuvas, granizos e geadas (Medeiros, 1998). O cultivo dentro de ambiente protegido permite que se realizem plantios em diversas épocas do ano e, dependendo do caso, em períodos de entressafra, o que possibilita aos agricultores maior aproveitamento do solo e otimização de práticas de manejo e principalmente a possibilidade de obter melhor preço de mercado contando com produtos de boa qualidade.

Muitos trabalhos têm comprovado que as condições externas são bastante diferentes daquelas no interior de ambientes protegidos, portanto, exigem práticas de manejo diferentes daquelas na condição externa. Ao contrário do que se conhece sobre os cultivos convencionais, a plasticultura é, ainda, deficiente de informações tanto de manejo como das necessidades das culturas quanto à água, energia solar e nutrientes.

Para todas as culturas, a disponibilidade hídrica é fator limitante de produção, sendo parte da água consumida perdida para a atmosfera pelo processo de transpiração. É imprescindível conhecer as necessidades hídricas da planta para racionalizar a sua utilização e otimizar as práticas de irrigação.

Em ambiente protegido, não se pode contar com a água da chuva. Assim sendo, o manejo da irrigação, com respeito ao controle da salinidade do solo, é muito semelhante ao realizado em regiões áridas, onde somente a água de irrigação é responsável pelo suprimento das necessidades hídricas da cultura (Medeiros, 1998).

Para Melo (1997), o pimentão é a olerícola mais cultivada nas condições de ambiente protegido e tem sido a cultura que melhor se adapta a essas condições no Estado de São Paulo.

Tendo em vista a ausência de dados relativos a esta cultura em ambientes protegidos, pretende-se: determinar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura nesta condição, empregando-se lisímetros de nível freático e caracterizar a influência dos elementos do clima na evapotranspiração medida.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Evapotranspiração foi o termo utilizado por Thornthwaite, no início da década de 40, para expressar a ocorrência simultânea de evaporação e transpiração que acontece em uma superfície vegetada (Pereira et al., 1997). É um processo de mudança de fase no qual a água passa do estado líquido para o estado gasoso e depende da energia disponível, do gradiente de vapor d'água, da resistência ao fluxo de vapor, da condição do solo e da planta em translocar a água para a atmosfera (Gardner, 1965). Para isto, é necessário que exista disponibilidade de água, de forma que a planta, permanecendo túrgida, possa efetuar trocas gasosas através dos estômatos, necessárias para a realização da fotossíntese (Slatyer, 1967).

A evapotranspiração é controlada principalmente pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (Pereira et al., 1997). A demanda atmosférica é condicionada pela radiação solar, velocidade do vento, temperatura e déficit de saturação do ar. Todos estes elementos sofrem alterações no interior do ambiente protegido, resultando em diferença no consumo de água pelas plantas em relação ao ambiente externo (Dalsasso et al., 1997). No interior deste ambiente, o consumo de água é menor, principalmente pela atenuação que ocorre na densidade de fluxo da radiação solar incidente e no perfil aerodinâmico, resultando em menor velocidade de renovação do ar junto às plantas (Robledo & Martin, 1981; Reisser Jr., 1991; Buriol et al., 1995).

Na literatura, encontra-se uma diversidade de termos e conceitos em evapotranspiração, que, na maioria das vezes, são apresentados de uma forma vaga, tornando difícil a comunicação e a transposição de resultados de uma região para outra.

Segundo Pereira et al. (1997) o conceito de *evapotranspiração potencial* foi utilizado por Thornthwaite e corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada em crescimento ativo que deve cobrir totalmente o terreno, desde que em nenhum instante a demanda atmosférica seja restringida por falta d'água no solo. Por ser uma cobertura baixa e de altura uniforme, utilizada nas estações meteorológicas, a grama foi prontamente tomada como padrão. Considerando a definição proposta por Thornthwaite e para caracterizar adequadamente evapotranspiração potencial, esta área extensa, ou área tampão, deve ser suficientemente grande para que o efeito do transporte horizontal de calor sensível para a área úmida não interfira nos valores de evapotranspiração e, portanto, seja resultante apenas das trocas verticais de energia que são limitadas pela disponibilidade de radiação solar.

Doorenbos & Pruitt (1997), definem a evapotranspiração de referência, como sendo aquela que ocorre em uma extensa superfície gramada com altura de 0,08 a 0,15m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água, neste caso coincide com a evapotranspiração potencial. Para áreas cultivadas suficientemente extensas, os valores obtidos para alfafa, preconizados por Jensen et al. (1971), diferem daqueles obtidos para grama em função do albedo e da rugosidade das duas superfícies.

A *evapotranspiração real* é aquela que ocorre numa superfície vegetada, independente da sua área, do porte da cultura e das condições de umidade do solo. Pode ser limitada tanto pela disponibilidade de radiação como pela capacidade do solo, em atender a demanda atmosférica (Pereira et al.,1997).

Para atender as reais necessidades hídricas de uma cultura através de reposição da água ao solo, é necessário conhecer a *evapotranspiração da cultura* ou *evapotranspiração máxima* como definida por Doorenbos & Kassam (2000). Durante o seu ciclo, uma cultura sofre diversas modificações morfológicas e fisiológicas que caracterizam seus estádios de desenvolvimento e isto ocorre desde o plantio até a colheita. Neste período, a cultura vai progressivamente crescendo e ocupando a área disponível do solo, ocorrendo, nestas condições, a *evapotranspiração real* ou *da cultura* (Pereira et al., 1997).

Por apresentar diferentes significados, deve-se evitar o uso do termo *evapotranspiração máxima* (Pereira et al., 1997). Para Tanner & Jury (1976) corresponde a condição potencial, enquanto para Doorenbos & Kassam (2000), é a evapotranspiração de cultura e para Villa Nova & Reichardt (1989), representa a condição de oásis.

A evapotranspiração de cultura (E_c) é relacionada a evapotranspiração de referência (E_o), por um coeficiente adimensional denominado de coeficiente de cultura (K_c) para uma determinada cultura, estágio de desenvolvimento e condições de água na superfície do solo (Wright, 1982) como: $E_c = K_c \times E_o$

O K_c representa a relação de dependência da transpiração da planta em função do crescimento, da fenologia e da evaporação do solo em função do conteúdo de água, condutividade hidráulica, energia disponível para a superfície do solo para promover evaporação da água.

Este coeficiente é necessário para prever as necessidades de água de uma cultura, baseado nas medidas de evapotranspiração de referência (Doorenbos & Pruitt, 1997) e depende do poder evaporativo do ar, da cultura e de sua fase fenológica (Doorenbos & Kassam, 2000). Os valores do coeficiente de cultivo variam de acordo com o método de estimativa da evapotranspiração de referência (Barbieri, 1981; Peres et al., 1992).

Pruitt et al. (1987), citados por Hartz (1996), mostram que nem a evaporação do tanque Classe A nem a evapotranspiração de referência calculada por relações empíricas reflete precisamente a evapotranspiração real da cultura em todas as condições climáticas, requerendo adaptações, dependendo do local.

Pode-se cometer erros quando se utiliza este coeficiente, pois depende, além do método de estimativa da evapotranspiração, de outros fatores como a densidade, o arranjo e tipo de condução das plantas. Para cultura do pimentão, o coeficiente de cultivo em fileiras duplas em leito de 1,0m de largura sobrestimou a necessidade hídrica de fileiras duplas em leito de 1,5m, onde as plantas não cobrirão totalmente o solo (Hartz, 1996).

Allen et al. (1998), propuseram que o K_c pode ser representado pela soma de dois coeficientes, determinados separadamente, que demonstram os efeitos da transpiração de cultura e da evaporação do solo. O coeficiente basal de cultura (K_{cb}) descreve a transpiração da planta, sendo definido como a razão entre a evapotranspiração de cultura e a evapotranspiração de referência, quando a superfície do solo esta seca, mas o teor

de umidade na zona radicular é adequado para atender a transpiração. Este coeficiente representa o K_c na ausência de irrigação ou precipitação pluvial. O coeficiente de evaporação da água do solo (K_e) descreve a evaporação da superfície do solo e seu valor será maior quando esta estiver úmida. A soma destes dois coeficientes não pode exceder o valor máximo do K_c , determinado pela energia disponível para a evapotranspiração.

2.2. EVAPOTRANSPIRAÇÃO: MEDIDA E ESTIMATIVA

As medidas de evapotranspiração são extremamente difíceis e onerosas, exigindo instalações e equipamentos especiais e estruturas de alto custo, justificando-se o uso, apenas em condições experimentais. As medidas de evapotranspiração podem ser obtidas por equipamentos denominados lisímetros ou evapotranspirômetros. Hillel et al. (1969), citados por Aboukhaled et al. (1986) e Hill & Allen (1991), definiram os lisímetros como grandes recipientes impermeáveis, contendo volume de solo, onde se procura representar as condições naturais, nos quais a dinâmica no sistema solo – água – planta pode ser mais exata e convenientemente regulada e controlada que no perfil natural do solo.

Nos lisímetros de compensação com nível freático constante, em resposta a evapotranspiração, a água do lençol freático desloca-se para a zona radicular por capilaridade, sendo a diminuição do nível freático, compensada automaticamente por um dispositivo flutuante e a quantidade de água necessária para repor este nível, medida automaticamente. O custo de implantação deste tipo de equipamento é relativamente baixo sendo de fácil operação. Em alguns solos, o movimento ascendente do lençol freático é freqüentemente inadequado, principalmente em condições de alta evaporação, quando a cultura não ocupou toda a área disponível de solo tendo como resultado, valores de evapotranspiração menores que o real (Aboukhaled et al., 1986), sendo irrigação superficial utilizada para compensar este erro (Robelin, 1962, Aboukhaled et al., 1969 e Puech & Hernandez, 1973).

Slatyer & McIlroy (1961), citados por Cury Lunardi et al. (1997), fazendo considerações sobre a utilização de lisímetros na determinação da evapotranspiração potencial e da evapotranspiração de referência, comentam que estes equipamentos se

apresentam como os mais indicados, desde que seja considerada uma área tampão onde se utilizam as mesmas condições de manejo.

Os lisímetros de compensação com lençol freático a nível constante, têm sido utilizados na condução de ensaios para a determinação de consumo de água para diversas culturas. Neste caso, podem ser citados os trabalhos de: Encarnação (1980) e Souza & Silva (1985) para a cultura do feijão; Encarnação (1987) para a cultura da batata; Cury et al. (1987) e Cury e Villa Nova (1989) para a cultura do repolho e Azevedo et al. (1989) para a cultura do soja. Estes autores concluíram que a utilização deste tipo de lisímetros é viável, principalmente no que se refere à facilidade de operação e à precisão dos resultados.

Hill & Allen (1991), utilizando este tipo de lisímetro para a determinação da evapotranspiração de espécies do gênero *Salix*, de grama e alfafa para algumas regiões do Estados Unidos, concluíram que valores mensais de evapotranspiração podem ser adequadamente estimados quando a altura do lençol freático varia e está posicionado abaixo da superfície do solo.

Bastos (1994), Wrege (1995) e Klosowski et al.(1999), em trabalhos mais recentes, desenvolvidos na área experimental do Departamento de Recursos Naturais - Setor de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Câmpus de Botucatu, obtiveram bons resultados para a determinação do consumo de água e do coeficiente de cultura (Kc) para as culturas de alface, crisântemo e abóbora italiana, respectivamente.

Existem diversos métodos, a partir dos quais, pode-se estimar a evapotranspiração. A conveniência para utilizar um ou outro método, em determinada região, depende do conhecimento das limitações deste e dos detalhes de seu desenvolvimento.

De acordo com o princípio envolvido no seu desenvolvimento, os métodos de estimativas podem ser agrupados em cinco categorias, como segue: (1) empíricos; (2) aerodinâmico; (3) do balanço de energia; (4) combinados e (5) correlação dos turbilhões (Pereira et al., 1997).

Os métodos empíricos são resultantes de correlações entre a evapotranspiração medida em condições padronizadas e os elementos meteorológicos medidos em estações meteorológicas padrões.

O método de Penman considerado por muitos como padrão, foi o primeiro método combinado a ser equacionado. Este, entre outros, como o de Slatyer &

McIlroy (1961), combinam os efeitos do balanço de energia com aqueles do poder evaporante do ar. Zhang & Lemeur (1992), Allen (1993), Boulard & Jemaa (1993), recomendam a estimativa da evapotranspiração através do método de Penman-Monteith para as condições de ambiente protegido. O trabalho de Zhang & Lemeur (1992), que estudaram o efeito da resistência aerodinâmica na estimativa da evapotranspiração, incluindo também o método do balanço de energia, mostra que pode produzir um erro significativo, principalmente para a equação de Penman-Monteith.

Smith (1991) considera o método mais adequado para a estimativa da evapotranspiração de uma cultura na escala diária, entretanto, o método necessita de algumas parametrizações, representativas de uma cultura hipotética, sendo a evapotranspiração de referência, neste caso, a perda de água que ocorreria tendo a cultura 0,12m de altura, albedo de 0,23, resistência ao transporte de vapor d'água igual a 69s.m^{-1} , cobrindo totalmente o solo e sem restrições hídricas. Pereira et al. (1995) indicam que a resistência ao transporte de vapor foi praticamente constante para velocidade do vento abaixo de $1,1\text{m.s}^{-1}$, acima deste limite a relação aumenta rapidamente. Peres (1994), estimou ETo na escala decadária e mensal para localidades do Estado de São Paulo e encontrou melhores resultados para resistência variável em função da radiação líquida que dependente apenas do índice de área foliar.

2.3. CARACTERÍSTICAS E EXIGÊNCIAS DA CULTURA

A literatura apresenta uma vasta região como sendo a de origem do pimentão, associando-a, às vezes, à pimenta hortícola. Para alguns, o pimentão é originário da região tropical dos continentes americanos, compreendendo o México, como a América Central e América do Sul.

Para outros, a região de origem do pimentão não seria tão ampla, restringindo-se à região Central do México, como a principal e como centro de origem secundário, a Guatemala, não se desconsiderando a possibilidade do pimentão ter sido levado para a América do Sul na época pré-Colombiana (Tivelli, 1998b).

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) pertence a família Solanaceae, gênero Capsicum, uma espécie muito importante e difundida no plano econômico sendo

cultivada em regiões tropicais e temperadas. No gênero *Capsicum* a espécie *annuum* é a mais cultivada e a que apresenta maior variabilidade. A esta espécie pertencem o pimentões, algumas cultivares de pimenta e poucas cultivares ornamentais (Casali & Couto, 1984).

A planta do pimentão caracteriza-se ter intensa vegetação, tendo a raiz principal entre 0,50 e 1,25m e as raízes adventícias entre 0,50 e 1,00m de profundidade. Nas condições de clima tropical e subtropical, a planta é arbustiva podendo atingir de 0,50 a 0,80m de altura. Em geral, é cultivada como planta anual, podendo, porém, na ausência de viroses, permanecer como planta semi-perene e ultrapassar 1,80m, como acontece na Holanda em cultivos de ambiente protegido (Filgueira, 1982). As hastes são frágeis e se quebram com muita facilidade. As folhas são ovaladas, terminadas em ápice agudo, de cor verde brilhante e dispostas alternadamente na haste.

As flores são hermafroditas com autogamia, solitárias e aparecem nas axilas das folhas, sendo o pedicelo pendente ou inclinado, na fase da antese. A corola é branca, muito clara, sem manchas na parte basal dos lóbulos, que são eretos. O cálice não possui constrição na junção com o pedicelo, porém pode-se apresentar enrugado em populações de fruto largo principalmente. Os dentes do cálice resultam do prolongamento de nervuras do próprio cálice e são bastante pronunciados.

O fruto é uma baga carnosa, indeiscente, apresentando polpa firme e sementes cor de palha, tendo, em geral, formato cônico. Quando imaturos podem apresentar a coloração verde, creme ou marfim e roxa e, quando maduros, amarela ou vermelha. A constituição média em cem gramas de baga é 92,3g de água, 0,9g de proteína, 0,3g de lipídio, 1,0g de fibras, 0,7mg de ferro, 17,0mg de cálcio, 28,0mg de fósforo, 0,07mg de riboflavina, 0,5mg de niacina, 139,0mg de vitamina A, 151,0mg de vitamina C e 22Kcal de energia (Siviero & Gallerani, 1992).

O período compreendido entre o plantio até o início da colheita, tem em média 3 a 4 meses. Em cultivos protegidos, desde a fecundação da flor até o início da colheita, transcorrem 15 a 20 dias, para colheita do pimentão verde.

Dentre os fatores ambientais, o clima exerce grande influência no crescimento, desenvolvimento da cultura. A temperatura é um fator limitante, sendo sensíveis a baixa temperatura e intolerantes a geadas, requerendo temperaturas mais elevadas durante a fase de germinação, sendo a emergência mais rápida para temperaturas entre 25 a 30°C. Para

temperatura do solo entre 25 a 30°C a emergência ocorreu após 8 dias contra 12 dias para uma temperatura de 20°C. Para temperaturas acima de 35°C e abaixo de 10°C pouca ou nenhuma emergência foi observada. Contudo observa-se diferenças em relação à temperatura para germinação entre espécies e entre cultivares. No estágio de mudas, obtém-se desenvolvimento satisfatório com temperaturas entre 26 a 30°C. Para o crescimento ótimo, a cultura exige temperatura do ar diurna de 27°C e temperatura do solo de 17°C. Sob temperaturas mais baixas que aquelas, há estiolamento das folhas maduras, murchamento das partes jovens e crescimento lento (Pádua et al., 1984).

O período compreendido entre a emergência e floração aumenta quando há diminuição da temperatura (Rylsky, 1972). Sob temperaturas médias de 15 a 21°C, as flores apresentam pedicelo maiores e esta característica está associada ao maior vingamento ou pegamento dos frutos. As temperaturas noturnas entre 18 e 20°C, durante a formação da flor, favorecem à produção de frutos bem formados e alongados, sendo a qualidade dos frutos influenciada pela temperatura elevada, apresentando maior conteúdo de açúcar e vitamina C bem como maior intensidade de cor do fruto (Pádua et al., 1984).

O pimentão é classificado como uma planta neutra ao fotoperíodo, todavia, os dias curtos favorecem o florescimento e tornam mais precoces os estádios de florescimento, frutificação e amadurecimento. O crescimento das plantas é pouco influenciado pelos tratamentos que visam aumentar a intensidade de luz (Schoch, 1972).

As condições de alta umidade relativa promovem maior crescimento da planta (Baer & Smeets, 1978) e aumento dos internódios. Em ambiente protegido, o pimentão requer umidade relativa do ar entre 50 e 70%, valores acima deste podem ocasionar o aparecimento de doenças (Sganzerla, 1997). A taxa de transpiração por unidade de área foliar e por planta aumenta com a diminuição da umidade relativa e elevação da umidade do solo (Suto & Ando, 1977 e Sganzerla, 1997).

As hortaliças constituem um grupo de culturas muito exigentes em água, lembrando que esta constitui mais de 80% da massa das plantas, na maioria das espécies (Filgueira, 1981).

A quantidade de água a ser colocada à disposição da cultura do pimentão é de grande importância, em razão dos efeitos que poderá exercer sobre a cultura, bem como sobre os custos do sistema. As necessidades variam de local para local, dependendo

dos fatores climáticos e edáficos (Caixeta, 1984). De acordo com resultados obtidos em diferentes locais, o consumo de água pela cultura de pimentão, de modo geral, variou entre 2,5 e 5,0 mm.dia⁻¹ (Boswell & Thorne, 1975) citados por (Caixeta, 1984). A produção de 1 kg de fruto consome entre 58 e 298 litros de água. (Caixeta, 1984) .

Para o estado de Minas Gerais, Caixeta (1984), recomendou a aplicação de uma lâmina de 20 a 25 mm com turno de rega de 5 dias. No período inicial da cultura, até o início do florescimento, as irrigações poderão ser mais espaçadas, visando estimular o desenvolvimento radicular, de modo a tornar a cultura mais eficiente na extração de água e nutrientes do solo, na fase de florescimento e frutificação.

O pimentão pode apresentar necessidades hídricas totais da ordem de 600 a 900mm e até 1250mm para períodos de crescimento longos com várias colheitas. O coeficiente de cultura é de 0,40 logo após o transplante, 0,95 a 1,10 durante o período de cobertura plena do solo e para pimentão verde, 0,80 a 0,90 no momento da colheita. As precipitações devem ser bem distribuídas durante o período de crescimento. Chuvas intensas durante o período de floração provocam a queda de flores e o mau estabelecimento do frutos e, durante o período de maturação, provocam a podridão nos frutos. Os rendimentos variam bastante com o clima e com a duração do período de crescimento, isto é, com o número de colheitas. Em condições irrigadas, os rendimentos de frutos comercializáveis, são da ordem de 10 a 15t.ha⁻¹ de fruto fresco e em condições favoráveis de 20 a 25t.ha⁻¹, entretanto a porcentagem de rendimento comercial pode variar. O número de colheitas varia desde uma quando mecanizada, até seis para colheitas manuais, dependendo da duração do período de colheita. A eficiência de utilização da água para o rendimento obtido (Ey) para pimentão fresco, que contém em torno de 90% de umidade, varia entre 1,5 a 3,0 kg.m⁻³ (Doorenbos & Kassam, 2000).

Martinez-Raya & Castilla (1989) e Castilla et al. (1990), estudando a evapotranspiração, respectivamente de pepino, melão, melancia, feijão e pimentão, cultivados em estufa plástica sem aquecimento, concluíram que a evaporação do tanque Classe A medida no interior da estufa e o coeficiente de cultivo da FAO (Doorenbos & Kassam, 2000) estimaram razoavelmente a evapotranspiração da cultura até os 100 dias após o transplante, porém usando um coeficiente de tanque próximo de 1,0 e para períodos onde a temperatura foi superior a 10°C.

A produtividade e a qualidade das culturas que se desenvolvem em ambientes protegidos é ainda insatisfatória. Dentre os vários problemas deste tipo de cultivo, a irrigação é uma área que requer bastante atenção e pesquisas. A irrigação tem sido realizada com base na experiência dos produtores em relação ao sistema solo – planta – água. As aplicações em excesso ou menores que a quantidade exigida pela cultura e os problemas de drenagem, são alguns dos maiores problemas que ocorrem na irrigação em ambientes protegidos. Os métodos disponíveis para estimar as necessidades hídricas das culturas requerem grande número de instrumentos ou são complicados e não permitem uso rotineiro pelos produtores (Kirda et al., 1994).

O objetivo das práticas de irrigação é fornecer água suficiente para o crescimento da cultura e repor a retirada de água do solo, evitando estresse hídrico durante o crescimento das plantas. Alcançar este objetivo, requer o conhecimento de quando irrigar e por quanto tempo ou qual a quantidade de água a ser aplicada. A determinação da necessidade hídrica das plantas é de suma importância, fornecendo informações sobre o manejo adequado da irrigação em climas áridos e semi-áridos, ou nos climas úmidos ou subúmidos onde esta suplementa a precipitação pluvial (Wright, 1985).

O método de irrigação por gotejamento se adapta bem à cultura do pimentão, exige pouca mão-de-obra, proporciona máxima economia de água e maior eficiência nos tratos culturais, contribuindo para maior rentabilidade da cultura (Teodoro et al, 1993).

Estudando o efeito da aplicação de três lâminas diárias e três turnos de rega em pimentão irrigado por gotejamento, Caixeta (1978), verificou que a produção e o número total de frutos normais foi maior quando aumentou a quantidade de água aplicada, ocorrendo o inverso para o turno de rega.

A irrigação por gotejamento com alta frequência e de baixa frequência resultou em produtividade igual quando o solo cultivado com o pimentão foi coberto com polietileno preto. A porcentagem de frutos comerciais foi substancialmente reduzida na ausência de irrigação ou cobertura de solo, por causa da alta incidência de injúrias causadas pela radiação solar e podridão no final do florescimento (VanDerwerken & Wilcox-Lee, 1988).

Sirjacobs & Dada Ould (1983), estudaram o pimentão cultivado em casa de vegetação coberta com filme plástico no Marrocos e observaram uma produção comerciável máxima de $6,5\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ quando a lâmina d'água de irrigação era aplicada a um valor correspondente a 1,25 vezes a evaporação do tanque Classe A. Em outro estudo observou-se melhor produtividade quando a tensão de água no solo variou entre $-15,0$ e $-35,0$ kPa.

Teodoro et al. (1993), trabalhando na região de Piracicaba em Latossolo Roxo, série Luiz de Queiroz, utilizando irrigações quando consumidos 10, 30, 50 e 70% da água disponível no solo, verificou que o tratamento com irrigação quando haviam sido consumidos 30% da água disponível, apresentou uma tendência de elevar a produção, a qualidade dos frutos e o desenvolvimento vegetativo do pimentão.

Pereira (1995) estudando o pimentão amarelo para as condições de Botucatu – SP, encontrou um potencial mátrico médio, o qual apresenta um efeito significativo sobre o diâmetro do caule, número total de folhas na planta, número total de folhas e flores, número de frutos maduros por planta na primeira colheita, produção total de frutos na primeira colheita, massa, comprimento, diâmetro e espessura da polpa dos frutos. Os potenciais mátricos de -11kPa e de -32kPa foram os que apresentaram melhores resultados para o crescimento e produtividade da cultura.

Segundo Ferreyra et al. (1986), o excesso de água no solo, provocando um espaço livre de água inferior a 16%, diminuiu o número de raízes, reduziu o rendimento e a produção de matéria seca do pimentão.

Para as condições de Tifton, Georgia nos Estados Unidos, a resposta em produção foi significativa somente quando o estresse hídrico foi suficientemente severo para afetar o desenvolvimento normal da planta. No outono, quando a precipitação pluvial apresentou índice baixo, as irrigações mais freqüentes, quando o teor de umidade no solo estava baixo, provocaram aumento significativo de frutos comercializáveis. A interação entre a irrigação e aplicação de adubação nitrogenada foi significativa, indicando que a produtividade foi influenciada pela irrigação freqüente somente quando a adubação nitrogenada foi aplicada para manter um alto teor de $\text{NO}_3 - \text{N}$ no solo (Batal & Smittle, 1981).

Cochran (1936), mostrou que a umidade do solo e aplicação de N foram fatores essenciais para o desenvolvimento reprodutivo do pimentão. Roadhs (1970), concluiu que a redistribuição de NO_3 em uma coluna de solo de 30 cm atingiu níveis normais

quando 5 a 10 cm de água foram aplicados, ocorrendo lixiviação completa quando 20 cm de água foram aplicados. Terry & McCants (1973), mostraram que 25 mm de água lixiviaram aproximadamente 85% do NO_3 em um perfil de solo de 20cm de profundidade, a partir do ponto de aplicação.

As coberturas plásticas criam condições bastante diferentes daquelas encontradas em condições de campo e por serem impermeáveis aos líquidos impedem a entrada de chuva. Desta forma, é importante que se conheça detalhadamente a melhor forma de manejar a irrigação no interior deste abrigo, sendo, na maioria das vezes, a única forma de suprimento de água ao desenvolvimento das culturas, afetando, ainda, alguns elementos meteorológicos importantes ao desenvolvimento das plantas como temperatura e umidade relativa do ar. A evapotranspiração no interior de ambiente protegido é alterada por que a cobertura plástica apresenta opacidade parcial à radiação solar global, não permitindo a passagem de ventos, retendo quase todo o vapor d'água, fazendo com que, no seu interior, as temperaturas alcançadas sejam mais altas. A modificação destes elementos provoca alterações no balanço de radiação e no balanço de energia em relação ao meio externo (Farias, 1992).

No interior de ambiente protegido a evapotranspiração é menor do que a verificada a céu aberto, ficando, em geral, em torno de 70 a 80% daquela verificada externamente, o que se deve basicamente à redução da radiação solar pela cobertura plástica e à redução da ação dos ventos, os quais constituem os principais fatores de demanda evaporativa da atmosfera (Montero, et al., 1985; Eliades & Orphanos, 1986 e Farias, 1992). O efeito da cobertura sobre a radiação solar, observada neste tipo de abrigo, está relacionada à vida útil e espessura do material plástico, inclinação da cobertura, orientação e forma do abrigo. O efeito sobre a ação dos ventos está relacionada ao período em que fica aberta, número e tamanho das aberturas, orientação e forma do abrigo (Farias, 1992). Aproximadamente 70% das perdas de radiação solar ao nível do dossel dentro de estufas pode ser atribuída aos componentes estruturais (Kozai, 1977).

A transpiração de plantas cultivadas em ambiente protegido tem sido motivo de vários estudos, especialmente em relação ao balanço de energia (Bakker, 1986). A energia requerida para a evapotranspiração, cerca de 70% da radiação solar incidente (Hanan, 1990), é uma parte substancial do total de energia requerido para aquecimento do ambiente (Stanghellini, 1981; Kozai et al., 1982; Arbel et al., 1990), principalmente se a radiação

interceptada pelo dossel da cultura é suficientemente alta e a instalação encontra-se em local de clima frio.

As plantas cultivadas em ambiente protegido não são diferentes daquelas cultivadas a céu aberto, pois a sua transpiração é afetada pelo microclima, da mesma forma que as condições ambiente afetam a transpiração nas condições de campo. A produção em estufas tem uma alta eficiência de uso da água, o que explica a rápida expansão deste tipo de cultivo no mundo e principalmente na região Mediterrânea. Sem dúvida, a produção comercial da horticultura protegida é assegurada, entre outros, pelo suprimento não limitado de água. Em ambiente com ventilação pobre, o fechamento dos estômatos pode ser menor; uma defesa contra a perda de água, que em condições de campo, torna-se mais importante (Stanghellini, 1993).

Pesquisas recentes têm mostrado que alta umidade relativa do ar e baixos níveis de iluminação conduzem a baixas produtividades na cultura de tomate em estufas (Bakker, 1990; Cokshull, 1990). A redução na produtividade tem sido vinculada com baixa transpiração que cria deficiências de cálcio, limitando o desenvolvimento da folha, especialmente das jovens. Estes efeitos adversos devem ser observados na definição de uma estratégia apropriada para o controle do clima em estufa (Jolliet & Bailey, 1992).

Os trabalhos de Morris et al., (1957), Lake et al., (1966), De Villele (1972), van der Post, et al., (1974), de Graaf & van den Ende (1981), Okuya & Okuya (1988), Boulard & Jemaa (1993), Kirda et al., (1994) e Yang (1995), mostraram que a radiação solar, déficit de pressão de vapor e a área foliar são as principais variáveis que afetam a transpiração. A influência do ar em movimento no interior destas instalações não tem sido medida e este pode ser uma forma eficiente para aumentar a transpiração, devido ao aumento da transferência de calor e vapor d'água entre a superfície da folha e o ar (Jolliet & Bailey, 1992).

Arruda (1987), baseado nos estudos realizados por de Wit (1958) e Arkley (1963), afirma que para obter máximas produções de biomassa, deve-se maximizar a transpiração da planta. Desta forma, o manejo de irrigação deve evitar a ocorrência de déficit hídrico que venha a impor restrição à taxa de transpiração da planta, especialmente no período crítico, para que não ocorra decréscimo de produção.

Khan et al. (1993), trabalhando com ervilha em Bangladesh, encontraram um índice de uso máximo de água de $5,13\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{mm}$ no tratamento irrigado com

21 dias de intervalo. O total de consumo de água foi de 180mm para 98 dias após a emergência.

Lopez Mosquera & Martinez Cortizas (1993), trabalhando na região da Galícia, noroeste da Espanha, com flores cultivadas em ambiente protegido, observaram que as práticas comuns de irrigação não atendem às necessidades potenciais da planta. Observaram déficit hídrico nas estações de inverno – primavera, primavera e primavera – verão, com diferente intensidade, entretanto podendo ser consideradas altas (maiores que 100mm por ano em muitos casos). O balanço hídrico é modificado em ambiente protegido devido à salinização observada em alguns casos. A evapotranspiração obtida por estimativas ou medidas diretas (tanque de evaporação) é considerada como água pura, mas em muitos casos a irrigação é aplicada com fertilizantes. A quantidade de sais modifica a temperatura de vaporização e, conseqüentemente, a evapotranspiração atual.

Toda a água de irrigação contém certa quantidade de sais dissolvidos. A evapotranspiração remove água pura do solo, portanto, a concentração de sais na solução do solo remanescente aumenta. A presença de sais na solução diminui o potencial osmótico (maior tensão de água no solo) se comparado a água pura. O baixo potencial osmótico diminui o gradiente de potencial de água no solo para as raízes da planta. A alta concentração de sais pode resultar em condições desfavoráveis para o crescimento da cultura. Na prática, o controle da concentração de sais na solução do solo é a lixiviação, principalmente em condições de ambiente protegido onde a cobertura plástica é um material impermeável à água da chuva. A quantidade de água utilizada na lixiviação de sais deve ser incluída na elaboração de projetos de irrigação pois é necessária e benéfica para o solo (Jensen et al., 1990).

Medeiros (1998), para as condições de Piracicaba, obteve redução de rendimento total e comercial da ordem de 8,2 e 10,2%, respectivamente, em pimentão híbrido “Luiz” cultivado em ambiente protegido. Estes resultados foram obtidos para água de condutividade elétrica de $1,29 \text{ dS.m}^{-1}$ por unidade de salinidade da água de irrigação que excedeu este valor. Da mesma forma, o peso de biomassa da parte aérea e a evapotranspiração sofreram uma redução de cerca de 6%, enquanto a altura das plantas não foi afetada.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Recursos Naturais - Setor Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, situado na latitude de 22° 51' S, longitude de 48° 26' W e altitude 786 m na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo.

3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

O solo, na área experimental, foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico, A moderado, textura média (Embrapa, 1999). No local, foi realizada operação de corte e aterro de forma a sistematizar o terreno para implantação do ambiente protegido. A operação de corte foi realizada até a profundidade de 1,5m aproximadamente, o material produto da operação de corte foi utilizado para aterrar a outra porção do terreno.

3.2.2. ANÁLISE QUÍMICA E FÍSICA

Para análise química do solo, foram coletadas amostras compostas de 0 a 0,15m e de 0,15 a 0,30m e também nas profundidades de 0 a 0,20, 0,20 a 0,40 e 0,40 a 0,60m para análise física (Embrapa, 1997).

Quadro 1. Análise química do solo (Departamento de Recursos Naturais - Setor Ciência do Solo).

Amostra	PH CaCl ₂	M.O. g.dm ⁻³	P _{resina} mg.dm ⁻³	H + Al	K	Ca	Mg Mmol.dm ⁻³	SB	CTC	V%
1	5,8	45	539	15	10,5	98	54	163	178	92
2	6,2	40	329	16	12,0	69	39	120	136	89

Quadro 2. Características físicas do solo (Departamento de Recursos Naturais - Setor Ciências Ambientais).

Amostras	Profundidade (m)	Granulometria (%)		
		Areia	Argila	Silte
1	0,00 – 0,20	60,07	29,35	10,58
2	0,20 – 0,40	61,12	31,35	7,53
3	0,40 – 0,60	61,36	28,45	10,19

Os valores de densidade do solo e do teor de umidade inicial expresso em volume foram determinados através do método do anel volumétrico (Embrapa, 1997), tendo sido retiradas amostras de solo dos lisímetros e dos canteiros de bordadura. As amostras foram tomadas a cada 0,10m até a profundidade de 0,30m. No Quadro 3 encontram-se os valores de densidade do solo e do teor de umidade inicial nos pontos de amostragem.

Quadro 3. Valores de densidade do solo e de teor de umidade inicial expresso em volume.

Local	Profundidade (m)	Densidade do Solo (x10 ³ Kg.m ⁻³)	Teor de umidade inicial expresso em volume (m ³ .m ⁻³)
Lisímetros	0,00 – 0,10	1,27	0,27
	0,10 – 0,20	1,54	0,31
	0,20 – 0,30	1,56	0,34
Bordadura	0,00 – 0,10	1,40	0,16
	0,10 – 0,20	1,68	0,32
	0,20 – 0,30	1,83	0,32

3.2.3. CURVA CARACTERÍSTICA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO

As amostras de solo para elaboração da curva de retenção de água no solo foram coletadas de 0 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,30m de profundidade, sendo a análise realizada no laboratório de Relações Solo-Água-Planta do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/Botucatu, para os potenciais correspondentes a 10, 30, 50, 100, 500, e 1500kPa conforme a Figura 1.

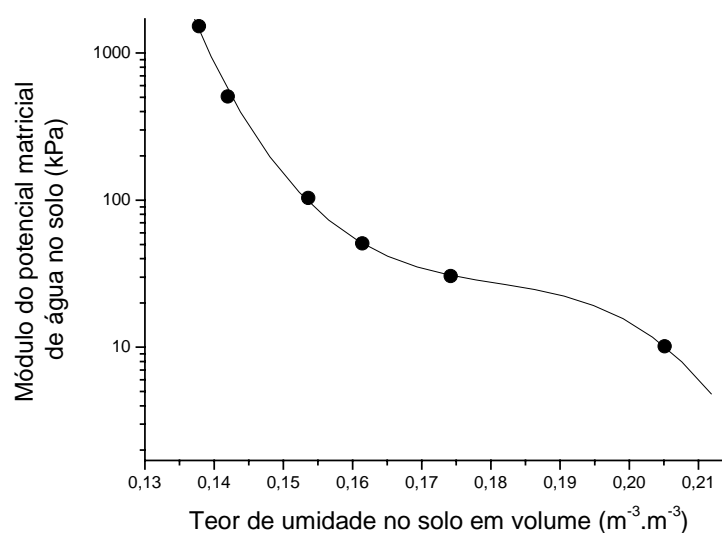


Figura 1. Curva característica de retenção de água no solo na camada de 0 a 0,30m, obtida em laboratório.

3.3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO

Segundo a classificação proposta por KÖEPPEN, o clima do município de Botucatu é do tipo Cwa, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C. O total médio anual de precipitação pluvial é de 1533 mm e a temperatura média anual próxima de 20,5°C (Cunha, et al.,1999) .

3.4. O PIMENTÃO HÍBRIDO ELISA

O híbrido Elisa apresenta coloração verde quando imaturo e vermelha quando maduro. Os frutos são, em geral, de formato retangular, apresentando as seguintes dimensões: comprimento entre 13 e 15cm, diâmetro entre 8 e 10cm, com massa fresca média de 240 a 250g. Apresenta resistência ao Vírus do Mosaico do Fumo, Vírus Y da Batata, Vírus do Tabaco e tolerância a Mancha Negra.

A escolha do híbrido Elisa justifica-se pelo fato do mesmo apresentar elevado valor comercial, permitindo uma relação custo benefício, favorável para o seu cultivo em ambiente protegido.

3.5. CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE PROTEGIDO

O ambiente protegido construído, foi do modelo PLANTPROTEC 700, de 40,0 m de comprimento e 7,0 m de largura totalizando 280 m² com altura do pé direito de 2,2 m e altura máxima de 4,0 m. As laterais foram fixadas com “estirantes” de arame e fixados ao solo por meio de um gancho e esticadores presos em base de concreto, fazendo ângulo de 45° com a lateral. Esses reforços foram necessários, devido ao amplo horizonte livre que circunda o campo experimental e, por serem comuns, ventos fortes na região.

O polietileno utilizado na cobertura foi o de espessura 120 µm e as laterais fechadas com sombrite com redução de 50% da radiação solar. A estrutura do ambiente protegido foi orientada no sentido NNW - SSE geográfico de acordo com a disponibilidade de terreno. A Figura 2 mostra a vista interna do ambiente protegido e do lisímetro.

3.6. DISPOSIÇÃO DOS CANTEIROS

Os canteiros de plantio apresentavam a disposição mostrada na Figura 3 tendo 38,0 m de comprimento e largura de 1,0 m com espaçamento de 1,0 m entre canteiros. No sentido transversal, o espaçamento de 1,0 m entre canteiros.



Figura 2. Vista interna do ambiente protegido e lisímetro (Foto: Cunha, A.R.).

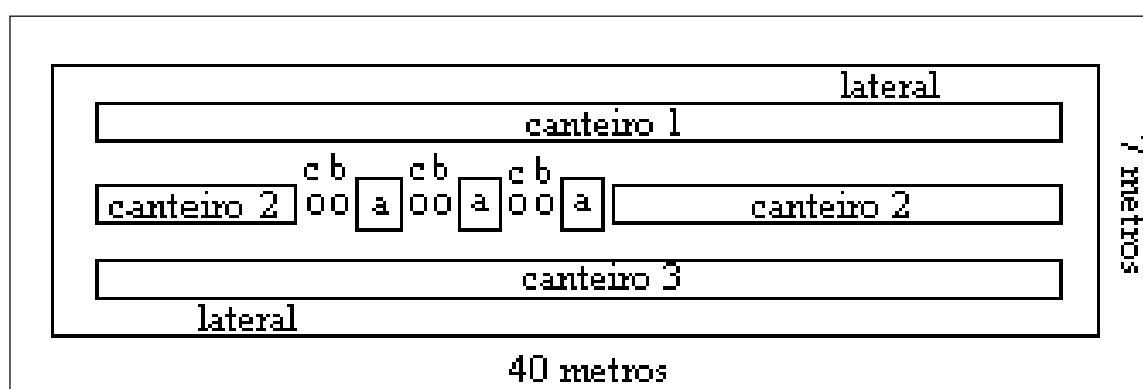


Figura 3. Representação esquemática da área experimental, mostrando a disposição dos canteiros e lisímetros: (a) caixa de cimento amianto, (b) tanque intermediário e (c) tanque medidor.

3.7. MONITORAMENTO DE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

Para as estimativas de evapotranspiração diária, foram utilizados valores de elementos meteorológicos, coletados em ambiente protegido, através de uma estação meteorológica automática, com coletor estacionário de dados modelo 21XL, fabricado pela Campbell Sci. Inc. com terminal para 16 sensores analógicos e 8 diferenciais e armazenados em módulo externo de memória RAM portátil com 192KB modelo SMI 92. Ao coletor de dados estacionário foram conectados:

- 1- Sensor de temperatura e umidade relativa, modelo HMP35-U (-35°C a +50°C) e (0 a 100%);
- 2- Sensor de velocidade (0 a 60 m.s⁻¹) e direção do vento (0 a 360°), velocidade de partida 0,2m.s⁻¹, modelo 03001-U, tipo “Wind Monitor”;
- 3- Sensor de radiação líquida REB, modelo Q7.1;
- 4- Sensor de temperatura do solo (-35°C a +50°C), modelo 107B-L50;
- 5- Sensor de umidade do solo, modelo 257;
- 6- Piranômetros para radiação solar global e radiação difusa;
- 7- Termopares de cobre – constantan em três níveis diferentes acima da cultura.

Foram utilizados, ainda, dados meteorológicos, coletados em estação meteorológica convencional do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP / Botucatu obtidos através de:

- 1- Termômetros de máxima e mínima, marca R. Fuess com resolução de 0,2°C;
- 2- Higrógrafo marca Salmoiraghi, modelo 1613, com giro semanal e resolução de 5%;
- 3- Termógrafo, marca Salmoiraghi, modelo 1067;
- 4- Anemômetro de fabricação Wilh Lambrecht KG Gottingen;
- 5- Barômetro Salmoiraghi, modelo 437 com escala dupla (mmHg);
- 6- Tanque de evaporação Classe A com poço tranquilizador e micrômetro de gancho;

Os valores médios diários dos elementos meteorológicos observados no ambiente protegido e em estação meteorológica foram comparados e verificada a influência daquele ambiente sobre o comportamento destes elementos.

3.8. LISÍMETROS DE COMPENSAÇÃO COM NÍVEL DE LENÇOL FREÁTICO

O consumo de água pela cultura de pimentão foi medido através de três lisímetros de compensação com nível de lençol freático. Cada lisímetro foi composto de caixa de cimento amianto (A), tanque intermediário (B) e tanque medidor (C) como mostra a Figura 4.

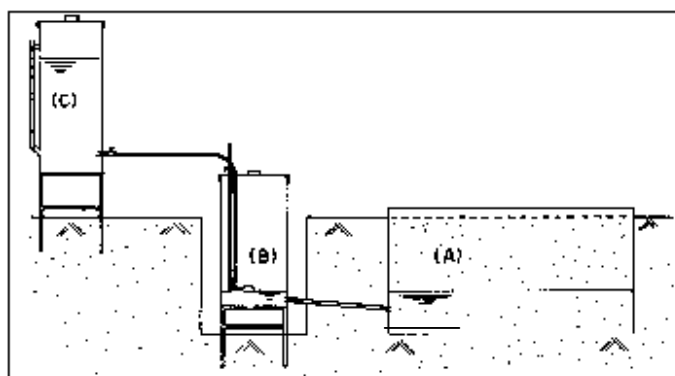


Figura 4. Representação esquemática de um lisímetro.

3.8.1. CAIXA DE CIMENTO AMIANTO

As caixas de cimento amianto apresentavam $1,72\text{m}^2$ de área, tendo na parte central inferior, um tubo de PVC de 1 polegada de diâmetro que a conectava ao tanque intermediário.

Nestas caixas, procurou-se estabelecer uma condição tal que representasse ao máximo o perfil do solo da região. Do fundo para a superfície da caixa foram dispostas camadas de 5 centímetros de pedra, seguidas de areia grossa, sendo o restante completado com solo retirado do local onde foi instalado o lisímetro, obedecendo à ordem dos horizontes tal como na condição natural.

3.8.2. TANQUE INTERMEDIÁRIO

Construído em chapa de ferro galvanizado número 22, apresentava 30 centímetros de diâmetro e 80 centímetros de altura. Na parte superior, uma tampa, com dois orifícios, através dos quais passavam uma mangueira plástica transparente de ½ polegada através da qual era conduzida a água do tanque medidor ao tanque intermediário e uma haste de cobre, possuindo uma bóia na extremidade inferior. A haste móvel permitia a modificação de altura do lençol freático nos lisímetros, conforme mostra a Figura 5.

3.8.3. TANQUE MEDIDOR

Construído em chapa de ferro galvanizado número 22, com 30 centímetros de diâmetro e 80 centímetros de altura, com tampa removível, saída para o tanque intermediário de ½ polegada de diâmetro e tomada para bureta graduada em milímetros, através da qual foi possível realizar leituras de variação da altura de água e determinar a evapotranspiração, conforme Figura 6.

3.8.4. DETERMINAÇÃO DOS FATORES DE CORREÇÃO E MEDIDA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

As plantas cultivadas em lisímetro retiravam do solo por capilaridade a quantidade de água para atender a demanda atmosférica. Esta retirada provocava um abaixamento do nível do lençol freático, compensado pela entrada de água do tanque intermediário com simultânea abertura da válvula da bóia que promovia a saída de água do tanque medidor. Ao tanque medidor foi conectada uma bureta que permitia medidas da altura de água consumida, descontada da leitura do dia anterior e convertida em milímetros de evapotranspiração através de um fator de conversão (F), obtido da relação entre o volume de água do tanque medidor (V_c), da altura da bureta (h_{bureta}) e da área do lisímetro (S_A).

$$F = \frac{V_c \times S_A}{h_{bureta}} \dots\dots\dots(01)$$

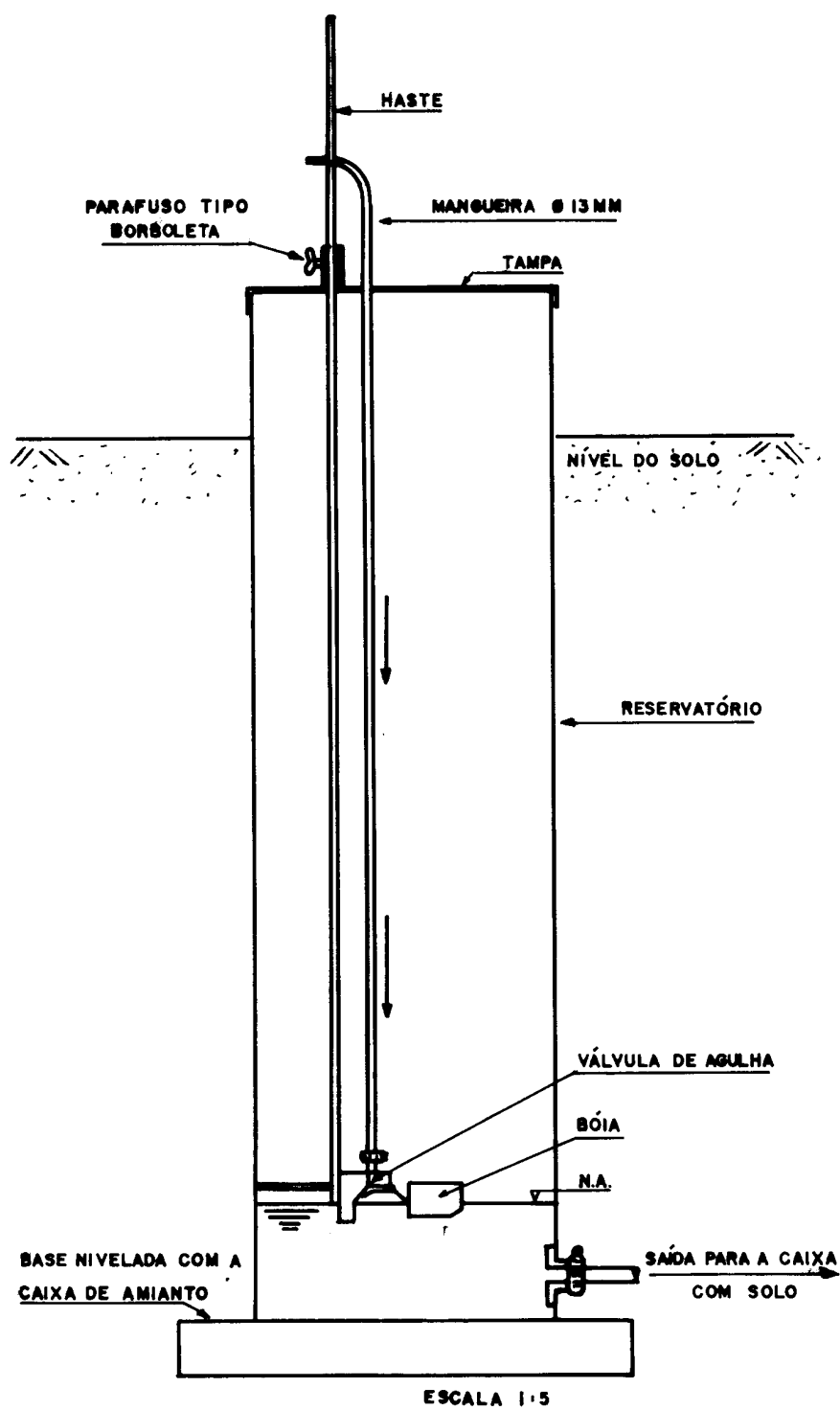


Figura 5. Representação esquemática do tanque intermediário.

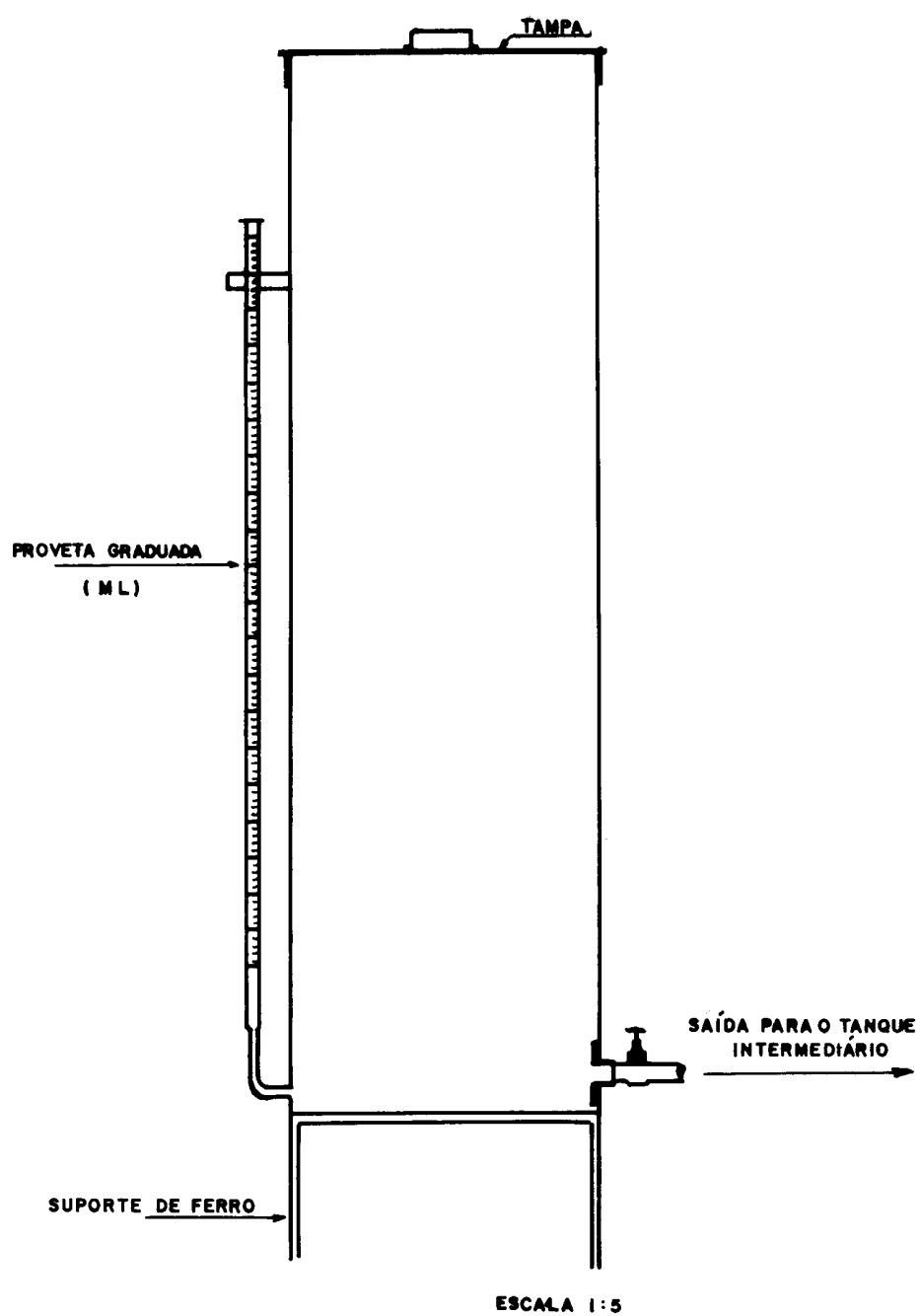


Figura 6. Representação esquemática do tanque medidor.

3.8.5. MANEJO DOS LISÍMETROS

As medidas de demanda de água da cultura de pimentão em lisímetros de nível de lençol freático foram iniciadas em 21 de abril de 1999 e prolongaram-se até 04 de novembro de 1999. O lençol freático foi mantido a 28 cm da superfície do solo inicialmente e afastado desta em 5 cm em 02 de julho, 09 de agosto, 06 de outubro atingindo 43 cm abaixo da superfície do solo.

Para evitar perdas de leitura, o procedimento para modificação de altura do lençol freático nos lisímetros foi feito alternadamente com intervalo de dois dias, de acordo com o crescimento do sistema radicular, acompanhado através das análises de crescimento das plantas da bordadura.

As leituras de consumo de água foram realizadas diariamente às 8h sendo a evapotranspiração dada pela diferença entre a leitura do dia e a leitura do dia anterior, sendo o consumo hídrico diário da cultura obtido pela média aritmética simples da leitura obtida nos lisímetros.

3.9. MANEJO E CONDUÇÃO DA CULTURA

O preparo do solo foi feito através de enxada rotativa e revolvimento com enxada, no período de 10 dias antes do transplante. De acordo com resultados da análise química do solo realizado no Departamento de Recursos Naturais - Setor de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas, foram recomendadas as seguintes práticas de adubação.

Para adubação de plantio: Aplicou-se e incorporou-se ao solo na profundidade de 25 a 30 centímetros, 10 dias antes do transplante, $3,0 \text{ kg.m}^{-2}$ de esterco bovino decomposto, $100 \text{ g.planta}^{-1}$ da fórmula 04-14-05, $150 \text{ g.planta}^{-1}$ de termofosfato Yoorin BZ e $2,0 \text{ kg.m}^{-2}$ de composto orgânico humificado.

Para adubação de cobertura: aplicou-se 8 g.planta^{-1} de nitrocálcio a partir de 20 dias após o transplante, repetindo mais 4 vezes com intervalo de 20 dias entre cada aplicação.

A adubação de cobertura, de acordo com recomendação feita a partir do resultado de análise química do solo foi realizada em 10 e 24 de maio, 08 e 23 de junho, 09 e 24 de julho, 09 de agosto, 20 de setembro e 08 de outubro de 1999. Foram feitas, ainda, aplicações via foliar de sulfato de zinco na concentração de 250g por 100 litros de água em 07 e 19 de junho de 1999.

O preparo das mudas foi efetuado nas dependências da Fazenda Experimental São Manuel da FCA, UNESP - Botucatu, sendo utilizadas bandejas de polietileno expandido de 128 células, semeando-se 2 sementes por célula, utilizando-se de solo de mata como substrato. A semeadura em bandejas foi realizada em 18 de março de 1999, sendo utilizadas 9 bandejas para obtenção de um bom número de plantas e para ter uma reserva de mudas para um eventual retransplante.

As mudas foram colocadas sob ambiente protegido e irrigadas diariamente. Até a data do transplante receberam a aplicação de Metalaxyl+Mancozeb (3g.L^{-1} de H_2O), de Deltametrin ($0,3\text{L.L}^{-1}$ de H_2O) e de uréia (1g.L^{-1} de H_2O), para o controle de podridão de raiz, de pragas aéreas e para suprir deficiência de nitrogênio, respectivamente.

O transplante ocorreu em 21 de abril de 1999, 34 dias após a semeadura em bandejas. Foi transplantada uma muda por cova, selecionando-se as mais vigorosas. O espaçamento foi de 0,30 m na linha por 1,00 m de canteiro, formando 3 canteiros de 1,00 m de largura por 36,00 m de comprimento, com apenas uma linha de cultura por canteiro, representando um total de 120 plantas por canteiro, totalizando 360 plantas na área do ambiente protegido.

Após efetuado o transplante, aplicou-se Metalaxyl+Mancozeb na dose de 3g.L^{-1} de H_2O , para evitar a podridão de raiz (*Phytophthora capsici*).

Neste estágio, as irrigações foram diárias e o teor de umidade no solo mantido na capacidade de campo, de modo a propiciar um bom desenvolvimento das mudas. As mudas que por ventura tiveram algum problema, ou por estarem mal desenvolvidas ou mortas, foram substituídas pelas mudas reservas.

Quinze dias após o transplante das mudas, foi detectado o enrolamento e necrose da borda das folhas, indicando toxidez devido ao excesso de sais no solo, como consta na análise química. Foi então necessário a aplicação de uma lâmina d'água em excesso

para lixiviar os sais, durante o período de quinze dias e de forma intermitente, conseguindo-se, assim, evitar a morte de 70% das plantas, sendo o restante replantado com as mudas reserva.

Foram eliminadas as primeiras flores que surgiram para garantir um maior tamanho para os frutos e também as hastes laterais para promover maior tamanho dos frutos e precocidade na colheita.

As plantas foram conduzidas com 3 hastes, a partir da primeira bifurcação, e a partir daí, foram feitas as desbrotas semanalmente, para haver somente o desenvolvimento destes três ramos.

A capina manual foi o método utilizado para controle de plantas daninhas. Durante o ciclo da cultura foram realizadas cinco capinas nas datas de 15 e 25 de maio, 19 de julho, 04 e 25 de agosto.

Foi empregado o controle químico, de acordo com recomendações técnicas, quando constatada a incidência de pragas ou doenças. Para controle de insetos foram utilizados Deltametrin na dose de 0,3 mL para cada litro de água, Methamidophos na dose de 1mL para cada litro de água, nas datas: 22 de abril, 10 de maio, 15 de maio, 29 de maio, 28 de junho, 08 de julho, 17 de julho, 03 de agosto, 09 de agosto, 18 de agosto, 07 de setembro e 29 de setembro.

Para o controle de doenças foram utilizados Metalaxyl + Mancozeb na dose de 3,0g por litro de água e Fenarimol na dose de 2 mL para cada 10 litros de água nas datas de: 03 de agosto, 31 de agosto, 07 de setembro, 23 de setembro e 29 de setembro.

O sistema de tutoramento foi feito com bambus de 2 metros de altura, dispostos em “V” e fixados por arame esticado, presos a mourões de 2,5 metros de altura, dispostos nas extremidades dos canteiros. A distância entre os bambus foi de 1,00m na linha e 0,20m entre fiadas de fitilho. O sistema em “V” permitiu que uma planta fosse sustentada do lado esquerdo enquanto a planta seguinte seria sustentada do lado direito como pode ser verificado na Figura 7.

As plantas foram tutoradas individualmente com fitilhos esticados nos bambus ao longo do canteiro, utilizando-se de um cintador Max modelo HT-B, de maneira a evitar o tombamento das mesmas e a quebra das hastes, devido ao peso dos frutos, a medida que as plantas cresciam.



Figura 7. Sistema de tutoramento empregado para condução da cultura de pimentão (Foto: Cunha, A.R., em 01/10/99).

Para a colheita dos frutos maduros de cada planta, utilizou-se tesouras sendo a primeira colheita em 07 de setembro de 1999 e as seguintes a cada semana até o final do ciclo, ou seja em 03 de novembro de 1999.

Para isto, marcou-se 6 plantas da área experimental e semanalmente quando os frutos atingiam em torno de 60% da coloração vermelha, era efetuada a colheita, num total de 9 semanas. Após a colheita dos frutos, estes foram encaminhados ao laboratório para as análises de crescimento.

3.10. MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação utilizado foi o de tubos gotejadores, trabalhando a uma pressão de 49,03kPa e vazão de 1,0 L.h⁻¹ por gotejador. O espaçamento entre os gotejadores foi de 0,30m (o mesmo espaçamento entre as plantas na linha), distribuídos ao lado da linha de plantio. Utilizou-se um filtro de discos para evitar o entupimento dos gotejadores e conseqüente desuniformidade da lâmina de água aplicada.

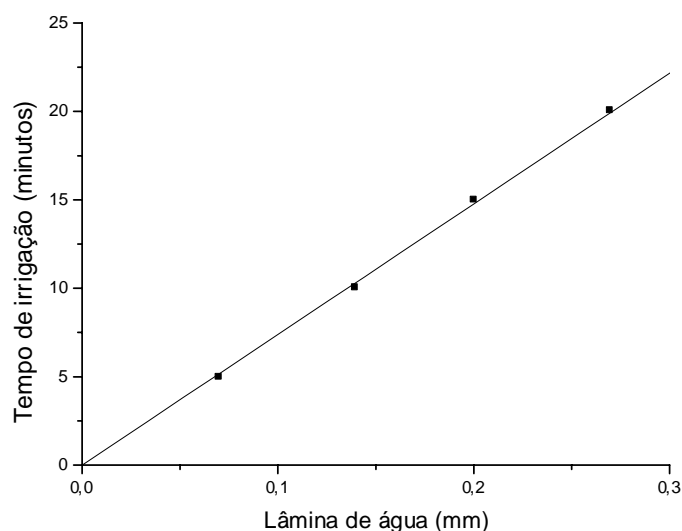


Figura 8. Lâmina de água aplicada em função do tempo.

O controle de irrigação foi efetuado, baseando-se em valores de evapotranspiração, obtidos através da média aritmética das leituras diárias, tomadas nos lisímetros de nível de lençol freático. O tempo de irrigação para aplicar a lâmina d'água (mm) requerida, pode ser descrito pela equação (02), obtida por um modelo de regressão linear entre vazão e tempo para os gotejadores, cuja relação foi apresentada na Figura 8.

$$\text{Tempo} = 9,461 \times \text{lâmina d'água} \dots\dots\dots(02)$$

Assim, para aplicar uma lâmina de 5mm ou 5 litros.m⁻², o sistema deverá permanecer ligado por aproximadamente 47 minutos.

Para verificar o potencial matricial de água no solo, foi instalada, ainda, uma bateria de tensiômetros dentro e fora dos lisímetros. O modelo de equipamento utilizado foi o de vacuômetro de mercúrio (Faria e Costa, 1987), sendo as profundidades de medida 0,10, 0,20 e 0,30m.

O potencial matricial médio mensal do solo para a profundidade de 0 a 0,30m está representado no Quadro 4.

Quadro 4. Potencial matricial médio mensal (kPa) do solo.

Local	Mês							
	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov
	Potencial matricial (kPa)							
Lisímetro	-1,18	-1,79	-0,64	-0,51	-0,66	-0,96	-1,57	-1,31
Bordadura	-2,68	-3,32	-2,26	-2,88	-3,28	-0,94	-1,82	-3,53

O teor de umidade do solo (θ em $m^3.m^{-3}$) entre 0,00 e 0,30m de profundidade pode ser estimado em função do potencial matricial (ψ_m em kPa) pela equação:

$$\Theta = 0,3379 - 0,18588\Psi_m + 0,0606\Psi_m^2 - 0,0069\Psi_m^3 \dots\dots\dots(03)$$

3.11. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA

A coleta das plantas para avaliação dos parâmetros de crescimento foi efetuada quinzenalmente, sendo 2 plantas para cada análise de 28 plantas marcadas do ambiente protegido, realizadas nas seguintes datas: 20 de abril, 05 e 20 de maio, 04 e 19 de junho, 04 e 19 de julho, 03 e 18 de agosto, 02 e 17 de setembro, 02 e 17 de outubro e 01 de novembro.

Foram analisados os seguintes parâmetros: área foliar, índice de área foliar, altura das plantas, número de folhas e para os frutos colhidos: número, massa fresca, massa seca, massa média, produção total, comprimento, diâmetro e espessura da polpa.

A área foliar, em centímetros quadrados, foi obtida com o auxílio de um medidor de área foliar do modelo CI202 (USA) pertencente ao Departamento de Produção Vegetal – Setor de Horticultura da FCA/UNESP.

Para determinar o índice de área foliar (IAF) foram utilizadas as medidas de área foliar total (AF em m²) e respectiva área de solo disponível para a planta (m²), podendo ser calculada como segue:

$$IAF = \frac{AF \times 3,33}{3000} \dots\dots\dots(04)$$

O índice de área foliar estimado para os lisímetros foi obtido por meio de correlação (R = 0,8565) entre o número de folhas e a área foliar de plantas da bordadura utilizadas para análise de crescimento e pode ser expresso como:

$$IAF = 28,816 \times NF \dots\dots\dots(05)$$

A altura das plantas foi tomada individualmente, a partir da superfície do solo, até a parte mais alta da planta, tendo sido utilizada uma trena graduada em centímetros.

O número de folhas por planta amostrada foi obtido por contagem individual das folhas de cada planta.

Para determinar os índices de produção foram marcadas 6 plantas no cultivo protegido. As plantas foram analisadas, a partir do início da colheita, em 07 de setembro de 1999, e a partir daí feitas semanalmente até o final do ciclo em 03 de novembro de 1999. Foram feitas as seguintes análises: número de frutos, massa fresca dos frutos, massa seca dos frutos, comprimento dos frutos, diâmetro dos frutos e espessura da polpa dos frutos; classificando-se posteriormente os frutos através do Programa paulista para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros (São Paulo,1998).

A massa fresca dos frutos foi obtida por pesagem logo após a colheita. A massa seca foi obtida após secagem dos frutos em estufa aerada a 105°C até massa constante, aproximadamente 48 horas. A massa fresca e seca dos frutos foi obtida em balança da marca BEL, modelo 8040 com precisão de 2 casas decimais. A massa total de todos os frutos de uma planta, dividida pelo número de frutos, representou a massa média de frutos.

Considerando a área de superfície de solo ocupada pela planta amostrada, a massa média dos frutos da planta em questão obteve-se a produção total de frutos.

O comprimento e diâmetro dos frutos foram determinados após terem sido pesados, utilizando-se de uma régua graduada em centímetros e milímetros e um paquímetro metálico modelo KWK, graduado em centímetros, respectivamente.

De cada fruto, após ter sido tomado o diâmetro, foi determinada a espessura da polpa, utilizando-se um paquímetro metálico modelo KWK com graduação em centímetros.

A massa média dos frutos foi obtida, somando-se a massa úmida de todos os frutos colhidos semanalmente (9 semanas) e dividindo-se pelo número total de frutos analisados. A produção total por planta (kg/planta) foi determinada, fazendo-se a soma da massa úmida de frutos colhidos semanalmente (9 semanas) e dividindo-se pelo número de plantas que deram origem aos frutos. Com a produção por planta, em kg/planta, foi possível determinar o rendimento em toneladas por hectare (t/ha), através da seguinte expressão:

$$Rendimento = \frac{(kg / planta) \times 360}{28} \dots\dots\dots(06)$$

A classificação dos frutos é uma separação do fruto por formato, cor, tamanho e categoria, permitindo a unificação de linguagem de mercado com relação ao fruto do pimentão. A identificação da qualidade é feita pela caracterização e quantificação dos defeitos graves e leves.

A classificação dos frutos foi feita, a partir das medidas de comprimento e diâmetro dos mesmos, as quais fornecem a classe e a subclasse, respectivamente. Fez-se também a identificação do formato e da coloração dos frutos, as quais fornecem o grupo e o subgrupo, respectivamente.

A categoria do fruto de pimentão obedece aos limites de tolerância de defeitos graves e leves para cada categoria de qualidade, permitindo a classificação em Extra, Categoria I, Categoria II e Categoria III, conforme Quadro 5.

Quadro 5. Limites de tolerância de defeitos graves e leves para cada categoria de qualidade de frutos de pimentão.

Defeitos graves	Extra	Categoria I	Categoria II	Categoria III
Podridão	Até 0%	até 1%	Até 1%	até 3%
Murcho	Até 1%	até 2%	Até 3%	até 3%
Queimado	Até 1%	até 1%	Até 2%	até 2%
Dano não-cicatrizado	Até 1%	até 1%	Até 2%	até 2%
Total graves	Até 1%	até 3%	Até 5%	até 10%
Total leves	Até 5%	até 10%	até 15%	100%
Total geral	Até 5%	até 10%	até 15%	até 100%

FONTE: Programa paulista para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros (São Paulo, 1998).

3.12. ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH

A evapotranspiração foi estimada, utilizando-se o método proposto por Penman-Monteith com a parametrização proposta pela FAO (Allen et al., 1998).

É considerado como o método mais adequado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária, por representar a influência da componente do balanço de energia e da componente aerodinâmica e pode ser representado como segue:

$$ET_o = \frac{0,408s(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34U_2)} \dots\dots\dots(07)$$

Sendo a :

Declividade da curva de pressão de vapor (s) em kPa.°C⁻¹

$$s = \frac{4098e_s}{(t + 237,3)^2} \dots\dots\dots(08)$$

Radiação líquida (R_n) em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$

$$R_n = BOC + BOL \dots \dots \dots (09)$$

Balanço de ondas curtas (BOC) em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$

$$BOC = (1 - \alpha)R_g \dots \dots \dots (10)$$

Balanço de ondas longas (BOL) em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$

$$BOL = -4,8989 \times 10^{-9} T^4 \left(0,89 \frac{n}{N} + 0,12\right) (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \dots \dots \dots (11)$$

Pressão atual de vapor (e_a) em kPa

$$e_a = e_s \times UR \dots \dots \dots (12)$$

Pressão de saturação (e_s) em kPa

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\left(\frac{t \times 7,5}{t + 237,3}\right)} \dots \dots \dots (13)$$

Onde:

G = Densidade de fluxo de calor para o solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)

R_g = radiação solar global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)

α = albedo da superfície = 0,23 (adimensional)

n = insolação diária (h)

t = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$)

UR = umidade relativa do ar (%)

λ = calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$)

γ = $0,0622 \text{ kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$

T = temperatura do ar (K)

U_2 = velocidade do vento registrada a 2 metros (m.s^{-1})

3.13. RELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS, ÍNDICES DE CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURA

Verificou-se através de regressão linear simples a relação entre a radiação solar global, o saldo de radiação e a umidade relativa do ar com a evapotranspiração de cultura para o ambiente protegido. Após análise preliminar dos dados, para a radiação solar global e o saldo de radiação foram utilizados valores médios para um período de dez dias e para a umidade relativa do ar valores médios diários.

Foi verificada, também, para o período entre duas análises, a relação entre o Índice de área foliar e a evapotranspiração de cultura, bem como, do índice de área foliar com o coeficiente de cultura. Foram utilizados valores médios de evapotranspiração e de coeficiente de cultura e valores totais de índice de área foliar entre duas análises.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. VARIAÇÃO DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS DENTRO E FORA DE AMBIENTE PROTEGIDO

Nas Figuras 9 a 16, observa-se a variação dos elementos meteorológicos como temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, radiação solar global, saldo de radiação, radiação solar difusa, radiação refletida, fluxo de calor no solo e velocidade do vento, medidos em ambiente protegido, cultivado com pimentão e na estação meteorológica convencional do Departamento de Recursos Naturais – Setor de Ciências Ambientais, localizada a aproximadamente 200 metros do local do experimento.

O período de observações iniciou-se em 21 de abril de 1999 e prolongou-se até 04 de novembro de 1999.

Pode-se observar que a temperatura do ar (Figura 9) no interior do ambiente protegido (TarApm) manteve-se ligeiramente acima da temperatura do ar observada na estação meteorológica (TarEmm), confirmando a hipótese de que a presença de cobertura de polietileno de baixa densidade, altera o balanço energético no interior deste abrigo e, portanto, modifica os valores de temperatura.

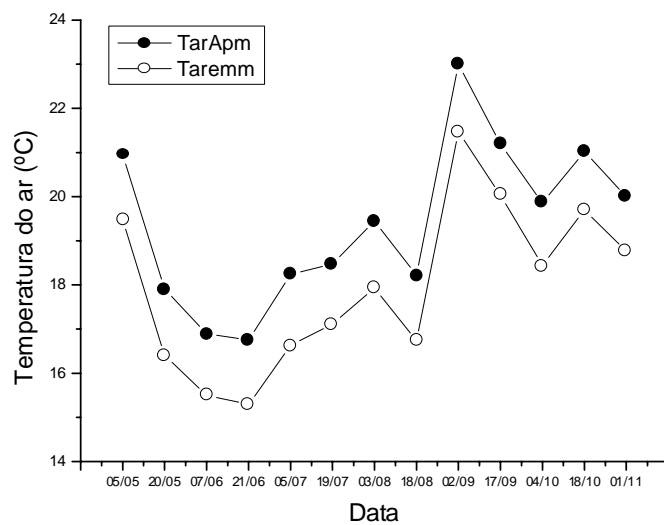


Figura 9. Temperatura do ar média medida em ambiente protegido (TarApm) e na estação meteorológica (TarEmm).

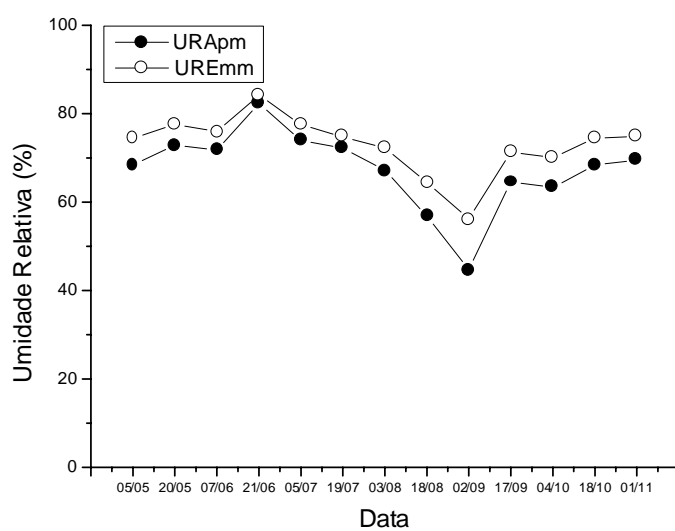


Figura 10. Umidade relativa do ar média medida em ambiente protegido (URAPm) e na estação meteorológica (UREmm).

O efeito do ambiente protegido sobre a temperatura do ar, está relacionado com o balanço de energia (Martinez Garcia, 1978), dependendo, portanto do tipo de cobertura, do ângulo de incidência da radiação solar, do tipo de solo e, principalmente, do tamanho e volume da estufa (Seeman, 1979). Farias et al.(1993), verificaram que o maior efeito da cobertura plástica ocorreu sobre as temperatura máximas, com valores variando de 1,2°C a 4,0°C acima dos observados externamente.

Como pode ser observado na Figura 10, os valores de umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido foram iguais ou ligeiramente menores que os obtidos em estação meteorológica. Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Farias et al. (1993) que mostraram ser os valores médios de umidade relativa do ar bastante semelhantes nas duas condições, entretanto, para a condição externa, os valores foram ligeiramente inferiores.

A radiação solar no interior das estufas é menor que a verificada externamente, devido à reflexão e absorção pelo material da cobertura plástica (Seeman, 1979; Martin et al., 1982; Kurata, 1990). Os tipos de materiais utilizados, além de causarem a redução da densidade de fluxo de radiação, possuem efeito seletivo, permitindo a passagem de certas faixas espectrais e reduzindo a transmitância de outras faixas de comprimento de onda (Seeman, 1979). Os filmes plásticos diferem quanto à absorção, reflexão e transmissão da radiação de ondas curtas e ondas longas em função da coloração, opacidade e transparência. A condensação de vapor d'água sobre a face interna da cobertura também reduz a transmissividade, aumentando consideravelmente a interceptação de radiação de onda longa (Robledo & Matin, 1981; Al-Riahi et al., 1989). Assis & Escobedo (1996), estudaram a radiação global e a componente difusa em casas de vegetação com exposições leste - oeste e norte – sul, verificaram que, a orientação leste – oeste permitiu que 75% da radiação global incidente ultrapasse o plástico, enquanto que para a orientação norte – sul apresentou-se em média na faixa de 65%.

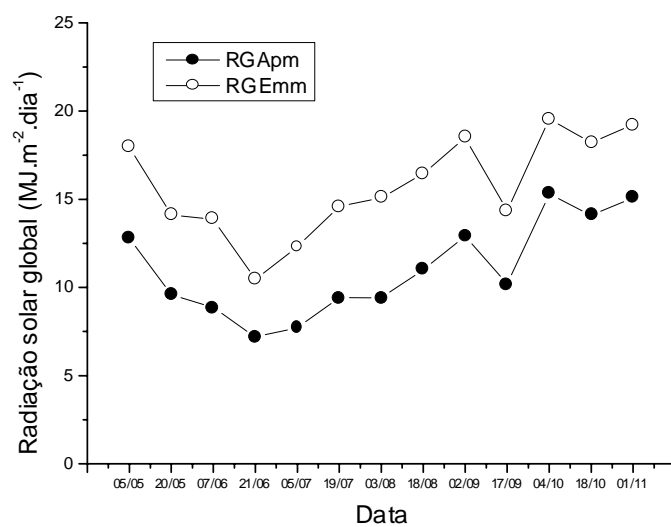


Figura 11. Radiação solar global medida em ambiente protegido (RGApm) e na estação meteorológica (RGEmm).

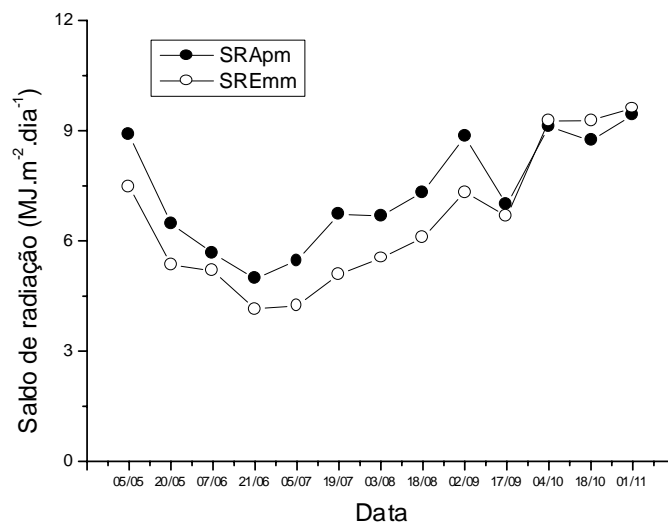


Figura 12. Saldo de radiação medido em ambiente protegido (SRApm) e na estação meteorológica (SREmm).

O saldo de radiação em ambiente protegido, como mostra a Figura 12, apresentou-se, em geral, maior que aquele obtido na condição externa (estação meteorológica). Frisina e Escobedo (1997), trabalhando com saldo de radiação em casas de vegetação de polietileno e em condição externa com cultura de alface, encontraram em condição interna um saldo de radiação da ordem de 69,36% da radiação global e em condição externa 59,96% da radiação global. Galvani et al. (1997), trabalharam com balanço de energia em casas de vegetação orientadas no sentido leste – oeste e norte – sul e notaram que o saldo de radiação observado na casa de vegetação leste – oeste foi da ordem de 13,4% maior em relação àquele obtido em casa de vegetação norte – sul, gerando, portanto, condições diferentes de balanço de energia, temperatura do solo e umidade relativa do ar.

A radiação solar componente difusa registrada no interior do ambiente foi, na maioria dos casos, maior que aquela observada no meio externo. Isto foi observado em dias claros, concordando com os resultados obtidos por Martinez Garcia (1978) e Farias et al. (1993). Este efeito é bastante desejável, pois a radiação difusa é mais efetiva para a fotossíntese por ser multi-direcional e penetrar melhor entre as plantas, o que pode compensar, em parte, a parcial opacidade do filme plástico à radiação solar (Martinez Garcia, 1978). Farias et al. (1993), observaram em condição externa que a radiação difusa representa em média 24% da global e, em ambiente interno em casas de vegetação este valor sobe para 45%, demonstrando o efeito dispersante do filme de polietileno.

A Figura 13 mostra os valores da temperatura do solo nas profundidades de 10, 20 e 30 cm. Observou-se que os valores de temperatura no perfil do solo variam pouco de acordo com a profundidade. Do início do ciclo até os 60 dias após o transplante, a temperatura do solo sofreu um decréscimo, período este que coincide com o final de outono e início de inverno. Daí em diante, houve elevação até o final do ciclo (período de primavera e verão). Schneider et al. (1993), verificaram que, em média, os valores de temperatura do solo sempre foram mais elevados no interior da estufa, independente da profundidade de medida, ano e horário de observação. Em dias mais frios, a diferença de temperatura, entre os dois ambientes, foi mais elevada. Também observou-se que o manejo da estufa altera o momento de ocorrência das temperaturas máximas do solo. Uma prática cultural importante para as épocas frias do ano é realizar as irrigações sempre no período da manhã. Assim, é possível que o solo tenha tempo para se aquecer durante o dia e que o sistema

radicular não sofra danos no período noturno em uma condição em que o solo se encontrará mais frio (Tivelli, 1998a).

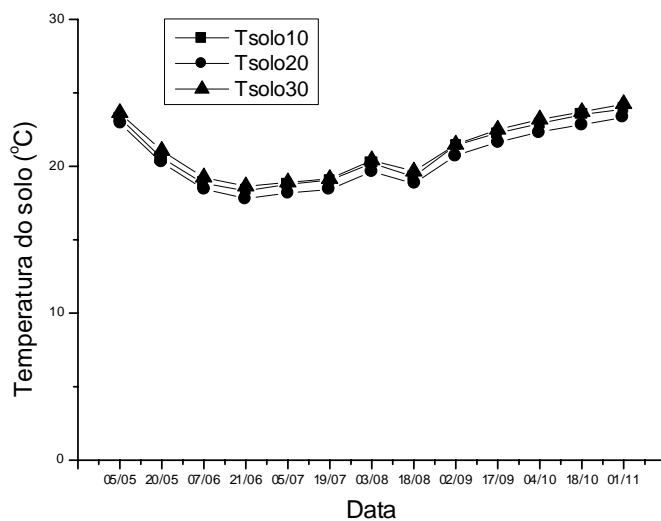


Figura 13. Temperatura do solo na condição de ambiente protegido.

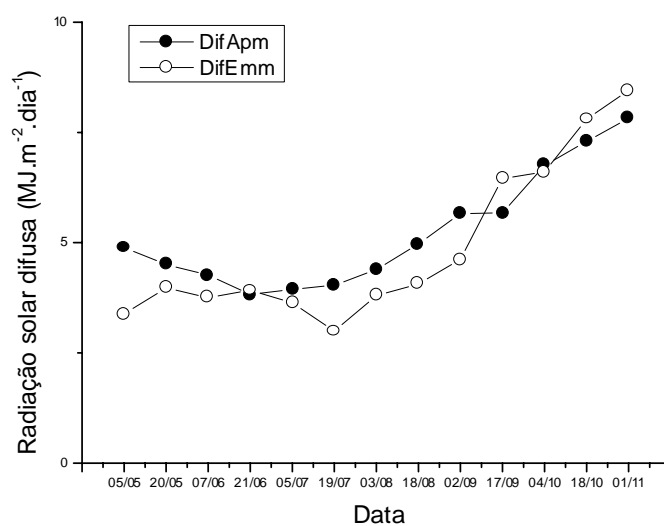


Figura 14. Radiação solar difusa média em ambiente protegido DIFApm e estação meteorológica (DIFEmm)

A variação da velocidade do vento na condição de ambiente protegido e o observado em estação meteorológica mostrou uma baixa taxa de renovação do ar nesse ambiente. Este efeito sobre a ação dos ventos está relacionada ao período em que fica aberta, número e tamanho das aberturas, orientação e forma do abrigo (Farias, 1992). Para Sade (1994), dentro de ambiente protegido a velocidade do vento deve ser menor que $1,0\text{m.s}^{-1}$, portanto a área das janelas de uma construção para efeitos de ventilação deve ser de 15% a 30% da área recoberta com plástico.

Uma ventilação através de janelas zenitais, com aberturas da ordem de 10% da superfície recoberta, pode reduzir a temperatura em aproximadamente $4,0^{\circ}\text{C}$, dependendo da velocidade do vento. Para o caso de ambientes protegidos com vários módulos conjugados cujas dimensões ultrapassem os 30m de largura por 50m de comprimento, a ventilação natural não é eficiente. Faz-se necessário, a colocação de exaustores e ventiladores para promover a ventilação forçada (Cermeño, 1990 e Sade, 1994). Tanto os exaustores como os ventiladores devem promover troca de 20 a 25 vezes o volume de ar do ambiente protegido por hora, com uma velocidade de $0,5$ a $1,0\text{ m.s}^{-1}$ (Sade, 1994).

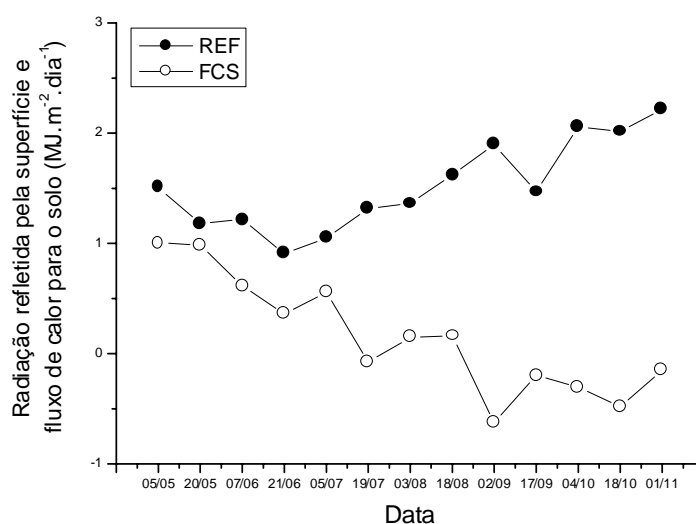


Figura 15. Radiação refletida pela superfície (REF) e do fluxo de calor no solo (FCS).

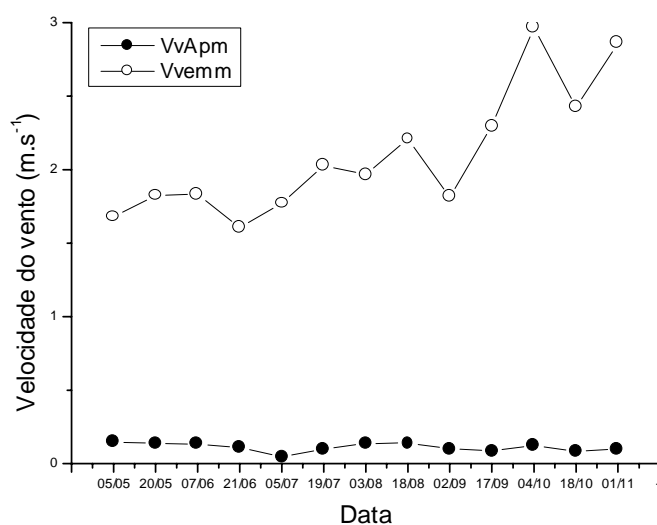


Figura 16. Velocidade do vento em ambiente protegido (VvApm) e na estação meteorológica (VvEmm).

4.2. CONSUMO DE ÁGUA PELA CULTURA DO PIMENTÃO

A cultura do pimentão híbrido Elisa, para um ciclo de 198 dias, apresentou um consumo total de água de 293,5mm, com média de 1,5 mm.dia⁻¹. O valor máximo de evapotranspiração de cultura (3,5mm.dia⁻¹) foi registrado no dia 02 de setembro de 1999, 135 dias após o transplante, no estágio compreendido entre o florescimento e a primeira colheita. O valor mínimo de evapotranspiração de cultura (0,4 mm.dia⁻¹) foi registrado no dia 20 de junho de 1999, 61 dias após o transplante, no estágio compreendido entre o florescimento e a primeira colheita.

De acordo com Doorenbos & Kassam (2000), as necessidades hídricas totais da cultura são da ordem de 600 a 900 mm e até de 1250mm para períodos de crescimento longos, o que pode variar de acordo com o clima, variedade utilizada e número de colheitas.

Os menores valores de evapotranspiração de cultura observados para o ambiente protegido quando comparados aos valores apresentados por Doorenbos & Kassam

(2000), parecem estar relacionados, principalmente, aos menores valores de radiação solar global, observada neste ambiente, provocados pelos componentes de estrutura, e ainda, devido à espessura e opacidade do material da cobertura que interceptam parte desta radiação. A transmissividade do material da cobertura à radiação solar global durante o ciclo foi em média de 70%.

Ao comparar os valores obtidos neste experimento observou-se que são em média 50% menores que os constatados por Doorenbos & Kassam (2000), não havendo indicação se estes foram obtidos nas condições de campo ou em ambiente protegido. Os resultados obtidos conferem com os de Martins & Gonzalez (1995), os quais encontraram valores que indicam que a evapotranspiração de referência no interior de estufas orientadas no sentido norte - sul, representa 60% daquela obtida externamente. Heizmann & Andriollo (1991) mostraram que a evaporação do tanque Classe A no interior de casas de vegetação, quando o manejo das cortinas laterais foi efetuado somente durante o dia, apresentou-se em 59% inferior ao ambiente externo.

Dalsasso et al. (1997), utilizaram o balanço hídrico simplificado para as condições de estufa plástica e obtiveram um consumo de água para a cultura do tomateiro de 247mm e 189mm para o cultivo de primavera e outono, respectivamente. O consumo hídrico previsto por Doorenbos & Kassam (2000), encontra-se entre 400 a 600mm.

Boswell & Thorne (1975), citados por Caixeta (1984), relataram que, de um modo geral, tem-se observado para diversos locais, um consumo médio diário de água de 2,5 a 5,0mm para o pimentão. No entanto, não especificaram se a cultura foi conduzida em condições de campo ou em ambiente protegido. Para as condições de Botucatu – SP em ambiente protegido, durante todo o ciclo foi obtido um valor médio diário de consumo hídrico de 1,5mm, valor inferior àquele obtido por Boswell & Thorne (1975). O que mostra que o uso de ambiente protegido pode ser uma forma de racionalizar o consumo de água, otimizando os processos de irrigação, e diminuindo portanto, os custos de aplicação de água em plantios comerciais.

No Quadro 6 e Figuras 17 e 18 encontram-se os valores de consumo hídrico total, médio, máximo e mínimo diário para os estádios de desenvolvimento da cultura de pimentão híbrido Elisa.

Quadro 6. Consumo hídrico total, médio, máximo e mínimo por estágio de desenvolvimento para a cultura do pimentão híbrido Elisa nas condições de Botucatu-SP.

Estádio de desenvolvimento	Consumo hídrico			
	Total (mm)	Médio (mm.dia ⁻¹)	Máximo (mm.dia ⁻¹)	Mínimo (mm.dia ⁻¹)
Transplante – florescimento	42,4	0,9	1,4	0,7
Florescimento - 1ªcolheita	138,5	1,5	3,5	0,4
1ªcolheita – final do ciclo	112,6	1,9	2,8	1,1

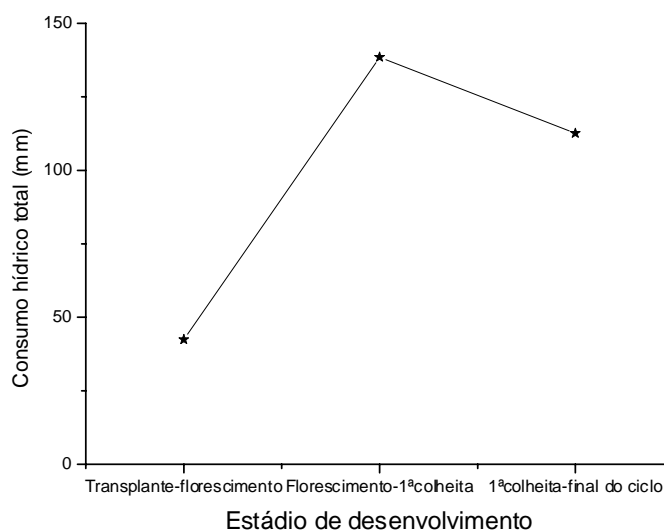


Figura 17. Consumo hídrico total por estágio de desenvolvimento.

Para se obter rendimentos elevados, necessita-se de suprimento adequado de água e de solo relativamente úmido em todo o período de crescimento. A redução no suprimento de água durante o período de crescimento tem, em geral, efeito adverso sobre o rendimento, sendo que a redução máxima do rendimento ocorre quando existe escassez contínua de água até o momento da primeira colheita. O estágio inicial do período de floração é a fase mais sensível à escassez de água, de forma que, nesse período, o esgotamento de água do solo na zona radicular não deverá exceder os 25% e a escassez de água um pouco antes e durante este período é maior em condições de temperaturas altas e umidade relativa do ar baixa (Doorenbos & Kassam, 2000).

O período de maior consumo hídrico total, médio e máximo aconteceu no estágio compreendido entre o florescimento e a primeira colheita com valores correspondentes a 138,5mm, 1,5mm.dia⁻¹ e 3,5mm.dia⁻¹, respectivamente. Estes resultados estão em conformidade com aqueles preconizados por Doorenbos & Kassam (2000).

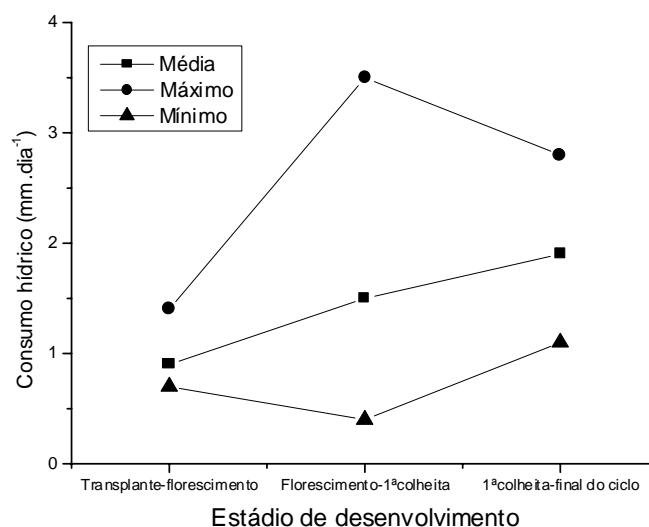


Figura 18. Consumo hídrico médio, máximo e mínimo por estágio de desenvolvimento.

Em estudos realizados sobre a evapotranspiração máxima e real do pimentão, Leon & Montalvo (1986), observaram que, em todos os tratamentos, o maior consumo de água pelas plantas ocorreu na fase de floração - frutificação. O melhor tratamento foi aquele em que se irrigou quando o teor de umidade no solo correspondia a 85% da capacidade de campo, obtendo um rendimento de 20t/ha.

Estes resultados também estão de acordo com Tivelli (1998b), que observou que a cultura do pimentão logo após o transplante até o início do florescimento foi mais exigente em umidade do solo. O período crítico ao déficit hídrico para a cultura ocorre no período de formação e desenvolvimento dos frutos.

4.3. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA.

O coeficiente de cultura (Kc) representa a relação entre a evapotranspiração de cultura e a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith com parametrização proposta pela FAO como pode ser visto no Quadro 7.

Quadro 7. Valores médios de Kc para o pimentão híbrido Elisa nas condições de Botucatu-SP.

Estádio de desenvolvimento	Coeficiente de cultura (Kc)	
	Penman-Monteith	Doorenbos e Kassam
Transplante – florescimento	0,4	0,4
Florescimento – 1ª colheita	0,7	0,95 a 1,10
1ª colheita – final do ciclo	0,6	0,8 a 0,9

Os valores de Kc variaram de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. Apresentando pequena variação se comparados àqueles observados por Doorenbos & Kassam (2000), principalmente, devido à diferença nas datas de plantio e, portanto, nos períodos de cultivo, condições climáticas e, também, devido ao método de estimativa da evapotranspiração potencial.

Os fatores que influenciam o Kc, são principalmente as características da cultura, datas de plantio ou semeadura, desenvolvimento da cultura e duração do período vegetativo, condições climáticas, especialmente, durante a primeira fase de crescimento e a frequência das chuvas ou irrigações (Doorenbos & Pruitt, 1997). O Kc pode variar ainda com o método de estimativa da evapotranspiração potencial ou de referência (Barbieri, 1981; Peres, et al., 1992).

Na Figura 19, pode ser observada a variação do Kc durante o período de cultivo. Os valores variaram de 0,36 no início do ciclo, atingindo o máximo de 0,82 em 17 de setembro de 1999 e no final do ciclo de 0,56.

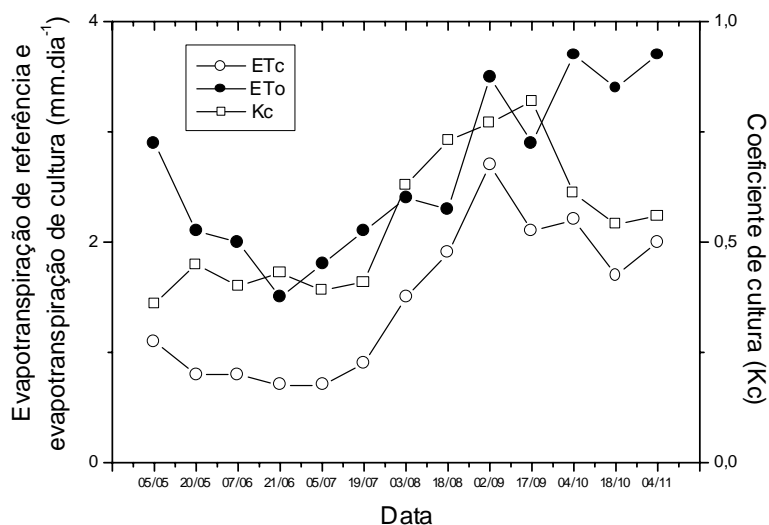


Figura 19. Evapotranspiração de referência e de cultura e coeficiente de cultura para diferentes datas após o transplante para a cultura de pimentão nas condições de Botucatu.

4.4. EFEITO DOS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS SOBRE O CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA

É difícil separar a ação de cada um dos elementos meteorológicos na evapotranspiração, pois os mesmos agem simultaneamente. De maneira geral, em uma dada região, quanto maior for a disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento e quanto menor for a umidade relativa do ar, maior deverá ser a taxa de evaporação ou evapotranspiração (Villa Nova, 1987).

As plantas, no interior de estufas, estão em um ambiente diferente do externo (Dalsasso, et al., 1997). Nelas o consumo de água é menor, principalmente pela atenuação que ocorre na densidade de fluxo de radiação incidente e da menor velocidade de renovação do ar junto às plantas (Robledo & Martin, 1981; Reisser Jr., 1991, Buriol et al, 1995).

Nas Figuras 20, 22 e 24, encontra-se a comparação entre o comportamento da radiação solar global, saldo de radiação, temperatura do ar, umidade relativa do ar e da evapotranspiração de cultura observada em ambiente protegido. A radiação

solar é a principal fonte de energia para as plantas e a maior parte dessa energia é convertida em calor, impulsionando o processo de transpiração e alterando a temperatura dos tecidos vegetais com conseqüências para os processos metabólicos (Jones, 1992). Sendo a transpiração das culturas proporcional à radiação solar, diminuições nos níveis de radiação por cortinas ou pintura na cobertura plástica, reduzem as perdas de água e o potencial de produção das culturas (Cockshull et al., 1992). Durante o dia, a radiação solar líquida, sendo positiva, faz com que a superfície aqueça a parcela de ar próxima a ela, gerando um processo convectivo. Dentro de estufas, esse processo é interrompido pela cobertura plástica que impede a ascensão do ar quente, provocando elevação da temperatura (Folegatti, et al., 1997).

Vários trabalhos conduzidos em ambiente protegido tem mostrado a existência de alta correlação entre a evapotranspiração medida no interior destes ambientes e os elementos meteorológicos. A evapotranspiração tem alta correlação com a radiação solar medida acima da cultura em ambiente protegido, como pode ser observado nos trabalhos de Morris, et al. (1957), De Villéle (1972) e Yang et al. (1989). Okuya & Okuya (1988), que mostraram a existência de alta correlação entre a transpiração e a radiação solar global e o déficit de pressão de vapor dentro da estufa.

Folegatti et al. (1997), trabalhando com a cultura de crisântemo cultivado em estufas para a região de Arthur Nogueira – SP, verificaram que a radiação solar global é o elemento meteorológico mais importante na estimativa da evapotranspiração em estufa e observaram ainda, que os elementos meteorológicos medidos no exterior da estufa superestimam a evapotranspiração da cultura. Estes resultados também podem ser confirmados nos trabalhos de Jolliet & Bailey (1992), Baille, et al. (1992), Boulard & Jemaa (1993) e Kirda, et al. (1994). Os experimentos foram conduzidos em diversas regiões, sendo os três primeiros trabalhos realizados com tomate e o último com plantas ornamentais.

Na Figura 21, encontra-se representada a variação da evapotranspiração de cultura em relação à radiação solar global, registrada no interior do ambiente protegido.

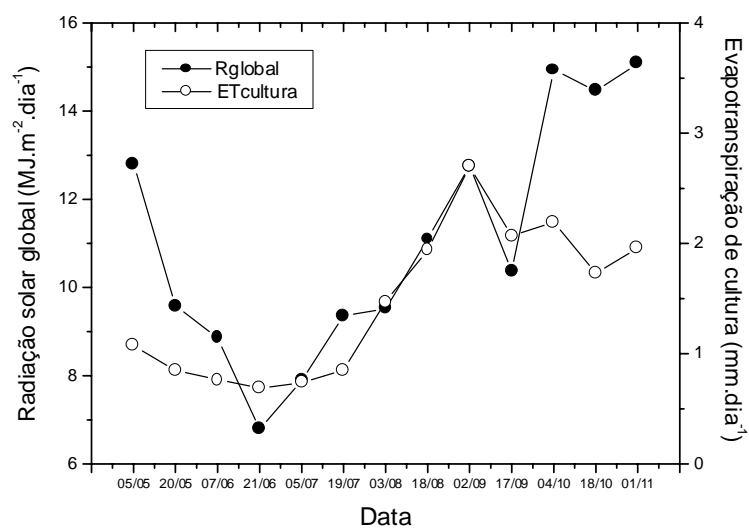


Figura 20. Variação da evapotranspiração de cultura e da radiação solar global durante o ciclo da cultura de pimentão.

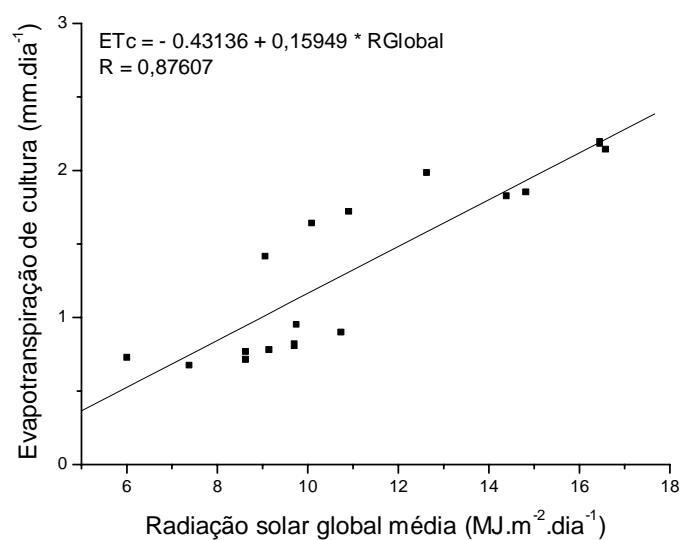


Figura 21. Relação entre a radiação solar global e a evapotranspiração em ambiente protegido.

Os resultados mostrados na Figura 21, foram obtidos a partir de valores médios decendiais de radiação solar global e de evapotranspiração de cultura. Como pode ser observado, existe boa correlação entre a radiação solar global e a evapotranspiração de cultura para o ambiente protegido, resultados que estão de acordo com os trabalhos de Kirda et al. (1994), Folegatti et al. (1997) e outros.

Nas Figuras 22 e 23, estão representados valores de evapotranspiração de cultura em relação ao saldo de radiação e a relação entre este e a evapotranspiração de cultura, respectivamente. Como acontece com a radiação solar global, o saldo de radiação guarda uma estreita relação com a variação da evapotranspiração de cultura.

Stanghellini (1989), obteve estimativa da transpiração em ambiente protegido através de um modelo que considerava valores de temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da radiação solar global. Os resultados obtidos por modelos simplificados, diferiram muito pouco em relação àqueles obtidos por parametrizações mais completas. A taxa de transpiração foi estimada satisfatoriamente pela temperatura e pela umidade relativa do ar, determinadas internamente e pela radiação solar de ondas curtas, registrada em ambiente protegido.

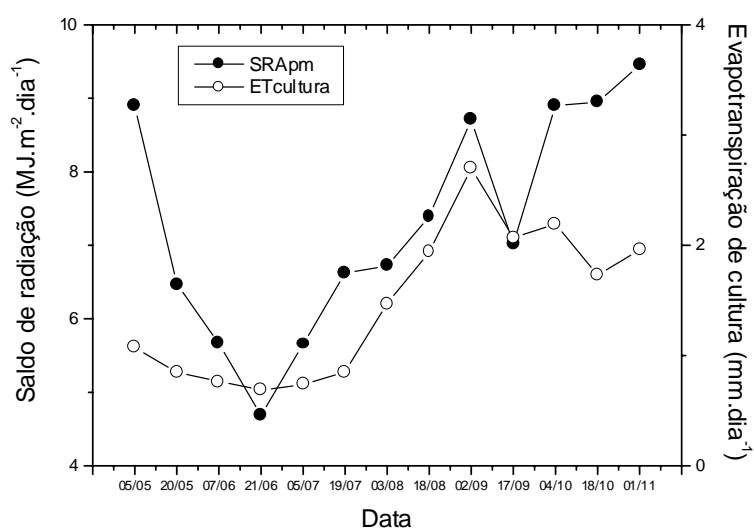


Figura 22. Saldo de radiação e evapotranspiração de cultura do pimentão em ambiente protegido.

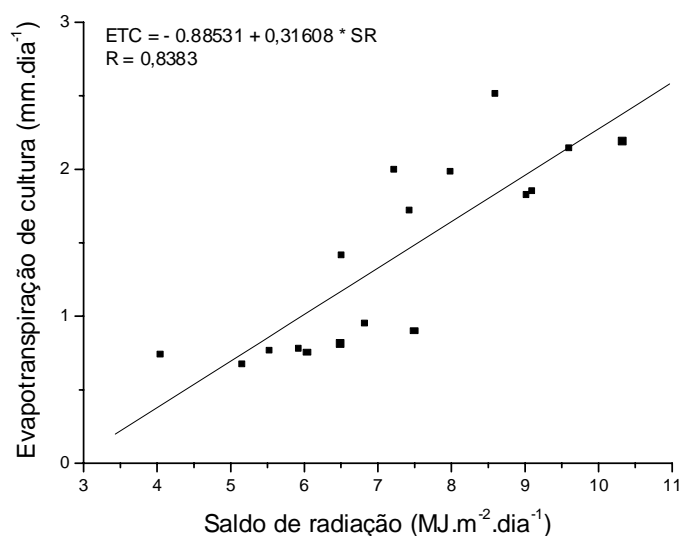


Figura 23. Relação entre o saldo de radiação e a evapotranspiração de cultura em ambiente protegido.

A umidade relativa do ar pode afetar a evapotranspiração pelas interações com a fotossíntese e produção de matéria seca, prejudicando o desenvolvimento do índice de área foliar ou modificando a condutância estomática (Jolliet, 1994). Quando a umidade relativa do ar aumentou de 55% para 95%, Gisleröd et al. (1987), constataram decréscimo de 44% a 60% na taxa de transpiração de cinco espécies cultivadas em estufa. A taxa de transpiração aumentou com o déficit de saturação, ou seja, com a diminuição da umidade relativa do ar (Jolliet & Bailey, 1992).

As Figuras 24 e 25 representam a variação da temperatura do ar, da umidade relativa do ar, da evapotranspiração de cultura e a relação entre a umidade relativa do ar e a evapotranspiração de cultura, respectivamente.

A capacidade da atmosfera em reter umidade, aumenta exponencialmente com a temperatura do ar. A atmosfera se satura apenas em algumas condições especiais e, em dado instante, onde não se verifica saturação, a atmosfera apresenta uma pressão parcial de vapor que é menor que a pressão de saturação. Nesta condição, existe um déficit de saturação que representa a diferença entre a pressão de saturação e a pressão atual de vapor. Quando a temperatura aumenta, ocorre um aumento no déficit de saturação e,

portanto, na umidade relativa do ar (Pereira, et al., 1997). Na Figura 24, pode-se verificar que com o aumento da temperatura em ambientes protegidos, ocorre uma diminuição nos valores de umidade relativa do ar, o que representa um aumento no déficit de saturação. O aumento da temperatura do ar aumenta o nível energético das moléculas e também a diferença entre a pressão atual de vapor e a pressão de saturação, resultando em aumento da evaporação ou evapo(transpi)ração. Com esse novo valor de temperatura, mais moléculas de água deixam a superfície evapo(transpi)rante e se incorporam ao ar (Pereira, et al., 1997).

Os resultados obtidos para a cultura de pimentão cultivado em ambiente protegido na região de Botucatu – SP se aproximam bastante daqueles obtidos por Gisleröd et al. (1987), Jolliet & Bailey (1992) e Jolliet (1994); em ambientes protegidos mas com outros tipos de cultura.

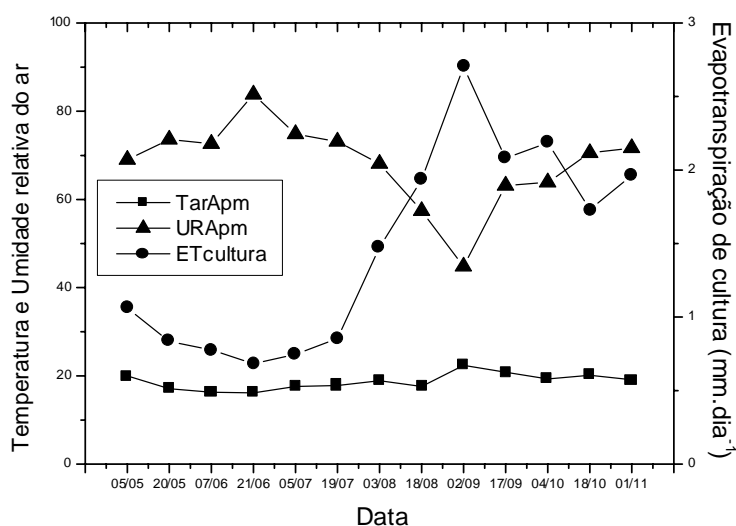


Figura 24. Temperatura, umidade relativa do ar e evapotranspiração de cultura em ambiente protegido.

A evapotranspiração de cultura de pimentão em ambiente protegido, pode ser estimada com boa aproximação, utilizando-se os valores de umidade relativa do ar. Fynn et al. (1993), também observaram na cultura de crisântemos cultivados em vasos, que os elementos meteorológicos mais significativos na estimativa da evapotranspiração foram a radiação solar e o déficit de pressão de vapor.

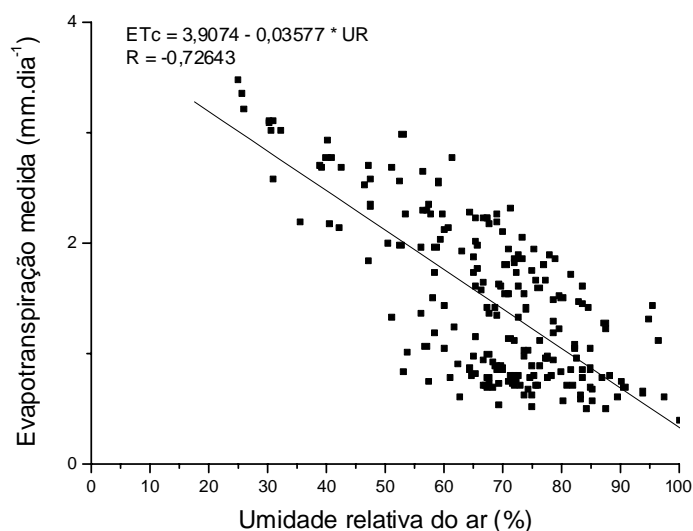


Figura 25. Relação entre a umidade relativa do ar e a evapotranspiração de cultura em ambiente protegido.

4.5. ÍNDICES DE CRESCIMENTO DA CULTURA DE PIMENTÃO

Para área de bordadura dentro da estufa, foram obtidos valores médios de duas plantas de matéria seca total (MST) e do índice de área foliar (IAF) como pode ser visto na Figura 26.

A produção de matéria seca total apresenta uma estreita relação com o índice de área foliar (Figura 26). A produção de matéria seca total média foi de 71,02g e o índice área foliar médio de 2,64.

Na Figura 27, pode ser observada, durante o ciclo da cultura, a variação do número de folhas (NF) e altura média das plantas (ALT), conforme coletas da bordadura do ambiente protegido. A altura média das plantas foi de 87,54cm semelhante aos valores compreendidos entre 80 e 90cm obtidos por Panelo (1995) e Tivelli (1999), para o híbrido Elisa nas mesmas condições de ambiente. O número médio de folhas por planta foi de 87,54.

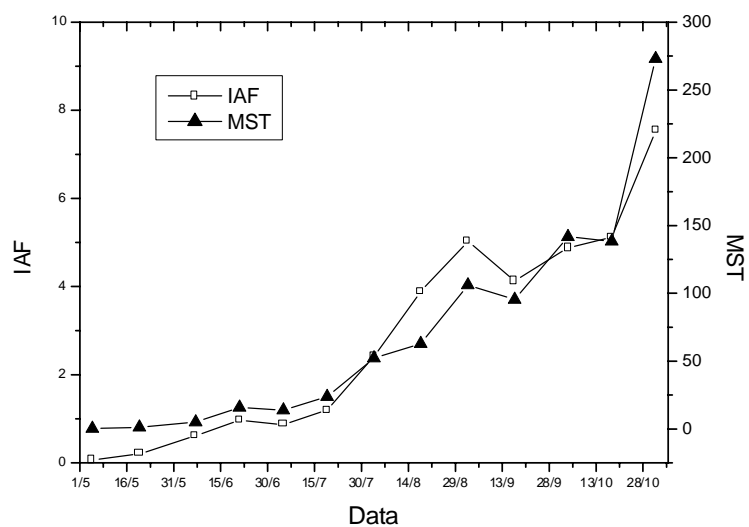


Figura 26. Matéria seca total (MST) e índice de área foliar (IAF) da cultura do pimentão híbrido Elisa para a condição de bordadura dentro de ambiente protegido.

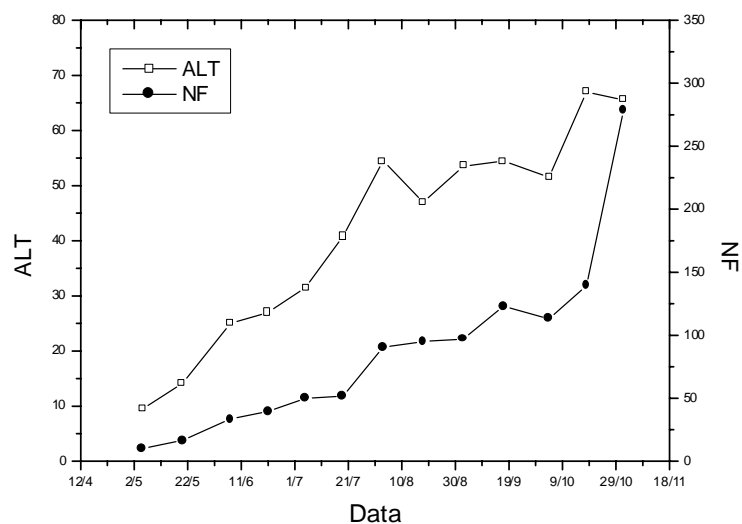


Figura 27. Altura de plantas (ALT) e número médio de folhas por planta (NF) para a cultura de pimentão híbrido Elisa para a condição de ambiente protegido.

4.6. CLASSIFICAÇÃO DOS FRUTOS E RENDIMENTO

Nos Quadros 8 e 9 verifica-se, para as plantas da bordadura e para as plantas do lisímetro, o número médio de frutos por planta, massa, comprimento, diâmetro e espessura da polpa dos frutos, produção e rendimento, respectivamente.

Quadro 8. Número médio de frutos por planta, massa, comprimento, diâmetro e espessura de polpa dos frutos, produção e rendimento (bordadura).

Data	Número médio de frutos p/ planta	Massa média dos frutos (g)	Comprimento médio (cm)	Diâmetro médio (cm)	Espessura de polpa (mm)	Produção (kg/planta)	Rendimento (t/ha)
07/09/99	1,50	218,93	11,38	7,09	7,50	0,33	4,24
14/09/99	2,70	169,27	10,38	7,06	7,70	0,45	5,79
21/09/99	1,00	153,37	7,57	7,51	7,20	0,15	1,93
28/09/99	1,50	224,59	12,75	6,06	8,00	0,34	4,37
04/10/99	2,00	183,56	12,17	7,20	6,40	0,37	4,76
13/10/99	3,20	149,62	10,95	6,10	5,70	0,48	6,17
19/10/99	2,00	126,84	10,48	6,30	4,80	0,25	3,21
26/10/99	1,00	178,10	10,25	6,95	5,10	0,18	2,31
03/11/99	3,00	75,60	7,05	5,09	4,50	0,23	2,96
Total/Média	17,70	164,43	10,33	6,60	6,30	2,78	35,74

Quadro 9. Número médio de frutos por planta, massa, comprimento, diâmetro e espessura de polpa dos frutos, produção e rendimento (lisímetros).

Data	Número médio de frutos p/ planta	Massa média dos frutos (g)	Comprimento médio (cm)	Diâmetro médio (cm)	Espessura de polpa (mm)	Produção (kg/planta)	Rendimento (t/ha)
07/09/99	3,00	246,15	10,97	7,10	7,53	0,25	7,24
14/09/99	8,66	128,94	10,13	7,32	7,40	0,13	3,79
21/09/99	3,66	163,97	9,01	7,28	8,13	0,16	4,82
28/09/99	3,00	143,39	10,25	7,29	6,95	0,14	4,22
04/10/99	10,00	152,35	11,01	6,68	5,87	0,15	4,48
13/10/99	10,00	150,30	11,37	6,40	5,53	0,15	4,42
19/10/99	8,00	134,59	10,39	6,06	5,57	0,13	3,96
26/10/99	4,00	88,12	8,71	5,25	5,13	0,09	2,59
03/11/99	7,66	110,65	9,32	5,39	5,07	0,11	3,25
Total/Média	57,98	146,49	10,53	6,53	6,35	1,32	38,78

As plantas cultivadas em lisímetro apresentaram para todas as datas de análise maior número de frutos (57,98) quando comparadas às plantas de bordadura (17,70). Com relação à massa média de frutos, os maiores valores alternaram-se de acordo com a data da análise para as duas condições. Conforme pode ser observado nos Quadros 8 e 9, o rendimento total foi maior para os lisímetros quando comparado aos resultados obtidos para a condição de bordadura. O rendimento total para as plantas de bordadura foi de 35,74t/ha contra 38,78t/ha, obtidos para os lisímetros nos quais não houve em nenhum momento restrição hídrica à planta. Resultados semelhantes, na condição de ambiente protegido, foram obtidos por Robledo & Martin (1981), para as condições de Almeria na Espanha e também por Tivelli (1999), em São Manuel - SP, onde foi alcançado um rendimento de 30 a 40t/ha e de 35t/ha para duas colheitas apenas, respectivamente. O comprimento, o diâmetro e a espessura média da polpa dos frutos apresentaram valores bastante semelhantes durante o período de desenvolvimento da cultura.

A classificação dos frutos de pimentão por grupo, subgrupo, classe, subclasse e categoria das plantas de bordadura e dos lisímetros encontram-se nos Quadros 10 e 11, respectivamente.

Os frutos que apresentaram defeitos graves ou leves, não foram identificados em classe, subclasse, grupo e subgrupo, a classificação não era possível devido aos defeitos apresentados. Quanto à categoria foram classificados como Extra, obedecendo aos limites de tolerância de defeitos graves e leves como mostram os Quadros 10 e 11. Para as plantas cultivadas em lisímetros, prevaleceram os frutos do grupo retangular com 44%, seguido do quadrado com 30% e do cônico com 11% contra 39% de frutos do grupo retangular, 42% de quadrados e 11% de cônicos para a condição de bordadura. A identificação do subgrupo foi obtida, a partir da coloração dos frutos, predominando o subgrupo vermelho como indicado por Tivelli (1998b).

A classe e subclasse foram obtidas de acordo com medidas de comprimento e largura dos frutos. Os valores médios foram de 11 e 9 para a classe e de 6 para a subclasse, na condição de bordadura e lisímetros, respectivamente.

Quadro 10. Classificação dos frutos de pimentão (bordadura)

Data	Retan- gular	Grupo (%)		Subgrupo	Classe	Subclasse	Defeitos Graves (%) DNC*	Defeitos leves (%)		Categoria
		Quadrado	Cônico					DC*	DEF*	
07/09/99	44	44	12	Vermelho	10	6	0	0	0	Extra
14/09/99	16	69	6	Vermelho	10	6	0	0	9	I
21/09/99	0	100	0	Vermelho	10	6	0	0	0	Extra
28/09/99	26	34	33	Vermelho	12	6	0	0	7	I
04/10/99	80	0	10	Vermelho	12	6	0	10	0	I
13/10/99	69	16	13	Vermelho	12	6	0	3	0	Extra
19/10/99	17	45	25	Vermelho	12	6	2	8	3	II
26/10/99	50	50	0	Vermelho	10	6	0	0	0	Extra
03/11/99	45	22	0	Vermelho	10	4	0	33	0	III
Média	39	42	11	Vermelho	11	6	2	6	2	Extra

*DNC = Dano não cicatrizado

*DC = Dano cicatrizado

*DEF = deformado

Quadro 11. Classificação dos frutos de pimentão (lisímetros)

Data	Retan- Gular	Grupo (%)		Subgrupo	Classe	Subclasse	Defeitos Graves (%) DNC*	Defeitos leves (%)		Categoria
		Quadrado	Cônico					DC*	DEF*	
07/09/99	40	55	00	Vermelho	10	6	0	0	5	Extra
14/09/99	3	32	16	Vermelho	9	6	0	0	49	III
21/09/99	26	55	19	Vermelho	8	6	0	0	0	Extra
28/09/99	49	38	0	Vermelho	9	6	0	0	13	II
04/10/99	45	25	20	Vermelho	10	6	0	10	0	I
13/10/99	49	16	30	Vermelho	10	6	0	2,5	2,5	Extra
19/10/99	67	25	3	Vermelho	9	5	0	0	5	Extra
26/10/99	77	6	6	Vermelho	8	5	0	6	5	II
03/11/99	40	15	9	Vermelho	8	4	0	31	0	III
Média	44	30	11	Vermelho	9	6	0	6	10	Extra

*DNC = Dano não cicatrizado

*DC = Dano cicatrizado

*DEF = deformado

4.7. RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, DEMANDA HÍDRICA E COEFICIENTE DE CULTURA

A variação do índice de área foliar e da evapotranspiração de cultura encontram-se representados na Figura 28. Até o dia 02 de setembro de 1999, observou-se que o consumo hídrico da cultura aumentou, com o índice de área foliar. A partir desta data, houve decréscimo do índice de área foliar e um novo aumento deste índice enquanto o consumo de água pela cultura diminuiu até o final do ciclo, o que mostra que a evapotranspiração não depende exclusivamente do índice de área foliar mas também de outros fatores, como os de ordem meteorológica.

A evapotranspiração da cultura do pimentão para a condição de ambiente protegido, pode ser estimada com boa precisão por uma equação de regressão simples que a relaciona com o índice de área foliar ao longo do ciclo da cultura como pode ser verificado na Figura 29.

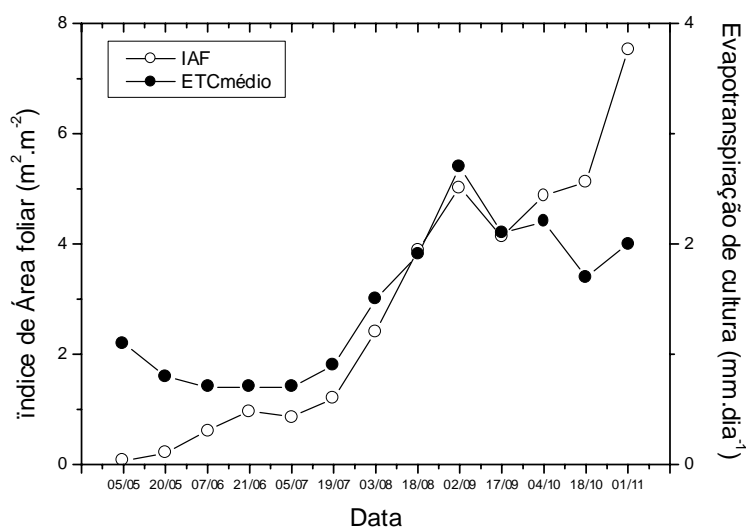


Figura 28. Variação da evapotranspiração de cultura (Etc) e do índice de área foliar (IAF).

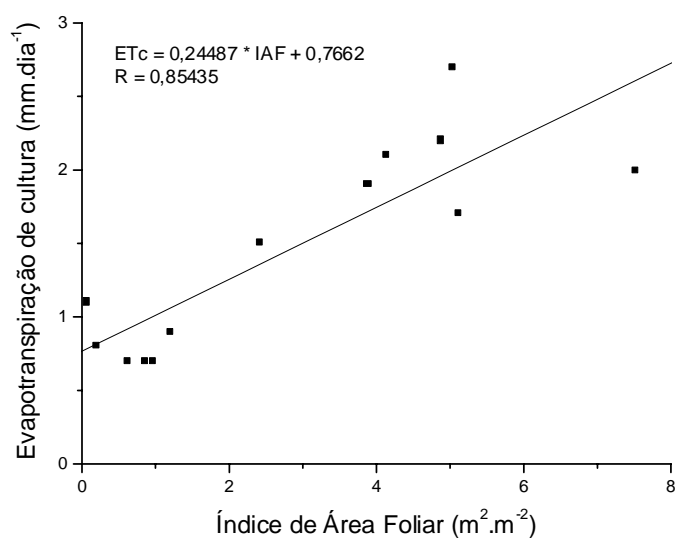


Figura 29. Relação entre o índice de área foliar e a evapotranspiração de cultura do pimentão.

Foi verificado que o índice de área foliar apresentou boa correlação com o coeficiente (K_c) da cultura de pimentão. A variação do índice de área foliar e do K_c para todo o ciclo foi apresentada na Figura 30 e na Figura 31, foi dada pela equação de regressão a estimativa do K_c em função do índice de área foliar.

As variações observadas quando se analisou o índice de área foliar e a evapotranspiração de cultura, também podem ser observadas quando se estuda o índice de área foliar e o K_c estimado pelo método de Penman-Monteith para a cultura do pimentão. O K_c aumentou com o índice de área foliar até 17 de setembro de 1999 e, a partir desta data, ocorreu um decréscimo do coeficiente de cultura e o índice de área foliar apresentou um decréscimo, voltando a aumentar até o final do ciclo.

O coeficiente de correlação da equação de regressão linear foi baixo quando se utilizaram as estimativas para o todo o ciclo como se observa na Figura 31, o que parece estar relacionado ao comportamento da curva de índice de área foliar no final do ciclo. Quando foram utilizados valores de K_c e de índice de área foliar até 150 dias após o transplante, a equação de regressão representou melhor a variação do K_c em relação ao índice de área foliar, como pode ser observado na Figura 32. O coeficiente de correlação de 0,68 assume o valor de 0,96.

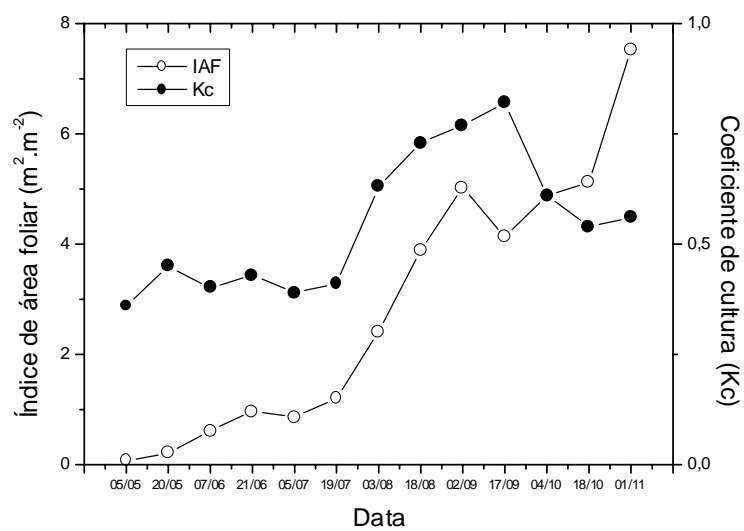


Figura 30. Variação do coeficiente de cultura (Kc) e do índice de área foliar (IAF).

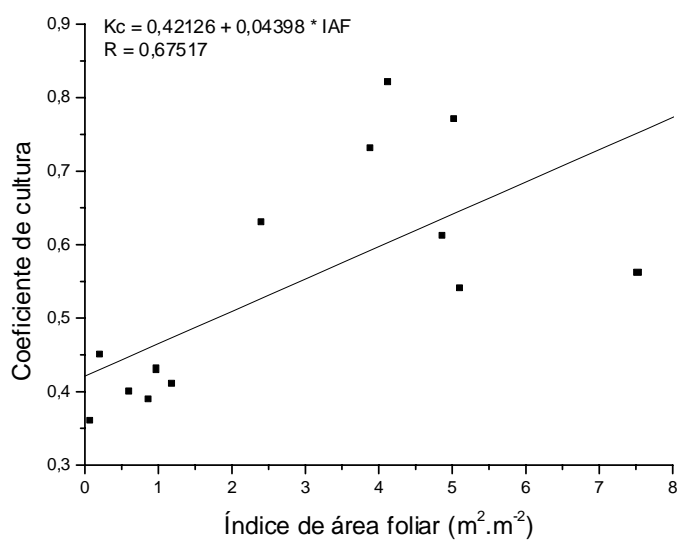


Figura 31. Relação entre IAF e o Kc da cultura do pimentão.

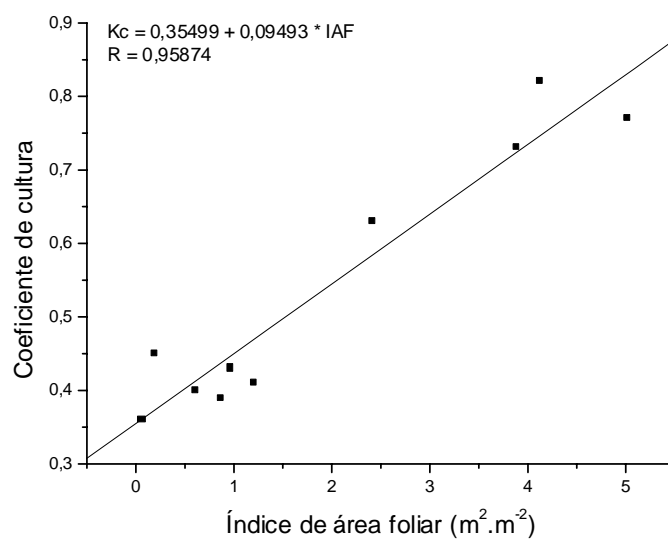


Figura 32. Relação entre Kc e índice de área foliar (IAF) até 150 dias do ciclo.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e discutidos neste trabalho, pode-se estabelecer as seguintes conclusões:

- a) O cultivo em ambientes protegidos apresenta alta eficiência de uso de água o que explica sua rápida expansão. A utilização deste tipo de ambiente pode ser uma forma de racionalizar o consumo de água, otimizando os processos de irrigação e diminuindo, portanto, os custos de aplicação de água em plantios comerciais;
- b) Para um ciclo de 198 dias, o consumo total de água pela cultura de pimentão cultivado em ambiente protegido na região de Botucatu foi de 293,5mm com média de $1,5\text{mm.dia}^{-1}$. O período de maior consumo hídrico foi observado no estágio compreendido entre o florescimento e a primeira colheita;
- c) O coeficiente de cultura variou de acordo o estágio de desenvolvimento da cultura tendo sido observados valores entre 0,4 e 0,7;
- d) As variáveis meteorológicas: temperatura do ar, radiação solar global, saldo de radiação e velocidade do vento tiveram valores menores no ambiente protegido quando comparados aos valores observados em estação meteorológica. A umidade relativa do ar apresentou

comportamento semelhante ao observado em estação meteorológica. A radiação solar difusa, apresentou em geral, valores maiores no ambiente protegido se comparados aos observados em estação meteorológica;

- e) A evapotranspiração da cultura do pimentão, cultivado em ambiente protegido para as condições de Botucatu, pode ser considerada precisa, utilizando modelos estatísticos de regressão linear simples cujas variáveis independentes foram: a radiação solar global, saldo de radiação e umidade relativa do ar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

ABOUKHALED, A., ALFARO, J.F., SMITH, M. *Los lisímetros*. FAO Estudio Riego y Drenaje Paper 392, Rome, 60p. 1986.

ABOUKHALED, A., SARRAF, S., VINK, N. Evapotranspiration in the Central Bekaa with reference to the irrigation of potatoes and onions. Liban: IRA, Magon Série Sci. n.26, 28p., 1969.

ALLEN, R.G. New approaches to estimating crop evapotranspiration. *Acta Hortic.*, Wageningen, v.335, p.287-293, 1993.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, A.L.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 1998. “não pag.”.

AL-RIahi, M., AL-KARAGHOULI, A., HASSON, A.W. Relations between radiation fluxes of greenhouse in semi-arid conditions. *Agric. For. Meteorol.*, n.44, p329-38, 1989.

¹ UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agrônômicas. *Normas para a elaboração de dissertações e teses*. Botucatu, 1997. 35p.

- ARBEL, A., SEGAL, I. YEKUTIELI, O., ZAMIR, N. Natural ventilation of greenhouses in desert climate. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 281, p.167-74, 1990.
- ARRUDA, F.B. Uso da água na produção agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. *Anais...*Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 177-99.
- ASSIS, S.V., ESCOBEDO, J.F. Radiação solar global e difusa em estufas de orientação Leste – Oeste e Norte – Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos do Jordão. *Anais...* Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. p.536-40.
- ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS AGRÔNOMOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Levantamento sobre plasticultura: resultados por DIRA e conjunto do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1995. 44p. (Mimeografado).
- AZEVEDO, P. V., COSTA J. P. R., LEITÃO, M. M. V. B. R. Medidas e estimativas da evapotranspiração numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. *Anais...* Maceió: INPE, 1989. p.134-42.
- BAER, J., SMEETS, L. Effect of relative humidity on fruit set and seed set in pepper (*Capsicum annum* L.). *Hortic. Abstracts*, v.48, n. 8, p. 645, 1978.
- BAILLE, M., LAURY, J.C., BAILLE A. Some comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental crops, using lysimeter, greenhouse H₂O balance and LVDT sensors. *Acta Hortic.*, Wageningen, n.304, p.199-208, 1992.
- BAKKER, J.C. Measurement of canopy transpiration or evapotranspiration in greenhouses by means of a simple vapour balance model. *Agric. For. Meteorol.*, v.37, p.133-41, 1986.

- BAKKER, J.C. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *J. Hortic. Sci.*, v. 65, p. 323-331, 1990.
- BARBIERI, V. *Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (Saccharum sp.)*. Piracicaba, 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BASTOS, G. A. *Determinação dos coeficientes de cultura da alface (Lactuca sativa L.)*. Botucatu, 1994. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- BATAL, K.M., SMITTLE, D.A. Response of bell pepper to irrigation, nitrogen and plant population. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, v.106, n.3, p.259-62, 1981.
- BOT, G.P.A. Greenhouse growing: outlook 2000. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 304, p. 43-47, 1992.
- BOULARD, T., JEMAA, R. Greenhouse tomato crop transpiration model application to irrigation control. *Acta Hortic.*, Wageningen, n.335, p.381-7, 1993.
- BURIOL, G.A., STRECK, N.A., PETRY, C., et al. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. *Ciênc. Rural*, v.25, n.1, p.1-4, 1995.
- CAIXETA, T.J. *Estudo comparativo entre sistemas de irrigação por sulco e gotejamento e efeito da lâmina de água e frequência de irrigação por gotejamento na cultura do pimentão*. Viçosa, 1978. 60p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa.
- CAIXETA, T.J. Irrigação nas culturas de pimentão e pimenta. *Inf. Agropecu.*, v.10, n.113, p.35-7, 1984

- CASALI, V.W.D., COUTO, F.A.A. Origem e botânica de *Capsicum*. *Inf. Agropecu.*, v.10, n. 113, p. 8-10, 1984.
- CASTILLA, N., ELIAS, F., FERERES, E. Evapotranspiracion de cultivos hortícolas en invernadero en Almeria. *Investi. Agrar.: Prod. y Prot. Veg.*, v. 5, n.1, p. 117-25, 1990.
- CERMEÑO, Z.S. Controle de atmosfera da estufa. In:_____. *Estufas: instalações e manejo*. Lisboa: Litexa, 1990. cap.11, p.283-301.
- COCHRAN, H.L. Some factors influencing growth and fruit-setting in the pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Cornel Agr. Expt. Sta. Memo* 190. 1936.
- COCKSHULL, K. Humidity and transpiration. *The Grower (Horticulture Now Supplemnt)*, England, v. 113, n. 3, p. 5-7, 1990.
- COCKSHULL, K.E., GRAVES, C.J. CAVE, C.R.J. The influence of shading on yield of glasshouse tomato. *J. Hortic. Sci.*, n.76, p.11-24,1992.
- CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., ESCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, Botucatu. *Anais...* Botucatu: FCA-UNESP, 1999. p. 487-91
- CURY, D. M., OMETTO, J. C., KIMOTO, T. Demanda hídrica na cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, 1987, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p.163-75.
- CURY, D.M., VILLA NOVA, N.A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Científica, São Paulo*, v. 17, 109-19, 1989.

- CURY LUNARDI, D. M., LAPERUTA FILHO, J., KROLL, L. B. Comparação entre valores de evapotranspiração estimada pelo método Penman-FAO e medidos com lisímetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.704-6.
- 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. *Rev. Bras. de Agrometeorol.*, Santa Maria, v.5, p. 61-7, 1997.
- DE GRAAF, R., VAN DEN ENDE, J. Transpiration and evapotranspiration of the glasshouse crops. *Acta Hortic., Wageningen*, v. 119, p. 147-58, 1981.
- DE VILLELE, O. Besoins en eau des cultures sous serres – Essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. *Acta Hortic., Wageningen*, v. 35, p. 123-9, 1972.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2000. 221p..
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. *Necessidades hídricas das cultura*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204p.
- ELIADES, G., ORPHANOS, P.I. Irrigation of tomatoes grown in unheated greenhouses. *J. Hortic. Sci.*, v. 61, n.1, p. 95-101, 1986.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO *Manual de método de análise do solo*. CNPS, Rio de Janeiro, 1997.212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. CNPS, Rio de Janeiro, 1999, 412p.

- ENCARNAÇÃO, C. R. F. *Estudo da demanda de água do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) cv. Goiano Precoce*. Piracicaba, 1980. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- ENCARNAÇÃO, C. R. F. *Exigências hídricas e coeficientes culturais de batata (Solanum tuberosum L.)*. Piracicaba, 1987. 62p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- FARIA, R.T., COSTA, A.C.S. *Tensiômetro: construção, instalação e utilização; um aparelho simples para se determinar quando irrigar*. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1987. 22p. (IAPAR Circular, 56).
- FARIAS, J.R.B. Manejo da irrigação associado ao uso de coberturas plásticas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) *Agrometeorologia aplicada a irrigação*. Porto Alegre: Ed. Universidade, 1992. 125p.
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R., BERLATO, M.A. . Efeito da cobertura plástica sobre a radiação solar. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v.1, n.1. p.31-36. 1993.
- FERREYRA, R.E. et al. Efecto de diferentes alturas de água sobre el cultivo del pimiento (Capsicum annum L.). II. Relacion agua-rendimento. *Agric. Téc. Santiago*, v.45, p. 235-9, 1985.
- FILGUEIRA, F.A.R. *Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças*. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. v.1, 338p.
- FILGUEIRA, F.A.R. *Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças*. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. v.2, 587p.

- FOLEGATTI, M.V., SCATOLINI, M.E., PAZ, V.P.S., PEREIRA, A.R., FRIZZONE, J.A.
Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, v.5, n.2, p. 155-63, 1997.
- FRISINA, V.A., ESCOBEDO, J.F. Aplicação de um albedômetro no balanço de radiação da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) em estufa de polietileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10. 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.210-12.
- FYNN, R.P., SHOOSHAN, A., SHORT, T.H. et al. Evapotranspiration measurements and modeling for potted chrysanthemum crop. *Am. Soc. Agric. Eng.*, v.36, n.6, p.1907-17, 1993.
- GALVANI, E. DANTAS, R.T., ESCOBEDO, J.F. ESCOBEDO, J.F., GUANDIQUE, M.E.G.
Balanço de energia em cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) em condições de estufa com orientação Leste – Oeste e Norte – Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p.500-2.
- GARDNER, W.R. Water content. *Methods of Soil Analysis*. Am. Soc. Agr. Monograph, n.9, p. 87-127, 1965.
- GISLERÖD, H.R., SELMER-OLSEN, A.R., MORTENSEN, L.M. The effect of air humidity on nutrient uptake of some greenhouse plants. *Plant Soil*, n.102, p.193-196, 1987.
- HANAN, J.J. The influence of greenhouse on internal climate with special reference to Mediterranean regions. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 287, p.23-4, 1990.
- HARTZ, T.K. Water management in drip-irrigated vegetable production. *HortTechnology*, v.6, n.3, p. 165-7, 1996.

- HEIZMANN, C.J., ANDRIOLLO, J.L. Evaporação da água no interior e exterior da estufa de polietileno. 2. Evaporação medida no tanque Classe A. In: JORNADA DE PESQUISA DA UFSM, 1, 1991, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1991. p.80.
- HILL, R.W., ALLEN, L.N. Water table lysimeter data interpretation. In: ALLEN, R.G., HOWELL, T.A., PRUITT, W.O., WALTER, I.A., JENSEN, M.E. *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 254-63.
- JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. (Ed.) *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1990. 332p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 70).
- JENSEN, M.E., WRIGHT, J.L., PRATT, B.J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.15, n.5, p.954-959, 1971.
- JOLLIET, O. Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. *J. Agric. Eng. Res.*, n.57, p.23-37,1994.
- JOLLIET, O., BAILEY, B. The effect of climate on tomato irrigation in greenhouses: measurements and models comparison. *Agric. For. Meteorol.*, Amsterdam, v.58, p. 43-62, 1992.
- JONES, H.G. *Plants and microclimate*. 2.ed. Cambridge: University Press. 1992. 429p.
- KHAN, B.R., MAINUDDIN, M., MOLLA, M.N. Design, construction and testing of a lysimeter for a study of evapotranspiration of different crops. *Agric. Water Manage.*, v. 23, p. 183-97, 1993.

- KIRDA, C., CEVIK, B. TÛLÛCÛ, K. A simple method to estimate the irrigation water requirement of greenhouse grown tomato. *Acta Hortic.*, Wageningen, n.366, p.373-80, 1994.
- KLOSOWSKI, E.S., CURY LUNARDI, D.M., SANDANIELO, A. Determinação do consumo de água e do coeficiente de cultura da abbora na Região de Botucatu, SP. *Ver. Bras. Eng. Agric. e Ambiental*, v.3, p.409-12, 1999.
- KOZAI, T. Direct solar light transmission into single-span greenhouses. *Agric. Meteorol.*, v.18, p. 327-38, 1977.
- KOZAI, T., HAYASHI, M. SUZUKI, H. WATANABE, L. Effects of environmental factors on evapotranspiration of greenhouse cucumber crops in hydroponic culture. *J. Agric. Meteorol.*, v. 38, n.2, p. 153-9, 1982.
- KURATA, K. Role of reflection in light transmissivity fo greenhouses. *Agric. For. Meteorol.*, n.52, p. 319-31, 1990.
- LAKE, J.V., POSTLETHWAITE, J.D. SLACK, J., EDWARDS,.R.I. Seasonal variation in the transpiration of glasshouse plants. *Agric. Meteorol.*, v.3, p. 187-96, 1966.
- LEON, M., MONTALVO, M. Evapotranspiracion maxima y real del pimiento. *Cienc. Tec. Agric. Riego Drenaje*. v.9, n.2, p.7-18, 1986.
- LOPEZ MOSQUERA, M.E., MARTINEZ CORTIZAS, A.M. Water balance in greenhouses under polyethylene over: first results for Galicia (NW Spain). *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 335, p. 421-27, 1993.
- MARTALERZ, J.W. *The greenhouse environment*. New York: John Willey, 1977. 629p.

- MARTIN, E.C., NOVO, A.A.C., GOMES, S.J. Estudio comparativo de las propiedades de diversos materiales como cubierta em cultivos protegidos. *Rev. Plásticos Modernos*, n.308, p.185-9, 1982.
- MARTINEZ GARCIA, P.F. *Características climáticas de los invernaderos de plástico*. Madrid: Instituto Nacional de Invetigaciones Agrária, 1978, 48p. (Hojas técnicas, 19)
- MARTINEZ-RAYA, A., CASTILLA, N. Evapotranspiracion del pimiento en invernadero en Almeria. *ITEA: Produccion Vegetal*, n.85, p.57-62, 1989.
- MARTINS S.R., GONZALEZ, J.F. Evapotranspiração e respostas fisiológicas do feijão-vagem cultivado em substrato em estufa com sistema de ventilação/calefação. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v.3. p. 31-7, 1995.
- MEDEIROS, J.F. *Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão*. Piracicaba, 1998. 152p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- MELO, A.M.T. *Análise genética de caracteres de fruto em híbridos de pimentão*. Piracicaba, 1997. 112p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- MINAMI, K. Pesquisa em plasticultura no Brasil. In: ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS AGRÔNOMOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Programa de plasticultura para o Estado de São Paulo*. São Paulo, 1995. p. 108-9.
- MONTERO, J.L., CASTILLA, N. GUTIERREZ DE RAVÉ, E., BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria. *Acta Hortic.*, Wageningen, v. 170, p.227-34, 1985.
- MORRIS, L.G., NEALE, F.E., POSTLETHWAITE, J.D. The transpiration of glasshouse crops and its relationship to climate factors. *J. Agri. Eng. Res.*, v.2, n.2, p.111-22, 1957.

- NELSON, P.V. *Greenhouse: operation and management*. 4.ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991. 612p.
- OKUYA, A., OKUYA, T. The transpiration of greenhouse tomato plants in rockwool culture and relationship to climate factors. *Acta Hortic., Wageningen*, n.230, p.307-11, 1988.
- PÁDUA, J.G., CASALI, V.W.D., PINTO, C.M.F. Efeitos climáticos sobre pimentão e pimenta. *Inf. Agropecu.*, v.10, n.113, p.11-3, 1984.
- PANELO, M. Adaptabilidad de cultivares de pimiento a condiciones de cultivo protegido. *Hortic. Bras.*, v.13, n.1, 1995.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of Royal Society, London*, v.193, p.120-145, 1948.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., PEREIRA, A.S., BARBIERI, V. A model for the class A pan coefficient. *Agric. For. Meteorol.*, v. 76, p. 75-82, 1995.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PEREIRA, E.C. *Avaliação do crescimento e produtividade de pimentão amarelo (Capsicum annuum L.) sob diferentes potenciais matriciais de água no solo e em condições de casa de vegetação*. Botucatu, 1995. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- PERES, J.G., SCÁRDUA, R., VILLA NOVA, N.A. Coeficiente de cultura (kc) para cana-de-açúcar: ciclo de cana soca. *Álcool e Açúcar*, v. 62, p. 34-42, 1992.

- PERES, J.G. *Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Estado de São Paulo*. Piracicaba, 1994. 116p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- PUECH, J. , HERNANDEZ, M. Différentes cultures et étude de quelques facteurs influençant les rythmes de consommations. *Ann. Agron.*, Paris, v.24, p.437-55, 1973.
- REISSER JÚNIOR, C. *Evapotranspiração de alface em estufa plástica e ambiente natural*. Santa Maria, 1991. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal de Santa Maria.
- RHOADS, F.M. Redistribution of fertilizer salts in soil columns after leaching with water. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* v. 30, p.298-304, 1970.
- RILSKY, L. Effect of the early environment on flowering in pepper (*Capsicum annum* L.). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, v.97, p.948-51, 1972.
- ROBELIN, E. Evaporation réelle des différents couverts végétaux bien alimentés en eau et ETP. Determination Experimentale. *Ann. Agron.*, Paris, v.13b, p.493-522, 1962.
- ROBLEDO, F.P., MARTIN, L.V. *Aplicacion de los plásticos en la agricultura*. 2. ed., Madrid. Mundi-Prensa,1981. 552p.
- SADE, A. *Curso de plasticultura e fertirrigação*. Piracicaba: Departamento de Horticultura, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1994. 351p. (Mimeografado).
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Programa paulista para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. *Classificação de pimentão*. São Paulo, 1998. “não pág.” (folheto)

- SCHNEIDER, F.M., BURIOL G.A., ANDRIOLO J.L., ESTEFANEL, V., STRECK, N.A.
Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v. 1, n. 1, p. 37-42, 1993.
- SCHOCH, P.G. Effects of shading on structural characteristics of the leaf and yield of fruit in *Capsicum annum* L. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, v.97, n.4, p.446-64, 1972.
- SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: SEEMAN, J. et al. *Agrometeorology*. New York. Springer-Verlag, 1979. p. 167-78
- SGANZERLA, E. *Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos*. 6.ed. Guaíba: Agropecuária, 1997. 342p.
- SIRJACOBS, M. DADA OULD, O. Irrigation localiséé d'une culture de proivrous sours serre en región aride. Approche pratique de la gestion des apports d'eau. *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, v.18, n.2, p. 137-48, 1983.
- SIVIERO, P., GALLERANI, M. *La coltivazione del pepperone*. Verona: Edizioni L'Informatore Agrario, 1992. 217p.
- SLATYER, R. O. *Plant water relationships*. New York: Academic Press, 1967. 366p.
- SLATYER, R.O., McILROY, I.C. *Pratical climatology*. Melborne: CSIRO, 1961. 340p.
- SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requiriments. Rome: FAO. 1991, 42p.

- SOUZA, J. L., SILVA, M. A. V. Evapotranspiração da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, 1985, Londrina. *Anais...* Londrina: IAPAR, 1985. p.24-32.
- STANGHELLINI, C. Crop transpiration: A greenhouse climate control parameter. *Acta Hortic., Wageningen*, n.245, p.384-88, 1989.
- STANGHELLINI, C. Estimation of energy requirements for evaporation in greenhouses. *Acta Hortic., Wageningen*, v. 115, p.693-9, 1981.
- STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouses with special reference to Mediterranean conditions. *Acta Hortic., Wageningen*, v. 335, p. 295-304, 1993.
- SUTO, K., ANDO, T. The effect of atmospheric humidity and soil moisture contents on plant water status and on growth of weet peppers and tomato. *Horticultural Abstracts*, v.47, n.3, p. 244, 1977.
- TANNER, C.B., JURY, W.A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during during incomplete cover. *Agron. J.*, v.68, p.239-42, 1976.
- TEODORO, R.E.F., OLIVEIRA A.S., MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa-de-vegetação. *Sci. Agric., Piracicaba*, v. 50, n.2, p.237-43, 1993.
- TERRY, D.L., McCANTS, C.B. *Estimating the leaching of ammonium and nitrate nitrogen, potassium, and magnesium in certain North Carolina soils*. North Carolina Agricultural Experiment Station. (Technical Bulletin, 221), 1973.
- TIVELLI, S.W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: GOTO, R., TIVELLI, S.W. *Produção de hortaliças em ambientes protegidos: condições tropicais*. São Paulo: Editora da UNESP, 1998a. p.15-30.

- TIVELLI, S.W. A cultura de pimentão. In: GOTO, R., TIVELLI, S.W. *Produção de hortaliças em ambientes protegidos: condições tropicais*. São Paulo: Editora da UNESP, 1998b. p.225-56.
- TIVELLI, S.W. *Sistemas de cultivo na cultura do pimentão (Capsicum annuum L.) vermelho em ambiente protegido*. Botucatu, 1999. 157p. Tese (Doutorado em Agronomia /Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista.
- VAN DER POST, C.J., VAN SCHIE, J.J., DE GRAAF, R. Energy balance and water supply in glasshouse in the West-Netherlands. *Acta Hortic., Wageningen*, v. 35, p. 13-22, 1974.
- VANDERWERKEN, J.E., WILCOX-LEE, D. Influence of plastic mulch and type and frequency of irrigation on growth and yield of bell pepper. *HortScience*, v.20, p.985-8, 1988.
- VILLA NOVA, N.A. *Principais métodos climáticos de estimativa da aplicação de água de irrigação*. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia-ESALQ, 1987. 22p.
- WREGGE, M. S. *Determinação do coeficiente de cultivo da cultura do crisântemo (Chrysanthemum morifolium Ramat. var. Polaris amarelo)*. Botucatu, 1995. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. *J. Irrigation Drainage Division*. ASCE, v. 108, p.57-74, 1982.
- WRIGHT, J.L. Evapotranspiration and irrigation water requirements. *Advances in evapotranspiration*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 105-13, 1985.

YANG, X. Greenhouse micrometeorology and estimation of heat and water vapour fluxes. *J. Agric. Eng. Res.*, v.61, p. 227-38, 1995

YANG, X. SHORT, T.H., FOX, R.D., BAUERLE, W.L. The microclimate and transpiration of a greenhouse cucumber crop. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.32, p.2143-50, 1989.

ZHANG, L. LEMEUR, R. Effect of aerodynamic resistance on energy balance and Penman-Montheith estimates of evapotranspiration in greenhouse conditions. *Agric. For. Meteorol.*, v.58, p. 209-28, 1992.