

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA  
DE CRISÂNTEMO EM ESTUFA A PARTIR DE  
ELEMENTOS METEOROLÓGICOS**

**MARCOS EDUARDO SCATOLINI**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. MARCOS VINICIUS FOLEGATTI

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade  
de São Paulo, para obtenção de título de  
Mestre em Agronomia, Área de Concentração:  
Irrigação e Drenagem.

**PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Setembro - 1996**

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, pela colaboração e atenção sempre dispensada.

Em especial ao prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti por ter compartilhado de todo o processo de elaboração desse trabalho sempre com muita dedicação e amizade.

Ao prof. Dr. Antonio Roberto Pereira, do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, pela total disponibilidade para esclarecer dúvidas, pela orientação e sugestões

Ao Acadêmico Alexandre Ferreira Develey, estagiário do Departamento de Engenharia Rural, pelo auxílio na condução dos trabalhos de campo.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem por toda a colaboração na execução deste trabalho e pelo convívio sempre enriquecedor.

À empresa GHF-Ambiental, pela cessão de equipamentos para monitoramento do ambiente.

À empresa Schoenmaker-Van Zanten Agrifloricultura Ltda., pela cessão da área onde foi conduzido o ensaio.

# SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	vii
RESUMO .....	ix
SUMMARY.....	xi
<b>1 . INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1. A CULTURA DO CRISÂNTEMO .....	3
2.2. ELEMENTOS METEOROLÓGICOS.....	5
2.2.1. <i>Temperatura do ar</i> .....	5
2.2.2. <i>Umidade relativa do ar</i> .....	6
2.2.3. <i>Radiação solar global</i> .....	7
2.3. EFEITO DA COBERTURA PLÁSTICA SOBRE OS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS.....	9
2.3.1. <i>Temperatura do ar</i> .....	9
2.3.2. <i>Umidade relativa do ar</i> .....	10
2.3.3. <i>Radiação solar global</i> .....	11
2.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ESTUFAS .....	12
<b>3 . MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
3.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL E CULTURA .....	18
3.2. MONITORAMENTO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	19
3.2.1. <i>Dentro da estufa</i> .....	19
3.2.2. <i>Fora da estufa</i> .....	23
3.2.3. <i>Outros equipamentos</i> .....	24
3.3. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO.....	25
3.4. AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO .....	28
3.5. MANEJO DA IRRIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA.....	29
3.6. COLETA DE DADOS .....	31
3.7. MODELAGEM MATEMÁTICA .....	33

<b>4 . RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
4.1. INFORMAÇÕES COLETADAS .....	35
4.3. EFEITO DA COBERTURA PLÁSTICA SOBRE OS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS....	43
4.3.1. <i>Radiação solar global</i> .....	43
4.3.2. <i>Temperatura do ar</i> .....	44
4.3.3. <i>Umidade relativa do ar</i> .....	49
4.4. REGRESSÕES LINEARES MÚLTIPLAS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	52
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>6 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1- Ilustração em corte do lisímetro.....	21
Figura 2 - Detalhe da estrutura de sustentação do lisímetro .....	21
Figura 3 - Calibração do lisímetro de pesagem em laboratório .....	22
Figura 4 - Calibração do lisímetro de pesagem .....	23
Figura 5 - Curva de retenção da água no solo .....	26
Figura 6 - Teste 1 de infiltração de água no solo.....	27
Figura 7 - Teste 2 de infiltração de água no solo.....	27
Figura 8 - Evolução do índice de área foliar do crisântemo.....	31
Figura 9 - Potencial da água no solo, em 3 profundidades.....	42
Figura 10 - Relação entre a radiação solar global externa e interna total diária. ....	44
Figura 11 - Temperaturas médias do ar determinadas externamente e internamente.....	45
Figura 12 - Temperaturas máximas do ar determinadas externamente e internamente.....	45
Figura 13 - Temperaturas mínimas do ar determinadas externamente e internamente.....	46
Figura 14 - Relação entre as temperaturas médias do ar externas e internas. ....	47
Figura 15 - Relação entre as temperaturas máximas do ar externas e internas. ...	48
Figura 16 - Relação entre as temperaturas mínimas do ar externas e internas. ....	48
Figura 17 - Relação entre as umidades relativas do ar médias externas e internas.....	50
Figura 18 - Relação entre as umidades relativas do ar máximas externas e internas. ....	50
Figura 19 - Relação entre as umidade relativas do ar mínimas externas e internas. ....	51
Figura 20 - Umidades relativas do ar médias determinadas externamente e internamente.....	52
Figura 21 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1). ....	58
Figura 22 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1). ....	58

Figura 23 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	59
Figura 24 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	59
Figura 25 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	60
Figura 26 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	60
Figura 27 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	61
Figura 28 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	61
Figura 29 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	62
Figura 30 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	62
Figura 31 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	63
Figura 32 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	63
Figura 33 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	64
Figura 34 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (---- regressão; — 1:1). .....	64

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1 - Análise granulométrica do solo .....	25
Tabela 2 - Condutividade hidráulica e densidade global do solo .....	26
Tabela 3 - Coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação por aspersão	29
Tabela 4 - Coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação por gotejamento.....	29
Tabela 5 - Elementos meteorológicos monitorados dentro da estufa.....	36
Tabela 6 - Elementos meteorológicos monitorados fora da estufa.....	38
Tabela 7 - Modelos de estimativa da evapotranspiração a partir de dados externos à estufa.....	54
Tabela 8 - Modelos de estimativa da evapotranspiração a partir de dados do interior da estufa. ....	55
Tabela 9 - Índice de concordância (d) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as equações a partir de dados externos à estufa. ....	56
Tabela 10 - Índice de concordância (d) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as equações que utilizaram dados do interior da estufa. ....	57

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- $\Delta_e$  - deficit de saturação de vapor (kPa)  
CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen (%)  
d - índice de concordância de Willmott  
DAP - dias após o plantio (dias)  
DPV - deficit de pressão de vapor (kPa)  
 $e_a$  - pressão parcial atual de vapor (kPa)  
 $e_s$  - pressão parcial de saturação de vapor (kPa)  
ET - evapotranspiração atual (mm)  
ETL - evapotranspiração determinada pelo lisímetro (mm)  
IAF - índice de área foliar ( $m^2/m^2$ )  
PEBD - polietileno de baixa densidade  
 $R^2$  - coeficiente de determinação  
 $r_a$  - resistência aerodinâmica (s/m)  
 $r_c$  - resistência da cultura (s/m)  
RG - radiação solar global ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ )  
RGE - radiação solar global externa ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ )  
RGI - radiação solar global interna ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ )  
RN - radiação líquida ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ )  
T - Temperatura ( $^{\circ}C$ )  
TEMAE - temperatura do ar máxima externa ( $^{\circ}C$ )  
TEMAI - temperatura do ar máxima interna ( $^{\circ}C$ )  
TEMEE - temperatura do ar média externa ( $^{\circ}C$ )  
TEMEI - temperatura do ar média interna ( $^{\circ}C$ )  
TEMIE - temperatura do ar mínima externa ( $^{\circ}C$ )  
TEMII - temperatura do ar mínima interna ( $^{\circ}C$ )  
UR - umidade relativa do ar (%)  
URMAE - umidade relativa do ar máxima externa (%)



**URMAI** - umidade relativa do ar máxima interna (%)

**URMEE** - umidade relativa do ar média externa (%)

**URMEI** - umidade relativa do ar média interna (%)

**URMIE** - umidade relativa do ar mínima externa (%)

**URMII** - umidade relativa do ar mínima interna (%)

**VIB** - velocidade de infiltração básica (cm/min)

# ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DE CRISÂNTEMO EM ESTUFA A PARTIR DE ELEMENTOS METEOROLÓGICOS

Autor: MARCOS EDUARDO SCATOLINI

Orientador: Prof. Dr. MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

## RESUMO

Temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar global foram determinadas dentro e fora de uma estufa com a cultura de crisântemo. Também foi medido o índice de área foliar (IAF) e monitorado o consumo de água pela cultura através de um lisímetro de pesagem.

A partir dessas informações, foram analisados os efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e desenvolvidos modelos empíricos para a estimativa da evapotranspiração atual da cultura.

Os resultados mostraram que a cobertura plástica alterou a quantidade de radiação global no interior da estufa, com valores médios próximos a 63% do total da radiação global determinada externamente.

A temperatura do ar interna apresentou valores médios superiores aos externos, com valores 14,8% superiores para a temperatura máxima, enquanto que a temperatura média e mínima apresentaram valores 8,5% e 5,9% superiores aos externos.

Quanto à umidade relativa, observou-se maior variação da umidade relativa do ambiente interno, com valores entre -15% e +10% quando comparados aos do ambiente externo. Essa variação provavelmente ocorreu devido ao manejo de cortinas laterais, alterando as condições de troca com o ambiente externo.

Para os modelos de estimativa da evapotranspiração, observou-se que os que utilizaram os elementos meteorológicos determinados no interior da estufa apresentaram melhores resultados. Não há muita diferença entre os modelos mais completos, que utilizaram informações de radiação global, temperatura, umidade relativa e índice de área foliar e o modelo que utilizou apenas a radiação global e o índice de área foliar. Porém, os modelos que utilizaram os elementos meteorológicos determinados externamente, apresentaram resultados inferiores e grande variação nas estimativas.

Os modelos que utilizaram os elementos determinados externamente para a estimativa da evapotranspiração, apresentaram variação de +15% a +18% para o total da evapotranspiração estimada no período, enquanto que os modelos que utilizaram os elementos determinados internamente apresentaram variação de +2% a +3% para o total da evapotranspiração estimada em relação à determinada pelo lisímetro de pesagem.

Tais resultados permitem concluir que é possível estimar a evapotranspiração e orientar o manejo da irrigação a partir de elementos meteorológicos determinados no interior da estufa. Porém, para os elementos meteorológicos determinados externamente, o manejo da estufa pode alterar as condições internas impossibilitando a estimativa precisa da evapotranspiração.

# GREENHOUSE EVAPOTRANSPIRATION OF CRISANTEMUM CROP ESTIMATES THROUGH WEATHER ELEMENTS

Author: MARCOS EDUARDO SCATOLINI

Adviser: Prof. Dr. MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

## SUMMARY

The air temperature, relative humidity (RH) and global solar radiation were determined inside and outside a greenhouse with a crisantemum crop. The crisantemum leaf area index (LAI) was measured, and the crop water consumption was also determined through a weighting lysimeter.

From these observations, the effects of a plastic covering were analysed upon the meteorological elements and empirical models were developed to estimate the crop current evapotranspiration.

The results showed that the plastic covering modified the amount of global radiation inside the greenhouse, with average values of 63% of the total global radiation determined outside the greenhouse.

The determined inhouse air temperature showed average values higher than the outside counterparts. With respect to the maximum daily air temperature, the observed difference was 14,8% higher inside. The daily average and the minimum temperature were respectively 8,5% and 5,9% higher than the outside temperature.

Regarding the relative humidity, it was observed a higher variation of the corresponding internal RH as compared with the external. Such variation goes from -15% to +10% of the external RH. This variation probably was due to lateral screens handling, which modified the exchange conditions with the external environment.

It was observed that the evapotranspiration models based on the inside determined weather elements showed better results. There are no big differences between the more complete models that used global radiation information, air temperature, relative humidity and leaf area index as compared with the model that used only global radiation and leaf area index. However, it was observed that models that used outside weather elements showed worse results and greater evapotranspiration estimate variation.

The models that used outside weather elements, showed variations between +15% and +18% for the total amount of evapotranspiration in the same period. Models that used inhouse weather elements showed variations between +2% and +3% for the total amount of the estimated evapotranspiration within the same period as compared with the weighing lysimeter measurements.

Such results allow the conclusion that it is possible estimate the evapotranspiration and to adequate adjust the irrigation handling based on the inside weather elements determined inhouse. The outside weather elements determined showed variations that do not allow accurate evapotranspiration estimates.

## 1 . INTRODUÇÃO

O estado da água na planta é provavelmente o mais importante fator a ser controlado com o objetivo de maximizar a produção e qualidade dos produtos agrícolas. Em culturas de campo, o suprimento de água representa o único meio de controle do estado da água. Em culturas de estufa, é possível controlar não somente o suprimento de água mas também o consumo de água (transpiração) através de sistemas de controle climático, podendo-se alterar os elementos climáticos como a umidade a temperatura e a radiação solar global, que são as principais forças propulsoras da transpiração em ambientes protegidos.

Em sistemas de cultivo em estufas o manejo do microclima (controle do consumo de água) interage fortemente com o manejo do suprimento de água. Consequentemente, são possíveis estratégias de controle muito mais elaboradas que no campo.

O controle eficiente do suprimento e consumo de água em estufas necessita que informações do microclima, planta e solo sejam fornecidas para que a tomada de decisão seja adequada. Deste modo, a obtenção de dados climáticos por sensores, que fornecem informações diretas e indiretas sobre o sistema solo-planta-atmosfera, e a utilização de microprocessadores, possibilitam o monitoramento dessas condições em tempo real, agilizando o processo de tomada de decisão.

Observa-se atualmente, por parte dos agricultores mais tecnificados, grande preocupação em monitorar e controlar o ambiente e a irrigação no interior de estufas, principalmente devido às nossas condições tropicais com temperaturas elevadas e altos níveis de umidade relativa em certas épocas do ano e também devido a problemas de salinização do solo que podem comprometer a produção. No entanto, poucas são as informações disponíveis sobre os efeitos da cobertura plástica nos níveis de radiação solar global, temperatura e umidade do ar e de sua influência no consumo de água e desenvolvimento das culturas.

O objetivo do presente trabalho é determinar a influência dos elementos microclimáticos no consumo de água pela cultura de crisântemo conduzida em estufa, possibilitando a estimativa da evapotranspiração atual através de equações empíricas e contribuindo com informações em relação à influência da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos.

## 2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### ***2.1. A cultura do crisântemo***

O gênero *chrysanthemum*, originário do Japão, foi introduzido no ocidente há cerca de 200 anos. Atualmente é muito cultivado no Brasil, sendo que o cultivo em vaso ocupa o primeiro lugar no mercado, respondendo por aproximadamente 80% do total. Com relação ao cultivo chamado “de corte”, ocupa o segundo lugar, sendo superado apenas pela cultura da rosa.

O crisântemo é considerado uma planta de dias curtos, com período crítico de 13 horas de iluminação. Assim, quando exposto à luz por períodos superiores de 13 horas ocorre o crescimento vegetativo e, quando exposto por períodos inferiores a 13 horas diárias, é induzido o florescimento. Essa sensibilidade à luz varia entre espécies e variedades.

O fornecimento artificial de luz é utilizado principalmente no sistema de produção de mudas, pois a produção de flores é indesejável, sendo feito através de lâmpadas incandescentes comuns ao longo dos canteiros de plantio.

Além do comprimento do dia, influenciam também no crescimento e florescimento do crisântemo elementos como a temperatura, umidade relativa e quantidade de CO<sub>2</sub>. Quanto à temperatura do ar, pode-se dizer que o nível



ótimo para o crescimento está em torno de 21°C a 24 °C, sendo que temperaturas inferiores a 20 °C, prejudicam o processo de desenvolvimento de raízes. O suprimento de CO<sub>2</sub> influi diretamente no crescimento, uma vez que é um dos reagentes no processo de fotossíntese. Quando não há restrições de ordem hídrica e energética, o CO<sub>2</sub> torna-se o fator limitante da fotossíntese, sendo que em alguns casos pode ser viável a aplicação dessa substância no ambiente (Langhans & Dreesen, 1990).

O crisântemo pode ser cultivado em qualquer época do ano. O manejo das plantas matrizes é feito da seguinte forma: as mudas, feitas a partir de estacas pré-enraizadas, são plantadas em canteiros; uma semana após o plantio, faz-se o desponte manual, com o intuito de quebrar a dominância apical, ficando a planta com 5 folhas; ao fim de três semanas a partir do desponte, começa a colheita das mudas. A primeira colheita é a mais produtiva, com uma média de 2 a 3 mudas por planta, ocorrendo uma queda abrupta na segunda colheita. A partir dessa segunda colheita, ocorre uma retomada na produtividade, obtendo-se cerca de 1 a 1,5 mudas/semana/planta. O ciclo total varia entre 15 a 20 semanas, época em que o matrizeiro se encontra bastante desenvolvido (30 a 40 cm), saindo então de produção.

O que geralmente se faz em propriedades comerciais é o escalonamento do plantio durante o ano, para que seja possível a obtenção de mudas durante todo o período de exigência do mercado.

Essa cultura, embora também cultivada em condições de campo, é preferencialmente conduzida em condições climáticas controladas, ou seja, em casas de vegetação ou estufas.

## **2.2. Elementos meteorológicos**

Segundo Villa Nova (1987), 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 de vento, e quanto menor for a umidade relativa, maior deverá ser a taxa de evaporação/evapotranspiração.

Estudando o efeito de alguns elementos meteorológicos na estimativa da evapotranspiração, Berlato & Molion (1981) caracterizaram a importância relativa da radiação líquida, umidade relativa e velocidade do vento sobre o processo da evapotranspiração, estabelecendo a respectiva ordem de grandeza para estes elementos: 80:6:14, evidenciando o principal efeito da radiação solar global.

### **2.2.1. Temperatura do ar**

Os processos de transpiração e fotossíntese respondem diretamente à temperatura da folha e são indiretamente afetados pela reação estomática. A transpiração, em geral, aumenta com a temperatura, a menos que o estresse hídrico cause suficiente fechamento estomático que reverta esta tendência.

A temperatura das folhas é dependente da radiação absorvida, temperatura do ar e umidade relativa (Gates & Papain, 1971). O efeito da temperatura do ar na temperatura das folhas é duplo. A temperatura do ar não apenas fornece a referência à qual a temperatura das folhas tendem, mas

também sua elevação aumenta o deficit de pressão de vapor, aumentando a perda de calor latente, fazendo com que haja um diferencial entre a temperatura da folha e do ar. Portanto a temperatura do ar, interferindo na temperatura das folhas, indiretamente interfere nos processos metabólicos e na transpiração da cultura (Jones, 1992).

Embora a maioria das reações metabólicas sejam fortemente influenciadas pela temperatura, alguns processos físicos, como a absorção de luz, são relativamente insensíveis e a taxa de difusão é intermediária em sensibilidade (Jones, 1992).

### 2.2.2. Umidade relativa do ar

Pela lei de Dalton, das pressões parciais, sabe-se que numa mistura gasosa cada gás exerce uma pressão parcial independente da presença dos demais gases. Portanto, o vapor d'água contido num recipiente exerce o que se chama de pressão parcial de vapor. Quando a pressão parcial atual de vapor ( $e_a$ ) é menor que a pressão parcial de saturação ( $e_s$ ) diz-se que existe um deficit de saturação de vapor ( $\Delta_e$ ) que é representado pela diferença ( $e_s - e_a$ ). Aumentando-se a temperatura aumenta-se a capacidade de retenção de água pelo ar devido ao aumento do nível energético das moléculas. O ar funciona, então, como um reservatório que se expande ou contrai com o aumento ou decréscimo, respectivamente, da temperatura (Pereira, 1994).

Como consequência, a cada temperatura o ar apresenta diferente pressão parcial de saturação, que pode ser descrita pela eq. (1):

$$e_s = 0,61 \exp [ 17,269 T / (237,3 + T)] \quad (1)$$

onde T é a temperatura em °C.

Nota-se que a capacidade da atmosfera em reter umidade aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura.

A umidade relativa é determinada pela relação entre a pressão parcial atual de vapor e a de saturação de vapor, conforme eq. (2):

$$UR\% = 100 e_a/e_s \quad (2)$$

A umidade relativa do ar pode afetar a evapotranspiração pelas interações com a fotossíntese e produção de matéria seca afetando o desenvolvimento do índice de área foliar ou por mudanças na condutância estomática (Jolliet, 1994).

Gisleröd *et al.* (1987) mostraram que houve um decréscimo na taxa de transpiração de cinco espécies cultivadas em estufa, com reduções de 44% a 60%, com o aumento da umidade relativa de 55% até 95%.

Jolliet & Bailey (1992) também observaram aumento da transpiração com o aumento do deficit de pressão de vapor, ou seja, com a diminuição da umidade relativa. Este aumento da transpiração foi muito mais intenso em plantas adultas que em plantas jovens.

### **2.2.3. Radiação solar global**

Segundo Jones (1992), 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 também alterando a temperatura

dos tecidos vegetais com conseqüências para a taxa dos processos metabólicos e o balanço entre eles.

Embora a energia disponível possa ser utilizada nos diversos processos naturais (fotossíntese, evapotranspiração, aquecimento do solo, das plantas e do ar), os processos de fotossíntese e aquecimento das plantas podem ser considerados quantitativamente insignificantes. Portanto, toda vez que a superfície estiver umedecida, a energia disponível será preferencialmente utilizada na evaporação. Como esse processo não é totalmente eficiente, há ainda uma sobra de energia que é utilizada no aquecimento do solo e do ar. No entanto, quanto maior a deficiência hídrica, menor será a evaporação e maior a parte da energia disponível que será utilizada no aquecimento, resultando em grandes variações na temperatura (Pereira, 1995).

O efeito da radiação na transpiração é complexo: o aquecimento das folhas aumenta o gradiente de pressão de vapor entre o dossel e o ambiente, enquanto que a abertura dos estômatos reduz a resistência à transferência de vapor. Estes fatos podem combinar-se em uma estreita relação entre radiação, temperatura e umidade relativa dentro de estufas, resultando empiricamente em uma relação linear entre transpiração e radiação (Jones, 1992). Tal relação, no entanto, é muito afetada por outras condições, como a estação do ano, a cultura e o tipo de estufa. Não apenas esses fatores têm influência sobre a razão entre a transpiração e a radiação que entra na estufa. De Graaf & Van Den Ende (1981) mostram que valores dessa razão aumentam com os estágios da cultura (IAF).

Pelo exposto pode-se deduzir que, a transpiração das culturas sendo proporcional à radiação solar, reduções nos níveis de radiação por cortinas ou pintura da cobertura plástica com cal reduz as perdas de água e o potencial de produção da cultura (Cockshull *et al.*, 1992).

### **2.3. Efeito da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos**

#### **2.3.1. Temperatura do ar**

Durante o dia, a radiação 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 a elevação da temperatura.

O efeito da estufa sobre a temperatura do ar está intimamente relacionado com seu efeito sobre 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 de estufa e seu volume (Seeman, 1979).

Farias *et al.* (1993a) verificaram que o maior efeito da cobertura plástica ocorreu sobre as temperaturas máximas com valores variando de 1,2°C a 4,4°C acima das observadas externamente.

Quanto à temperatura média do ar, foram observados valores maiores no interior da estufa (Montero *et al.*, 1985; Robledo De Pedro & Vicente, 1988; Mills *et al.*, 1990). No entanto, Farias *et al.* (1993a) não encontraram diferenças significativas entre a temperatura média medida dentro e fora da estufa.

A temperatura mínima do ar no interior de estufas cobertas com polietileno de baixa densidade (PEBD) normalmente tendem a ser iguais ou ligeiramente superiores à observada externamente (Montero *et al.*, 1985; Mills *et al.*, 1990; Buriol *et al.*, 1993).

Buriol *et al.* (1993) observaram também que o manejo da ventilação das estufas durante o dia, através de abertura e fechamento de cortinas laterais, influenciaram a temperatura mínima observada no período noturno.

### **2.3.2. Umidade relativa do ar**

Os valores da umidade relativa do ar são muito variáveis e estão relacionados com a temperatura do ar. Como a umidade relativa do ar varia exponencialmente com a variação da temperatura, para um mesmo conteúdo de vapor d'água no ar, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura. Desta forma, durante o período diurno, com o aumento da temperatura, a umidade relativa diminui no interior da estufa, tornando-se inferior à verificada externamente e, durante à noite, a umidade relativa aumenta bastante, chegando próxima à 100%, devido à queda acentuada da temperatura e à retenção do vapor d'água pela cobertura plástica (Tanaka & Genta, 1982).

Analisando a umidade relativa do ar no interior de estufas e no ambiente externo, Farias *et al.* (1993a) verificaram que os valores máximos da umidade relativa foram muito próximos dentro e fora da estufa, ficando em torno de 97% a 100%. Os valores médios também foram bastante semelhantes, observando-se sempre valores internos um pouco superiores aos externos. No entanto, diferenças mais significativas ocorreram em relação à umidade relativa mínima que foi sempre inferior dentro da estufa.

### 2.3.3. Radiação solar global

A densidade de fluxo da radiação solar no interior de estufas é menor que a verificada externamente, devido à reflexão e à absorção pelo material da cobertura plástica (Seeman, 1979; Martin *et al.*, 1982; Kurata, 1990).

Os tipos de materiais normalmente utilizados, além de causarem a redução da densidade de fluxo da radiação solar, possuem efeito seletivo, permitindo a passagem de certas faixas espectrais e reduzindo a transmitância de outras faixas de comprimento de onda (Seeman, 1979).

Pode-se dizer que a quantidade de energia solar não transmitida é função do tipo de cobertura plástica e do ângulo de incidência dos raios solares que é condicionado pela orientação da estufa, inclinação da cobertura e posição do sol (Seeman, 1979; Robledo De Pedro & Vicente, 1988; Kurata, 1990).

Trabalhando com diferentes tipos de plásticos, Grafiadellis (1985) observou uma transmissividade média de 70% da radiação na faixa do visível, sendo que o polietileno de baixa densidade apresentou valor médio de 75% na transmissividade.

Farias *et al.* (1993b), também trabalhando com polietileno de baixa densidade de 0,100mm de espessura, encontraram valores de transmissividade variando de 65% a 90% em determinações feitas ao redor das 12 horas, com valores médios de 83%.

Os filmes plásticos diferem quanto a absorção, reflexão e transmissão das radiações de onda curta e onda longa em função de sua coloração, opacidade ou 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 (Al-Riahi *et al.*, 1989; Robledo De Pedro & Vicente, 1988).



Apesar da redução no total da radiação solar global transmitida, a cobertura plástica atua como meio dispersante da radiação, podendo aumentar a fração da radiação difusa em relação ao total da radiação.

Segundo Martinez Garcia (1978), em condições de dia claro, com radiação difusa correspondendo a 20% do total da radiação no ambiente externo, pode-se observar valores superiores a 60% dentro de estufa.

Farias *et al.* (1993b) também observaram valores de radiação difusa no interior de estufa maiores que os observados externamente para dias claros, com valores médios de 45% em relação ao total da radiação global interna enquanto que a média dos valores externos foi de 24%. 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).

#### **2.4. Evapotranspiração em estufas**

Numa superfície vegetada ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e transpiração. Evapotranspiração foi o termo utilizado por Thornthwaite na década dos 40 para expressar essa ocorrência simultânea. A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo para as plantas (Pereira, 1994).

A disponibilidade de energia depende do local (latitude, altitude e topografia), do tipo de cobertura da estufa e da época do ano.

A demanda atmosférica é controlada pelo poder evaporante do ar. Quanto mais seco estiver o ar, maior será a demanda atmosférica. No entanto,

existe interrelação entre a demanda atmosférica e o suprimento de água pelo solo. Denmead e Shaw (1962) mostraram que o solo é um reservatório ativo que, dentro de certos limites, controla a taxa de perda de água pelas plantas.

Várias correlações entre evapotranspiração e os elementos meteorológicos têm sido determinadas experimentalmente para estufas. Morris *et al.* (1957), De Villèle (1974) e Yang *et al.* (1989) encontraram alta correlação entre a evapotranspiração dentro de estufas e a radiação solar medida acima da cultura. Lake *et al.* (1966) observaram também a influência adicional do deficit de pressão de vapor do ar determinado externamente.

A partir dos anos setenta algumas correlações lineares simples entre a evapotranspiração atual e a radiação foram propostas (De Villèle, 1974; De Graaf & Van Den Ende, 1981) e utilizadas na maioria dos sistemas de controle de irrigação, conforme eq. (3):

$$ET = K_c(a + b.RG) \quad (3)$$

onde  $K_c$  é o coeficiente da cultura, variando com seu estágio de desenvolvimento e  $RG$  é a radiação solar global.

Segundo Baille (1992), a temperatura do ar não é um indicador muito preciso da demanda de água pela planta. Os elementos condicionantes da evapotranspiração mais úteis são o deficit de pressão de vapor (DPV) que caracteriza o estado da água no ar e os valores de radiação, facilmente acessíveis como a radiação solar global ( $RG$ ) ou a radiação líquida ( $RN$ ). Esses elementos são necessários em modelos de estimativa da evapotranspiração, visando a estimativa da demanda climática ou evapotranspiração potencial ou da evapotranspiração atual. Equações mais precisas e elaboradas, baseadas no balanço de energia da cultura (Monteith, 1973) podem ser usadas, requerendo não somente medidas de DPV e  $RG$  (ou

RN), mas também estimativas do índice de área foliar (IAF) e valores de referência para a resistência aerodinâmica ( $r_a$ ) e resistência da cultura ( $r_c$ ).

Okuya & Okuya (1988) mostraram a existência de alta correlação entre a transpiração e a radiação solar global e o deficit de pressão de vapor medidos dentro da estufa.

Outros modelos analíticos de estimativa da evapotranspiração foram desenvolvidos para culturas em estufas por Yang *et al.*, 1990 e Boulard *et al.* 1991. Esses modelos são baseados em dois grupos principais de variáveis, as meteorológicas (radiação solar global, deficit de pressão de vapor) e as específicas das culturas (resistência da cultura, índice de área foliar), possibilitando uma avaliação mais precisa do requerimento de água pelas culturas. Porém, esses modelos apresentam certa dificuldade de aplicação direta pelos produtores devido à dificuldade de estimativa da temperatura do dossel, resistências da cultura e aerodinâmica. Desta forma, uma vez que estes fatores são fortemente dependentes do clima (Yang *et al.* 1990; Baille *et al.* 1990; Boulard *et al.* 1991; Boulard & Jeema, 1993), pode-se buscar uma simplificação dos modelos utilizando-se apenas medidas de radiação solar global e deficit de pressão de vapor e derivando diretamente os coeficientes A e B conforme a eq. (4):

$$ET = A.RG + B.DPV \quad (4)$$

onde ET é a evapotranspiração atual, RG é a radiação solar global e DPV é o deficit de pressão de vapor.

Através deste modelo Boulard & Jeema (1993) conseguiram alta correlação entre a evapotranspiração medida por um lisímetro de pesagem e a evapotranspiração estimada, observando que a quantidade de transpiração

dependente do deficit de pressão de vapor pode chegar a 44% do total da transpiração medida no período, não podendo este termo ser negligenciado.

Baille *et al.* (1994a) observaram estreita relação entre a evapotranspiração e os valores de radiação solar global e deficit de pressão de vapor em nove espécies ornamentais. Porém, embora a radiação solar e o deficit de pressão de vapor tenham influenciado, observam que a radiação é o principal componente da evapotranspiração de algumas culturas como a Schefflera, enquanto que para outras espécies (Begônia, Cyclamen e Gloxínia) os dois termos apresentam similar magnitude.

Jolliet & Bailey (1992) analisaram a influência da radiação solar e do deficit de pressão de vapor para a cultura do tomate conduzida em estufa, onde, para plantas jovens, um aumento de  $1 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  resultou em um aumento da transpiração de  $0,09\text{mm}.\text{dia}^{-1}$  e que para plantas adultas o mesmo aumento na radiação solar resultou em um aumento de  $0,14\text{mm}.\text{dia}^{-1}$ . Tendência semelhante foi observada quanto ao deficit de pressão de vapor, onde o acréscimo de  $0,1\text{kPa}$  aumentou a transpiração em  $0,013\text{mm}.\text{dia}^{-1}$  para plantas jovens e  $0,24\text{mm}.\text{dia}^{-1}$  para plantas adultas. Estas observações evidenciam o efeito da área foliar na transpiração das culturas. Baille *et al.* (1994b) estudando a cultura de rosas enxertadas e não enxertadas também detectou o efeito do índice de área foliar no consumo de água pela cultura.

Estes resultados mostram que a radiação solar, o deficit de pressão de vapor e a área foliar são as principais variáveis que afetam a evapotranspiração; uma conclusão que é suportada pela análise teórica da equação de Penman-Monteith.

Marcelis (1989) desenvolveu um modelo para simular as relações entre planta e água em estufa a partir de medidas de transpiração, radiação solar global dentro da estufa, deficit de pressão de vapor do ar e temperatura do ar na estufa em intervalos de 5 minutos. O modelo mostrou que a radiação solar

global foi um dos principais elementos de controle das relações planta-água. A transpiração apresentou aumento não linear com o aumento da radiação solar global devido à abertura dos estômatos induzida pela luz. Em altos níveis de radiação solar, seu efeito na transpiração foi reduzido devido à ocorrência de fechamento estomático. Porém, transpiração estimada mostrou um alto grau de correlação com a medida, tanto para os totais diários quanto para o curso da transpiração no período de um dia.

Stanguellini (1989) descreve uma aproximação para a estimativa da transpiração através de um modelo, a partir da temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar global no interior da estufa, onde observou que as taxas de transpiração estimadas à partir de modelos simplificados diferiram muito pouco dos resultados obtidos por parametrizações mais completas. A taxa de transpiração foi bem caracterizada pela temperatura e umidade relativa determinadas internamente e a radiação solar de onda curta que entrou na estufa.

Porém outros elementos podem interferir, reduzindo o grau de correlação entre os principais fatores condicionantes da evapotranspiração. Baille *et al.* (1994b) observaram na cultura de rosas baixas taxas de transpiração comparadas com o calor latente equivalente à radiação solar global incidente na cultura. A análise dos resultados indicam que este fato pode ter ocorrido devido ao fechamento estomático resultante do alto nível do deficit de saturação de vapor do ar, tendo encontrado o valor de 1,5kPa como crítico para a cultura, e devido à elevação da temperatura do solo durante o período da tarde podendo ter afetado a aeração do sistema radicular e, conseqüentemente a absorção de água pelas raízes. Também os níveis de CO<sub>2</sub> e a temperatura do ar exerceram uma pequena influência na evapotranspiração (Jolliet & Bailey, 1992).

Fynn *et al.* (1993) também observaram, para a cultura de crisântemos cultivado em vasos, que os elementos meteorológicos mais significativos na

estimativa da evapotranspiração foram a radiação solar e o deficit de pressão de vapor. A radiação solar global foi o principal elemento de controle da resistência estomática, sendo muito alta durante à noite e decrescendo exponencialmente com o aumento da radiação solar. Porém, durante períodos de sombreamento o deficit de pressão de vapor foi o principal fator condicionante da evapotranspiração.

De Graaf (1988) Observou que, do ponto de vista prático, o controle da irrigação é viável utilizando-se modelos empíricos de estimativa da evapotranspiração baseados na radiação solar global medida fora da estufa, temperatura do ar e altura da planta, sendo também importante o monitoramento da drenagem para definir a quantidade de água a ser aplicada, observando o limite de armazenagem do solo.

### **3 . MATERIAL E MÉTODOS**

#### ***3.1. Descrição do local e cultura***

O ensaio foi conduzido em uma área de estufas da empresa Schoenmaker-Van Zanten Agrifloricultura Ltda., no município de Arthur Nogueira, estado de São Paulo, com latitude de 22° 33' S, longitude de 47° 10' W e altitude de 600m.

As estufas utilizadas são do tipo Poly-Venlo (Capela), com cobertura plástica de polietileno de baixa densidade (PEBD) transparente de 0,150mm de espessura e fechamento lateral com tela plástica transparente. A orientação da estufa é NO-SE, com módulos múltiplos de 6,40m de largura e múltiplos de 3,66m de comprimento, possuindo dimensões de 89,60m de largura (14 módulos) por 62,22m de comprimento (17 módulos), perfazendo uma área de 5.575m<sup>2</sup> e com altura do pé direito de 5,0m. As parcelas de produção são divididas em áreas de 375m<sup>2</sup> (2 módulos de 6,40m x 8 módulos de 3,66m) numa das quais foram instalados os equipamentos e monitorados os elementos meteorológicos, o crescimento e consumo de água pela cultura.

A cultura implantada na estufa foi o crisântemo variedade Shuriky, plantado em canteiros de 1,30m de largura, com espaçamento entre as plantas de 0,12m x 0,12m.

O plantio foi realizado, à partir de estacas enraizadas, em 07 de setembro de 1995 e a cultura foi monitorada a partir de 15 de setembro até 05 de dezembro de 1995.

### **3.2. Monitoramento dos elementos climáticos e da evapotranspiração**

As condições climáticas foram monitoradas dentro e fora da estufa durante o experimento e as informações foram coletadas por um datalogger modelo CR-10 da Campbell Scientific, onde foram conectados os seguintes sensores:

#### **3.2.1. Dentro da estufa**

##### Radiação solar global

A radiação solar global foi determinada por um piranômetro (LI - 200X Pyranometer sensor- LI-COR), com faixa de operação de -40 a 65°C, com erro absoluto máximo de  $\pm 5\%$  e erro típico de  $\pm 3\%$ . O equipamento foi instalado a 1,0m do solo, acima do dossel da cultura.

##### Temperatura e umidade relativa

A temperatura e umidade relativa foram determinadas com equipamento modelo 41372 Relative Humidity/Temperature Probe (R. M. Young Company), instalado a 1,5m do solo, próximo ao lisímetro e ao sensor de radiação solar.



O sensor de temperatura, tipo 1000 $\Omega$  Platinum RTD, opera na faixa de -50°C a 50°C e possui precisão de  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  a 20°C.

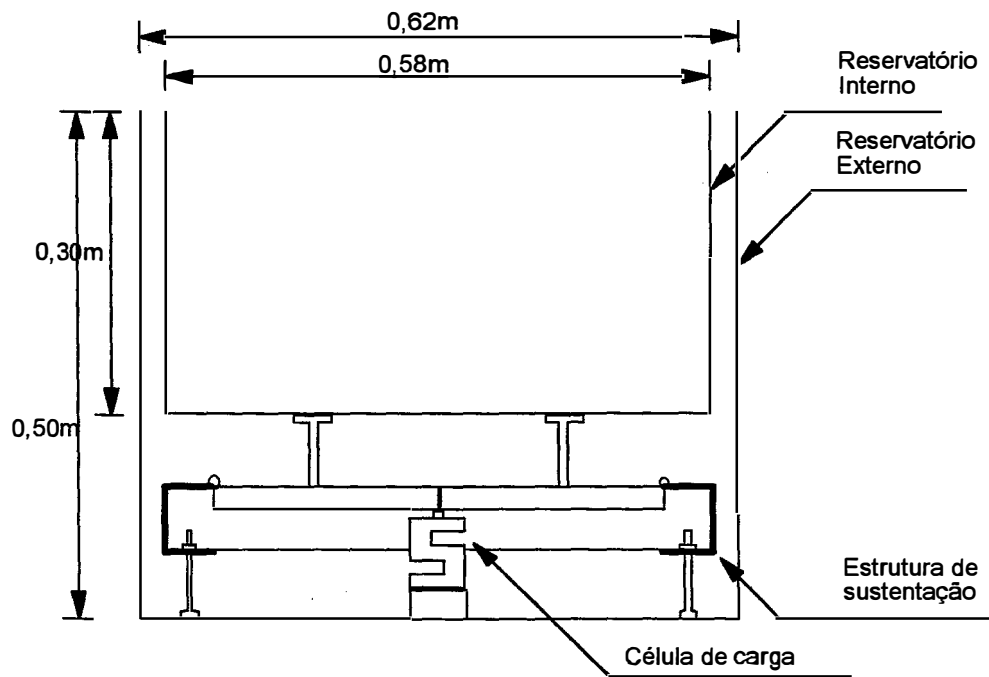
O sensor de umidade relativa, tipo Vaisala Intercap, opera na faixa de 0 a 100%, com precisão de 2% para UR entre 0 e 90% e 3% para UR entre 90 e 100% a 20°C.

### Lisímetro

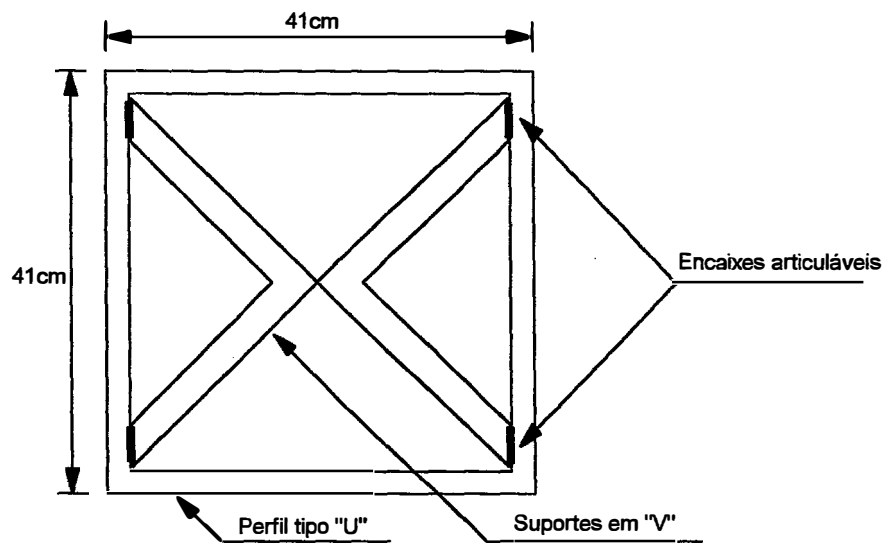
A evapotranspiração foi determinada por um lisímetro de pesagem com célula de carga desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo.

Este lisímetro foi montado com um recipiente cilíndrico interno de 0,58m de diâmetro e 0,30m de altura e um recipiente cilíndrico externo de 0,62m de diâmetro e 0,50m de altura (Figura 1). Entre os recipientes foi colocada uma estrutura metálica de sustentação e transmissão da carga para uma célula de carga HAINCO modelo HS150, com capacidade máxima de 150kg e precisão de 0,03% da capacidade máxima entre -10°C e 40°C.

A estrutura metálica, com base quadrada de 0,41m de lado, foi construída com perfis tipo “U” em aço, com dois braços em forma de “V” apoiados em quatro pontos na base e convergindo para o ponto de apoio da célula de carga. Sobre os dois braços em forma de “V” foram colocados quatro parafusos com altura regulável para apoiar o recipiente interno e nivelá-lo (Figura 2).



**Figura 1- Ilustração em corte do lisímetro.**



**Figura 2 - Detalhe da estrutura de sustentação do lisímetro**

O lisímetro foi instalado com sua face superior no mesmo nível que o canteiro, enterrando-se o recipiente externo no solo. Abaixo do lisímetro foi instalado um tubo para a drenagem da água aplicada.

A calibração do lisímetro foi feita, inicialmente em laboratório (Figura 3), com pequenos sacos de areia de massa conhecida (25g) sendo colocados sobre a estrutura até um total de 1500g e posteriormente repetida após a instalação no campo. A partir dos resultados obtidos foi determinada uma equação para transformação dos sinais da célula de carga, de milivolts (mV) para massa (g) e depois transformados em milímetros de água (Figura 4), como mostra a eq. (5):

$$L = 6,0446.sn \quad (5)$$

onde  $L$  é a lâmina em mm e  $sn$  é o sinal da célula de carga em mV.

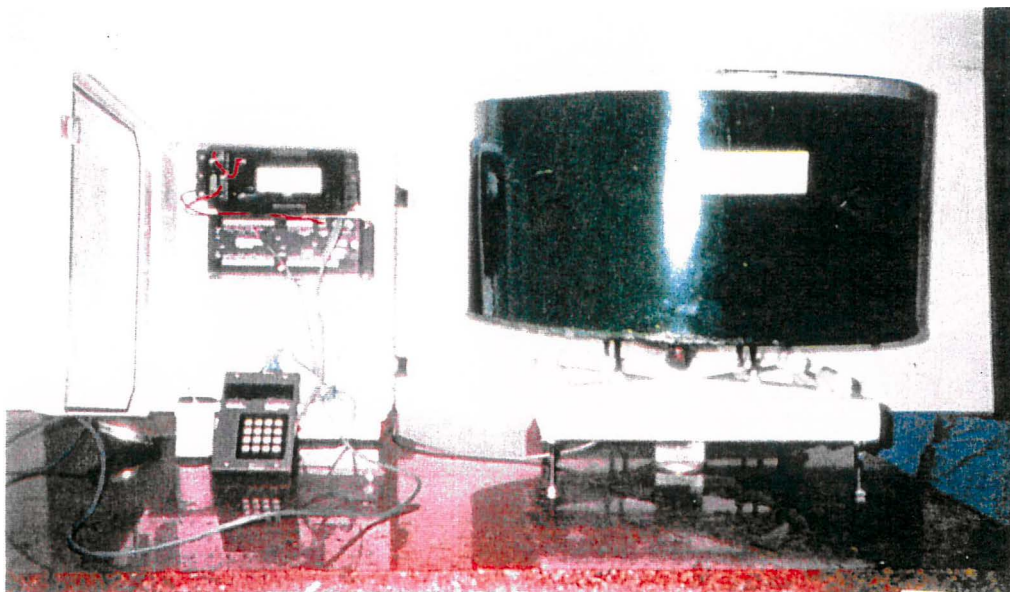
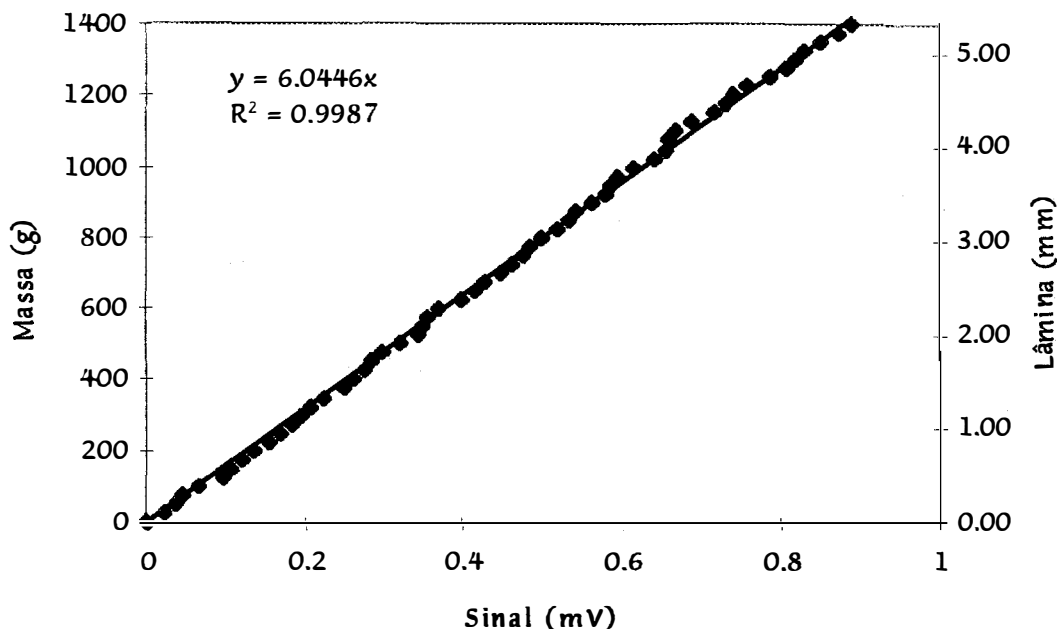


Figura 3 - Calibração do lisímetro de pesagem em laboratório



**Figura 4 - Calibração do lisímetro de pesagem**

### 3.2.2. Fora da estufa

Os sensores instalados fora da estufa foram colocados acima da cobertura plástica, a uma altura de 7,20m, com a finalidade de evitar a interferência das outras estufas existentes no local.

#### Radiação solar

A radiação solar global foi determinada por um piranômetro (LI - 200X Pyranometer sensor- LI-COR), com faixa de operação de -40 a 65°C, com erro absoluto máximo de  $\pm 5\%$  e erro típico de  $\pm 3\%$ .

### Temperatura e umidade relativa

A temperatura e umidade relativa foram determinadas com equipamento CS-500 Temperature and Relative Humidity Probe.

O sensor de temperatura opera na faixa de  $-40$  até  $+60^{\circ}\text{C}$ , com precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  para temperatura até  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$  até  $-20^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$  até  $+60^{\circ}\text{C}$ .

O sensor de umidade relativa opera na faixa de leitura de 10 a 90% para umidade relativa, com precisão de 2% para leituras a 10% e 3 % para leituras a 90%.

### **3.2.3. Outros equipamentos**

#### Tensiômetros

Também foram instaladas duas baterias de tensiômetros, do tipo de coluna de mercúrio, dentro da área experimental. As baterias foram de três tensiômetros às profundidades de 10cm, 20cm e 30cm. As leituras foram feitas diariamente, às 8 horas.

Os objetivos da utilização dos tensiômetros foram avaliar a tensão da água do solo, procurando evitar valores muito elevados que pudessem afetar o desenvolvimento da cultura e observar a movimentação vertical da água para baixo do sistema radicular.

### **3.3. Determinação das características físicas do solo**

Para as análises físicas dos solo foram retiradas três amostras deformadas, coletada em cinco pontos dentro da área experimental, às profundidades de 0-5cm, 5-10cm e 10-15cm para a análise granulométrica; cinco amostras indeformadas à profundidade de 0-5cm para a determinação da curva de retenção; e duas amostras indeformadas nas profundidades de 0-10cm, para a determinação da condutividade hidráulica saturada e densidade do solo. Também foi determinada a velocidade de infiltração básica do solo.

#### Análise granulométrica

A partir dos valores observados na tabela 1, classificou-se o solo como franco-argilo-arenoso.

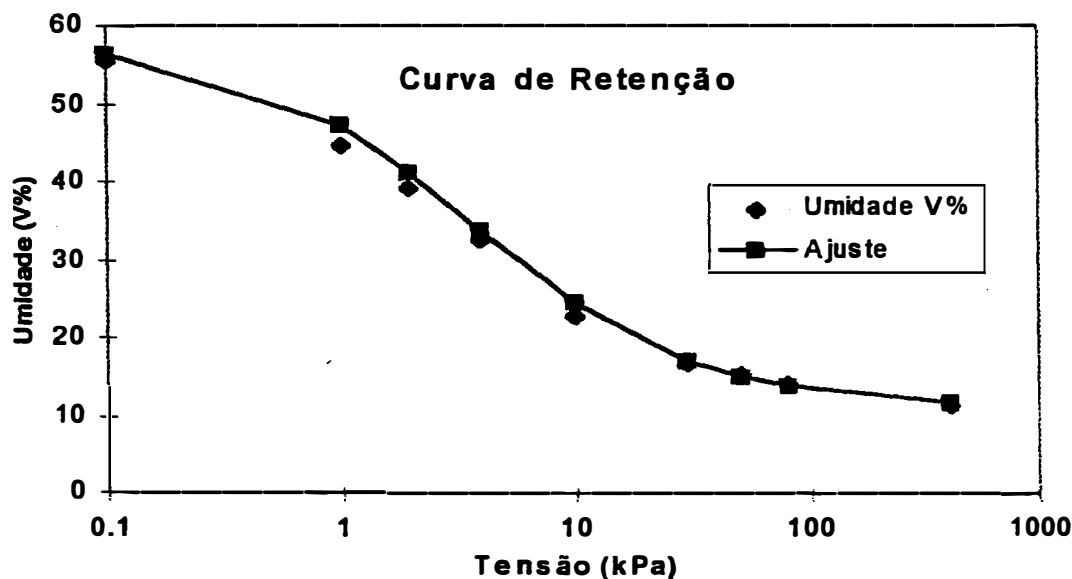
**Tabela 1 - Análise granulométrica do solo**

<b>AMOSTRA</b>	<b>% ARGILA</b>	<b>% SILTE</b>	<b>% AREIA</b>
0 - 5 cm	23.41	11.59	65.00
5 - 10 cm	24.57	13.14	62.29
10 - 15 cm	19.76	17.15	63.09

#### Curva de retenção da água no solo

A curva de retenção de água no solo foi determinada com base em umidade volumétrica e ajustada pelo modelo de Van Genuchten, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,99 (Figura 5). Os valor de umidade

para a capacidade de campo (10kPa) foi de 22,55% e para a tensão máxima suportada pelo tensiômetro (80kPa) foi de 13,96%.



**Figura 5 - Curva de retenção da água no solo**

#### Condutividade hidráulica saturada e densidade do solo

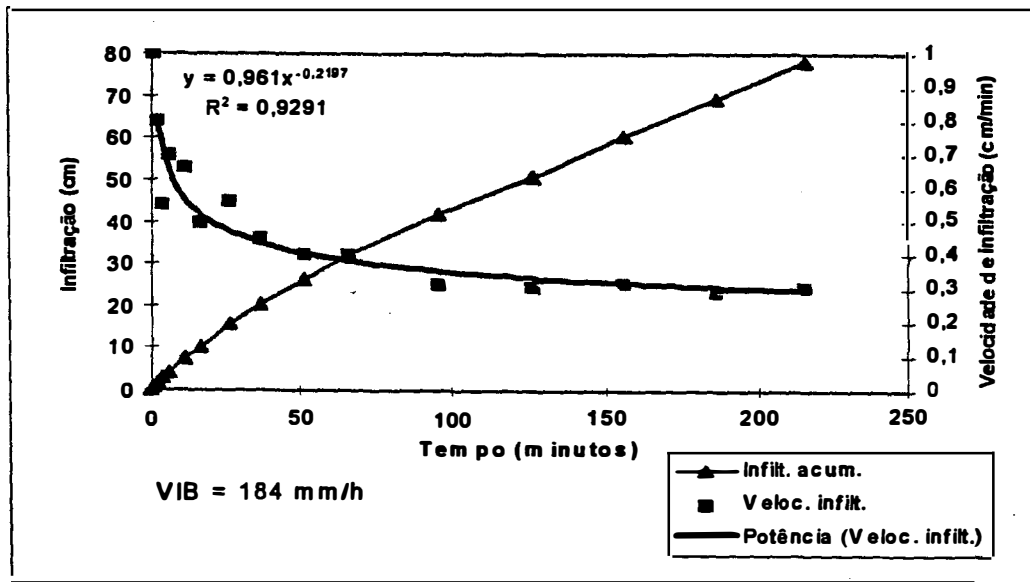
Na Tabela 2 encontram-se os resultados das análises de condutividade hidráulica saturada e densidade global do solo.

**Tabela 2 - Condutividade hidráulica e densidade global do solo**

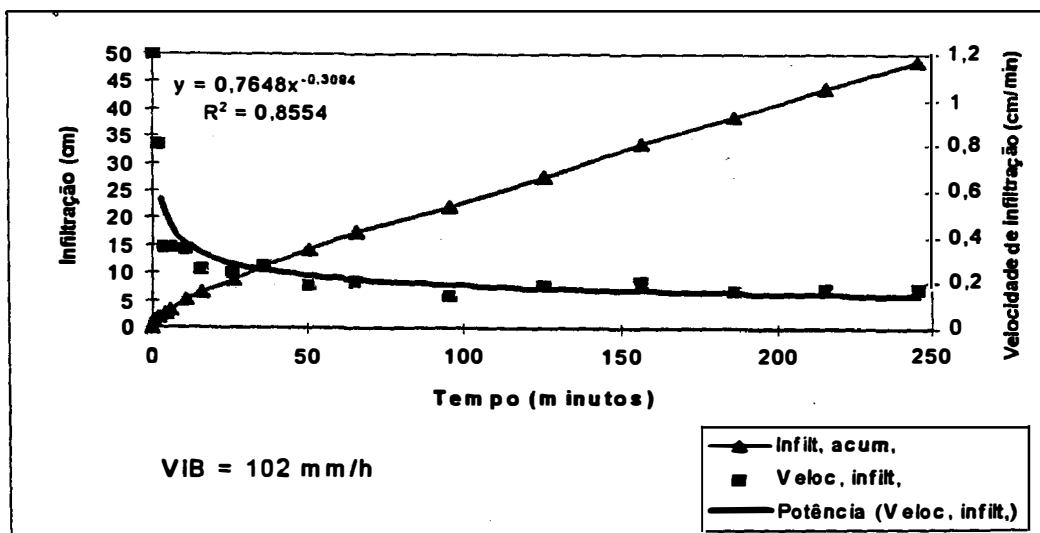
	Condutividade hidráulica saturada (cm/h)	Densidade global (g/cm <sup>3</sup> )
AMOSTRA 1	19.53	1.32
AMOSTRA 2	21.55	1,39

### Velocidade de infiltração básica

A velocidade de infiltração básica (VIB) foi determinada pelo método dos anéis concêntricos em dois pontos dentro da área experimental (Figuras 6 e 7).



**Figura 6 - Teste 1 de infiltração de água no solo.**



**Figura 7 - Teste 2 de infiltração de água no solo.**



As velocidades de infiltração básica determinadas nos dois pontos foram de 184 mm/h e 102 mm/h. A alta capacidade de infiltração pode ser explicada pelas características físicas desse solo (Tabela 1) e também pelas práticas culturais adotadas, pois a camada superficial do solo é bastante revolvida com a utilização de enxada rotativa e são adicionadas grandes quantidades de matéria orgânica.

### ***3.4. Avaliação do equipamento de irrigação***

A determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) foi utilizada para caracterizar os sistemas de irrigação por aspersão (Tabela 3) e gotejamento (Tabela 4). Este teste foi utilizado apenas para verificar o correto fornecimento de água para a cultura, garantindo uma bordadura do lisímetro sempre bem suprida de água, pois o volume de água aplicado no lisímetro foi sempre determinado por pesagem.

O sistema de aspersão é composto por emissores modelo Mamkad, fabricado pela DAN SPRINKLERS, com vazão de 240l/h (200kPa) e espaçamento de 6,40m x 3,66m. Portanto a taxa média de aplicação de água é de 10,25mm/h.

Para avaliação do sistema de irrigação por aspersão foram instalados 180 coletores espaçados de 1,07m x 1,00m, num total de 6 linhas de coletores entre duas linhas de emissores espaçadas de 6,40m.

O sistema de gotejamento é composto por gotejadores de labirinto modelo GT, fabricado pela ASBRASIL, com vazão de 3,8l/h (138kPa.). O espaçamento entre os emissores é de 0,40m na linha e 0,32m entre linhas (4 linhas de gotejadores por canteiro).

Para avaliação do sistema de irrigação por gotejamento foram instalados coletores e medidas as vazões em cinco pontos na linha de gotejadores, dispostos no início da linha, a 25% do comprimento, 50% do comprimento, 75% do comprimento e no final da linha. Foram avaliadas as 4 linhas do canteiro onde foi instalado o lisímetro.

**Tabela 3 - Coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação por aspersão**

TESTE	DURAÇÃO (min)	CUC (%)
1 (15/09/95)	15 min*	91.9%
2 (26/09/95)	20 min*	89.8%

\*tempos normalmente utilizados para a irrigação da cultura.

**Tabela 4 - Coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação por gotejamento.**

LÂMINA MÉDIA (mm/hora)	VAZÃO MÉDIA (litros/hora)	CUC (%)
25,92	3,36	94,1

### **3.5. Manejo da irrigação e desenvolvimento da cultura**

Após o plantio das mudas, durante a primeira semana, a cultura foi irrigada diariamente por aspersão para garantir o pegamento das plantas.

À partir da segunda semana a irrigação começou a ser manejada em intervalos maiores e sempre com a introdução de fertilizantes (fertirrigação), sendo sua concentração controlada através da condutividade elétrica da solução, que atingiu valores de 1,7dS/m a 2,0dS/m nos estágios mais avançados da cultura.

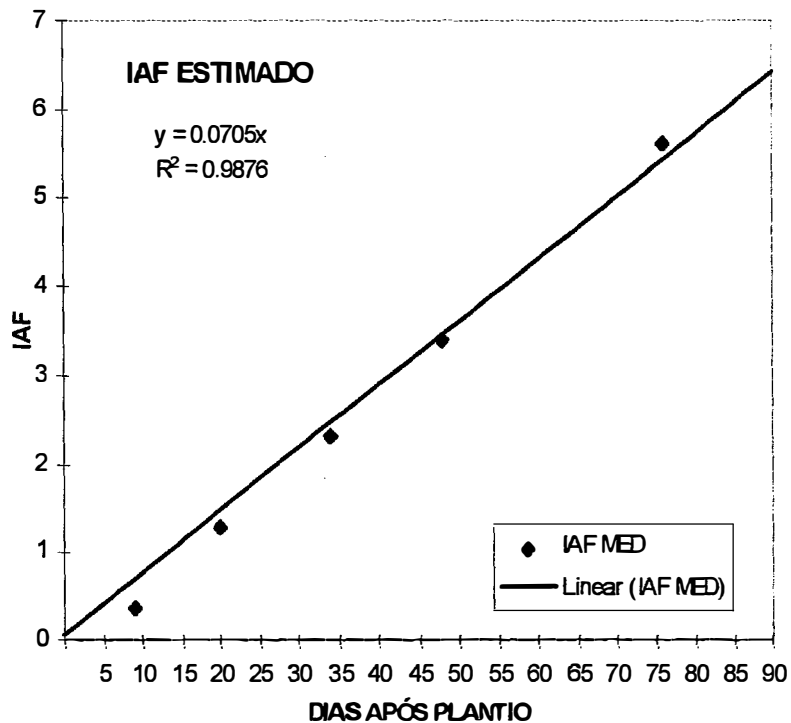
A partir da quarta semana, as irrigações foram gradativamente passando da aspersão para o gotejamento que foi utilizado exclusivamente na fase adulta da cultura, sendo a aspersão apenas utilizada uma vez por semana com o intuito de lavar as folhas devido às aplicações de defensivos na cultura.

A cultura, após a primeira semana foi despontada para quebrar a dominância apical. A partir da quarta semana passou a sofrer podas para a retirada de mudas.

Devido à essas características, normalizou-se a retirada de amostra para a determinação do índice de área foliar sempre um dia antes da colheita de mudas.

O índice de área foliar foi medido por método destrutivo à partir de amostras coletadas em intervalos de aproximadamente 15 dias, onde 10 plantas foram coletadas ao acaso e suas folhas separadas. Das folhas foram retiradas circunferências de área conhecida e todo o material foi posto para secar em estufa a 65°C durante um período de 72 horas, fazendo-se a correlação entre o peso seco das circunferências e o peso seco total de folhas.

A partir dos valores do IAF foi determinada uma equação de regressão para estimativa do valor diário do IAF (Figura 8).



**Figura 8 - Evolução do índice de área foliar do crisântemo.**

### **3.6. Coleta de dados**

A coleta dos dados foi feita através do datalogger, que foi programado para fazer as leituras a cada segundo e armazenar as médias a cada trinta minutos, dos elementos meteorológicos e do lisímetro, a partir dos quais foram relacionadas as seguintes informações diárias:

**No interior da estufa**

- a. Temperatura do ar máxima (°C)
- b. Temperatura do ar média (°C)
- c. Temperatura do ar mínima (°C)
- d. Umidade relativa do ar máxima (%)
- e. Umidade relativa do ar média (%)
- f. Umidade relativa do ar mínima (%)
- g. Radiação solar global total ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ )
- h. Evapotranspiração ( $\text{mm.dia}^{-1}$ )

**No exterior da estufa**

- i. Temperatura do ar máxima (°C)
- j. Temperatura do ar média (°C)
- l. Temperatura do ar mínima (°C)
- m. Umidade relativa do ar máxima (%)
- n. Umidade relativa do ar média (%)
- o. Umidade relativa do ar mínima (%)
- p. Radiação solar global total ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ )

A partir dessas informações foram feitas combinações dos elementos, tanto externos quanto internos, e relacionadas com a evapotranspiração determinada pelo lisímetro de pesagem para a obtenção de modelos que caracterizassem a evapotranspiração. Os melhores modelos foram selecionados e avaliados.

### **3.7. Modelagem matemática**

Para a elaboração de modelos matemáticos empíricos de estimativa da evapotranspiração foram utilizadas as informações climáticas diárias, a evapotranspiração determinada pelo lisímetro e o índice de área foliar (IAF). O IAF foi medido em intervalos médios de 15 dias e, a partir desses valores foram estimados, através de uma equação de regressão, os valores diários.

A evapotranspiração determinada pelo lisímetro de pesagem foi tomada como a variável dependente e os demais fatores como variáveis independentes.

Foram, então obtidas as equações de estimativa da evapotranspiração sorteando-se aleatoriamente aproximadamente 2/3 dos dados existentes e então calculando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) das equações. Os dados restantes foram utilizados para a validação das equações, comparando-se os valores observados com os estimados pela equação. Foram utilizados, na análise das equações o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o índice de concordância ( $d$ ), sempre comparando os resultados da equação com os dados não utilizados no modelo.

O coeficiente de determinação, calculado pela razão entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados dos termos observados, representa a variação de  $Y$  (evapotranspiração) que é explicada pela regressão (Pereira & Arruda, 1987).

O “índice de ajuste”, proposto e utilizado por Willmott (1982), estima o erro a partir do somatório dos quadrados das diferenças entre os valores observados ( $O$ ) e estimados ( $P$ ) dividido pelo somatório do quadrado da soma dos desvios entre os valores observados ( $O$ ) e estimados ( $P$ ), de acordo com a eq. (6):

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right], \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (6)$$

onde  $P$  é o valor previsto e  $O$  o valor observado, sendo  $P'_i = P_i - \bar{O}$  e  $O'_i = O_i - \bar{O}$ .

## 4 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **4.1. Informações coletadas**

Durante o período de coleta de dados observou-se uma grande amplitude nos valores da radiação solar global, temperatura do ar e umidade relativa determinados dentro (Tabela 5) e fora da estufa (Tabela 6) , refletindo também nos valores de evapotranspiração.

A radiação solar global apresentou valores totais diários, determinados no interior da estufa, variando de  $2,17\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  a  $22,17\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . Para os valores determinados fora da estufa a variação foi de  $6,4\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  a  $31,4\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

Para facilitar a análise dos totais de radiação solar global no interior da estufa em relação à evapotranspiração, podemos converter os valores da radiação para o equivalente em milímetros de evaporação utilizando-se o valor do calor latente de evaporação de  $2450\text{J/g}$  ( que é admitido como constante por ser uma função fraca da temperatura nas condições naturais de evaporação).



Analisando os totais da radiação solar global interna da estufa, observa-se que o equivalente de evaporação variou, no período, de 0,9mm/dia a 9,0mm/dia e que a evapotranspiração determinada no período foi, em média, equivalente a 67% do total da radiação solar global no interior da estufa.

**Tabela 5 - Elementos meteorológicos monitorados dentro da estufa.**

Data	DAP	T	T	T	UR	UR	UR	RGI	ETL
		máx	méd	mín	máx	méd	min		
		°C	°C	°C	%	%	%	MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>	mm.dia <sup>-1</sup>
258	8	32.4	23.0	14.5	88.0	72.9	56.8	9.54	1.7
259	9	31.9	24.6	16.5	93.0	65.9	38.5	11.81	1.7
262	12	32.9	23.7	18.2	91.8	75.5	43.8	8.97	1.1
264	14	20.9	17.3	15.6	93.7	80.9	58.7	9.28	1.4
265	15	33.8	22.3	13.8	91.3	72.3	42.0	13.15	2.0
266	16	31.7	21.6	16.9	92.1	78.4	54.2	7.98	1.4
267	17	32.4	21.5	18.3	93.3	85.0	58.9	6.22	0.9
268	18	32.7	23.5	17.6	93.2	75.9	52.2	13.02	2.0
269	19	34.8	22.4	16.4	94.5	78.6	37.2	9.33	1.8
272	22	32.1	22.2	16.8	93.2	79.8	57.0	8.31	1.7
273	23	35.4	25.0	17.4	92.9	75.4	49.8	14.35	2.4
274	24	35.1	25.2	18.1	93.3	75.6	46.5	12.74	1.8
275	25	36.2	25.7	17.9	93.5	74.0	43.5	14.30	2.6
277	27	37.6	25.2	15.7	92.6	70.6	37.5	15.50	2.8
280	30	35.2	24.8	16.8	94.9	74.2	35.4	10.93	2.2
283	33	33.1	23.9	17.1	93.9	72.4	26.0	11.32	2.1
284	34	33.8	22.7	14.0	96.2	69.1	18.0	13.11	2.7
285	35	35.7	23.9	13.1	93.7	61.4	20.4	12.31	2.4
286	36	31.1	23.5	20.1	93.8	78.7	47.0	4.74	1.1
287	37	25.9	22.0	20.2	96.4	89.3	72.8	4.22	0.9
288	38	26.8	22.2	20.5	94.7	90.5	75.9	2.17	1.0
292	42	34.8	23.5	18.9	94.8	79.7	45.1	11.52	2.1
293	43	32.6	20.7	16.3	96.7	85.4	49.9	7.70	1.7
295	45	30.5	20.8	13.9	96.5	75.0	37.3	16.96	2.0
296	46	31.4	21.1	12.2	96.2	70.2	29.0	17.78	3.3
297	47	34.9	23.6	13.6	96.8	65.1	22.8	16.84	3.4
298	48	37.2	25.4	15.5	91.2	68.1	23.1	16.53	3.3
299	49	37.6	26.4	17.3	88.1	59.3	22.6	15.81	2.3

**Tabela 5: Elementos meteorológicos monitorados dentro da estufa (continuação).**

Data	DAP	T	T	T	UR	UR	UR	RG	ETL
		máx	méd	mín	máx	méd	min		
		°C	°C	°C	%	%	%	MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>	mm.dia <sup>-1</sup>
300	50	37.5	27.0	18.0	86.1	55.8	26.8	13.37	3.5
301	51	28.4	23.0	18.0	92.7	82.5	58.4	3.07	0.9
302	52	24.2	19.6	16.1	88.4	76.9	62.2	3.43	1.2
305	55	33.9	21.3	14.4	94.3	78.9	38.0	11.45	2.0
306	56	35.0	22.5	16.5	93.3	75.8	32.3	16.07	3.7
307	57	33.8	23.5	16.1	95.1	71.8	39.1	15.49	2.3
308	58	32.2	22.9	18.2	92.8	78.7	44.5	8.30	2.2
309	59	36.9	25.1	16.7	95.1	69.2	33.0	14.03	3.8
310	60	37.2	26.5	17.3	90.5	65.1	32.0	17.97	5.0
311	61	39.3	28.3	18.4	88.9	60.0	27.9	18.35	3.5
313	63	38.1	28.4	21.4	90.4	60.2	29.8	17.75	5.2
314	64	38.2	28.5	22.1	79.5	56.9	26.4	14.63	4.0
318	68	27.8	22.1	18.3	95.2	85.6	66.0	6.78	1.5
319	69	32.2	24.3	20.2	92.2	80.9	53.6	9.56	1.8
320	70	34.6	25.4	19.1	93.6	74.9	45.5	16.63	3.9
321	71	36.6	26.3	18.7	95.9	69.5	36.3	18.52	3.2
322	72	35.6	24.4	17.6	92.9	78.7	44.3	11.05	2.9
323	73	31.3	21.8	15.8	94.2	74.3	39.7	18.14	4.0
324	74	31.6	21.7	14.8	93.5	70.9	36.2	19.53	5.0
325	75	34.2	22.7	14.4	93.1	68.8	31.6	21.27	4.5
326	76	35.9	24.3	13.8	93.5	71.9	31.9	20.54	4.3
327	77	33.6	23.1	16.9	94.4	80.3	40.3	13.66	2.6
328	78	33.7	24.3	20.1	94.9	81.0	50.9	13.49	2.2
329	79	38.9	26.0	17.7	94.6	77.2	42.3	19.96	5.4
330	80	38.0	27.5	18.3	95.9	69.8	32.0	20.52	4.5
331	81	36.7	27.4	19.4	91.8	67.0	34.2	19.64	3.9
333	83	38.9	25.5	16.5	96.8	75.0	31.0	22.17	3.6
336	86	42.2	27.9	18.9	91.7	67.3	28.3	19.90	5.3
337	87	38.4	27.2	17.4	88.5	61.3	25.0	20.31	4.0
338	88	35.2	25.6	20.6	90.2	72.9	40.1	13.55	3.2

Tabela 6 - Elementos meteorológicos monitorados fora da estufa.

Data	DAP	T máx °C	T méd °C	T mín °C	UR máx %	UR méd %	UR mín %	RGE MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>	Chuva *
258	8	29.3	21.7	13.5	85.2	66.1	44.4		
259	9	28.8	22.3	14.4	88.7	51.9	23.7		
262	12	29.2	22.1	17.0	100.0	78.4	45.4		C
264	14	19.4	16.4	14.5	86.5	79.2	58.4		
265	15	30.4	20.7	13.3	93.4	68.0	36.8		
266	16	26.6	20.1	16.8	95.6	72.7	49.8		C
267	17	26.4	19.3	16.8	100.0	90.2	61.4		C
268	18	28.0	21.2	16.5	100.0	76.6	46.7		
269	19	32.5	20.9	14.8	100.0	79.6	35.9		
272	22	27.1	20.1	15.7	100.0	86.0	60.0		N
273	23	31.8	22.8	16.3	100.0	76.8	45.5		N
274	24	32.1	23.1	17.0	100.0	78.0	44.0		
275	25	32.0	23.8	17.0	100.0	70.1	35.0		
277	27	33.4	22.8	14.7	96.2	67.8	31.1		
280	30	31.6	23.0	15.7	100.0	75.6	38.3		C
283	33	29.1	22.5	16.6	100.0	65.8	26.0		
284	34	29.4	21.0	13.3	100.0	63.1	16.1		
285	35	33.2	23.0	12.5	99.3	57.9	19.0		
286	36	29.9	22.5	18.4	100.0	83.8	49.4		
287	37	24.1	20.7	18.8	100.0	97.5	75.7		C
288	38	22.7	20.0	19.1	100.0	104.7	90.8		C
292	42	28.4	21.0	16.8	100.0	83.2	52.2		C
293	43	28.0	18.7	14.7	100.0	95.7	57.3		C
295	45	24.5	17.8	12.8	100.0	74.9	38.7		C
296	46	28.3	19.3	11.7	100.0	68.0	29.1		
297	47	31.8	22.4	13.1	100.0	61.3	22.4		
298	48	33.8	25.0	15.9	93.9	52.5	21.9		
299	49	34.3	26.5	18.7	75.4	46.3	23.6		

\* C = chuva ; N = nublado

**Tabela 6: Elementos meteorológicos monitorados fora da estufa  
(continuação).**

Data	DAP	T	T	T	UR	UR	UR	RG	Chuva *	
		máx	méd	mín	máx	méd	mín			
		°C	°C	°C	%	%	%	MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>		
300	50	34.3	27.2	20.1	73.0	47.0	20.1	23.01		
301	51	25.5	21.3	16.7	100.0	88.5	63.5	6.42	C	
302	52	20.3	17.5	14.5	97.7	81.1	66.8	6.49		
305	55	27.7	18.6	13.3	100.0	81.4	46.9	20.14	C	
306	56	30.0	20.0	15.3	100.0	82.4	39.4	24.91	C	
307	57	28.9	21.2	15.3	100.0	78.7	44.9	24.96		
308	58	26.7	20.8	17.2	100.0	79.8	53.6	14.46	C	
309	59	31.3	23.3	15.9	94.6	67.2	38.7	24.23		
310	60	33.4	24.9	16.5	97.8	64.6	33.0	28.75		
311	61	35.5	26.3	18.2	100.0	60.2	30.3	29.47		
313	63	34.3	27.5	21.2	90.7	56.7	31.3	28.54		
314	64	34.9	27.5	21.8	85.7	54.6	26.3	23.25		
318	68	25.4	20.3	17.0	100.0	96.7	68.9	11.80	N	
319	69	27.9	22.0	18.4	100.0	91.6	62.3	14.79	C	
320	70	28.8	23.6	18.0	100.0	76.5	48.9	25.53		
321	71	31.9	24.8	17.6	100.0	71.3	37.7	28.19		
322	72	29.7	21.7	15.7	98.0	82.6	52.6	17.62		
323	73	26.8	19.8	14.3	98.0	73.2	43.7	27.98		
324	74	26.7	19.4	13.6	98.6	70.7	41.1	29.37		
325	75	28.6	20.4	13.6	96.3	66.4	31.0	31.04		
326	76	31.8	21.6	13.6	96.5	67.8	31.2	29.85		
327	77	30.9	21.2	15.7	100.0	85.8	44.9	20.92	C	
328	78	28.5	22.2	18.6	100.0	89.8	56.9	19.74	C	
329	79	29.0	22.0	15.8	100.0	83.4	49.8	28.64	C	
330	80	32.7	24.6	16.9	100.0	70.1	33.9	29.47		
331	81	33.7	25.8	19.0	100.0	68.6	36.2	28.19		
333	83	30.6	22.5	15.3	99.4	68.9	31.4	31.43		
336	86	34.2	26.1	19.1	85.6	53.9	18.5	28.92		
337	87	34.3	25.8	17.2	89.7	53.2	26.4	29.30		
338	88	29.8	23.6	19.1	97.0	73.5	45.0	20.15		

\* C = chuva ; N = nublado

Quanto à temperatura do ar, para os valores determinados dentro da estufa, observou-se variação entre 20,9°C e 42,2°C para a máxima, 17,3°C e 28,5°C para a média e 12,2°C e 22,1°C para a mínima. Para a temperatura do ar determinada fora da estufa, os valores variaram entre 19,4°C e 35,5°C para a máxima, 16,5°C e 27,5°C para a média e 11,7°C e 21,8°C para a mínima.

A umidade relativa do ar apresentou, para os valores diários determinados dentro da estufa, variação entre 79,5% e 96,8% para a máxima, 55,8% e 90,5% para a média e 18,1% e 75,9% para a mínima. Para a umidade relativa determinada fora da estufa, os valores variaram de 73,0% a 100,0% para a máxima, 46,3% a 100,0% para a média e 16,1% a 90,9% para a mínima. Observa-se por esses dados que a amplitude da umidade relativa do ar foi superior para as determinações feitas fora da estufa, tanto para a máxima, quanto para a média e a mínima. Essa amplitude reflete as condições do período, que apresentou dias bastante secos e dias chuvosos e também à maior alteração das condições externas, principalmente devido ao efeito do vento.

As determinações da evapotranspiração, pelo lisímetro de pesagem, também variaram bastante, com valor mínimo de 0,9mm e máximo de 5,4mm.

Os menores valores de evapotranspiração foram observados em dias com baixos níveis de radiação solar global (2,17MJ/m<sup>2</sup> a 9,28MJ/m<sup>2</sup>), elevados níveis de umidade relativa média do ar (75,5% a 90,5%) e baixos valores de temperatura média do ar (17,3°C a 23,7°C). Os maiores valores foram observados em dias com altos níveis de radiação solar global (17,75 MJ/m<sup>2</sup> a 22,17 MJ/m<sup>2</sup>), menores valores de umidade relativa média do ar (60,2% a 77,2%) e maiores valores de temperatura média do ar (21,7°C a 28,4°C), evidenciando a influência desses elementos sobre a evapotranspiração.

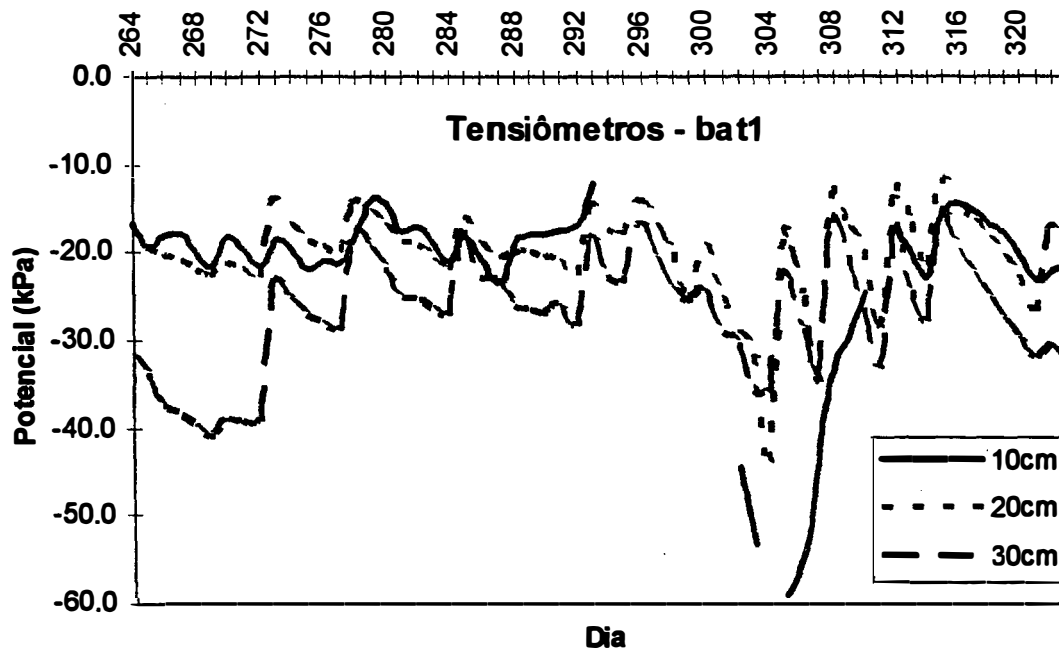
## 4.2. Potencial da água no solo

Os resultados do monitoramento da tensão da água no solo, mostram que as tensões foram sempre baixas, atingindo valores um pouco maiores apenas na profundidade de 10cm, em curtos períodos.

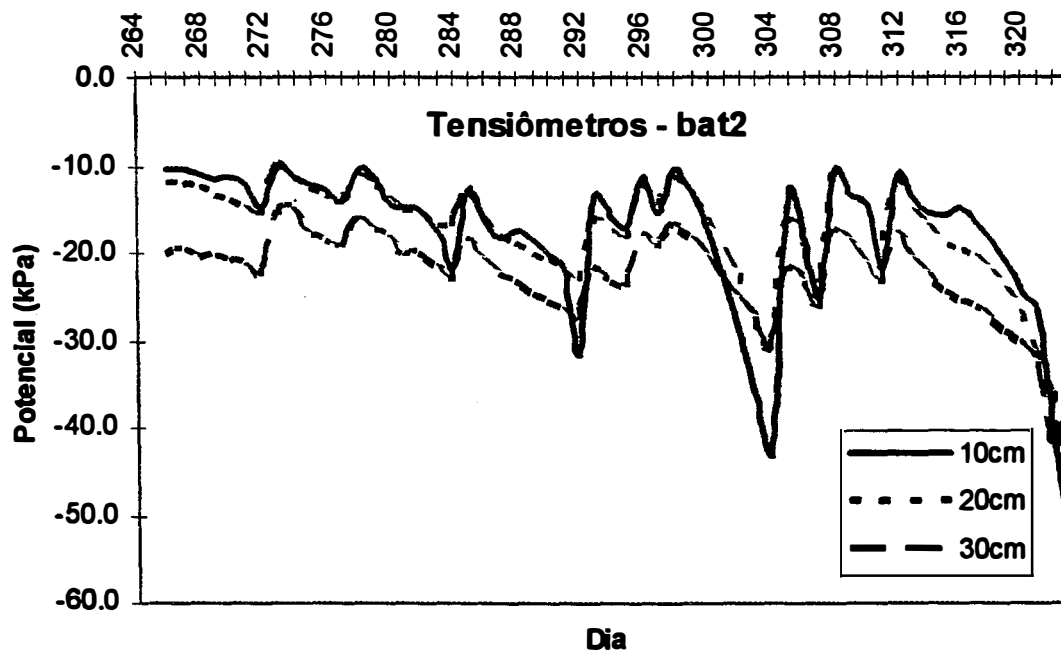
Os valores do potencial matricial determinado a 10cm de profundidade variaram de -10,1kPa a -58,7kPa, com valores médios próximos a -20,0 kPa. Para a profundidade de 20cm o potencial matricial variou de -10,0kPa a -47,4kPa, com média próxima a -17,5kPa e para a profundidade de 30cm o potencial matricial variou de -14,9kPa a -42,3kPa, com média próxima a -25,0kPa.

As determinações mostram que as maiores variações ocorreram a 10cm de profundidade e a menores variações a 30cm e que os baixos níveis do potencial matricial observados ocorreram apenas entre os dias 302 e 306 nas baterias 1 e 2 (Figura 9 e 10) e após o dia 320 na bateria 2, principalmente na camada superficial (Figura 10).

Como o sistema radicular da cultura ocupou bem o solo até a profundidade de 30cm e o potencial matricial manteve-se, por praticamente todo o período, acima de -40kPa, pode-se concluir que a cultura foi sempre bem suprida de água, não havendo deficit que pudesse prejudicar seu desenvolvimento ou que alterasse significativamente a evapotranspiração.



**Figura 9 - Potencial da água no solo, em 3 profundidades.**



**Figura 10 - Potencial da água no solo, em 3 profundidades.**

### **4.3. Efeito da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos**

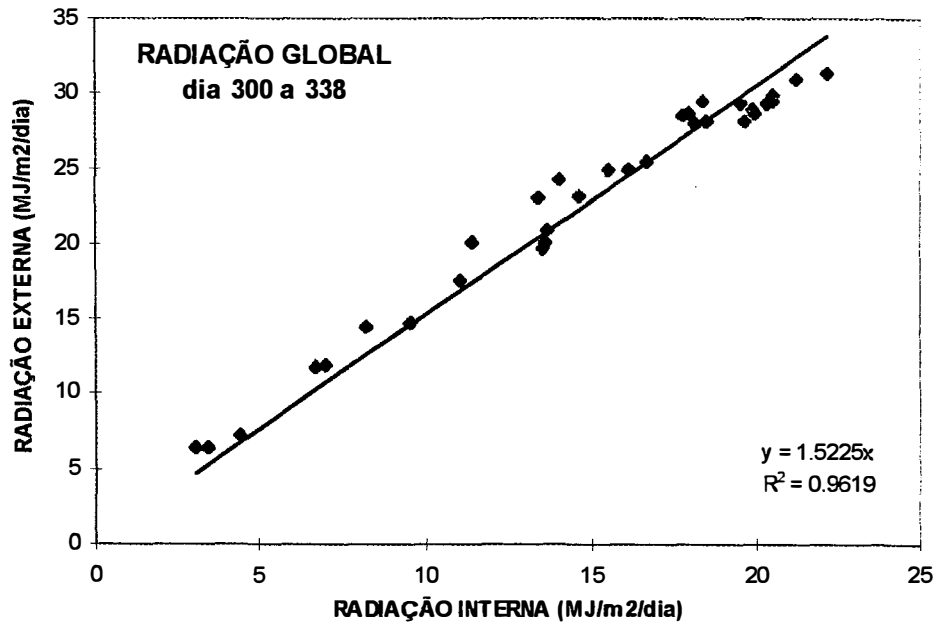
#### **4.3.1. Radiação solar global**

A radiação solar global foi determinada, no interior da estufa, durante o período de 15 de setembro a 04 de dezembro de 1995. Porém, no ambiente externo, a radiação foi determinada apenas entre 27 de outubro e 04 de dezembro.

Para as condições do ensaio, no período de 27 de outubro a 04 de dezembro de 1995, observa-se que, em média 37% da radiação solar foi perdida por reflexão ou absorção, ou seja, 63% da radiação externa chegou até o dossel da cultura (Figura 11), sendo que a razão entre os totais diários de radiação interna e externa variaram entre 48% e 71% (Tabelas 5 e 6).

Estes valores são um pouco inferiores aos observados por Grafiadellis (1985) e Farias et al. (1993b) para cobertura em polietileno de baixa densidade de 0,150 mm de espessura. O principal fator que condicionou essa redução no total da radiação que entrou na estufa foi a utilização de uma mistura de cal, água e cola para a pintura da cobertura, com a finalidade de reduzir o iluminamento (lux).



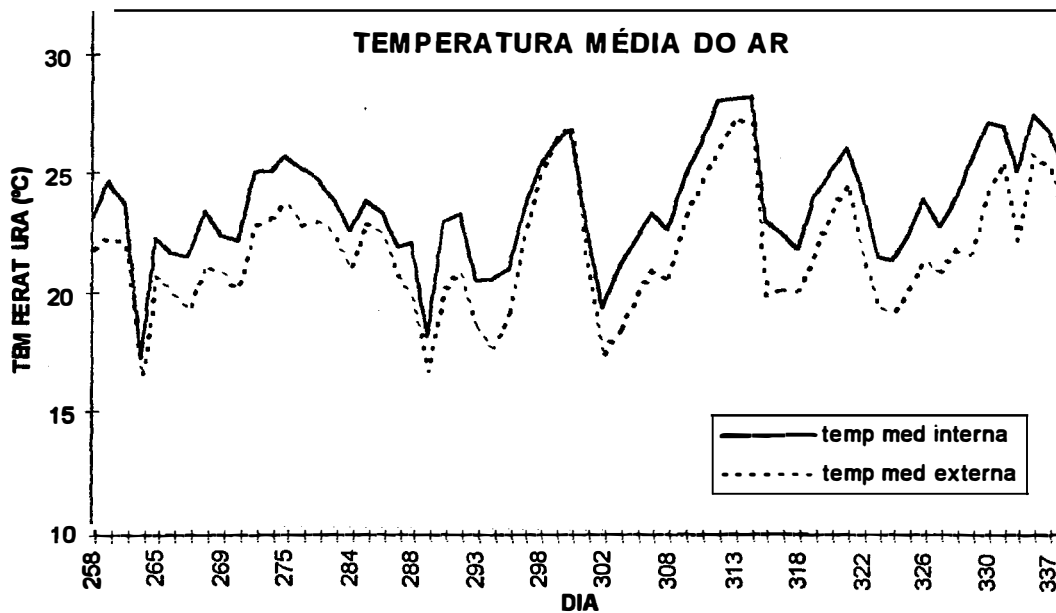


**Figura 11 - Relação entre a radiação solar global externa e interna total diária.**

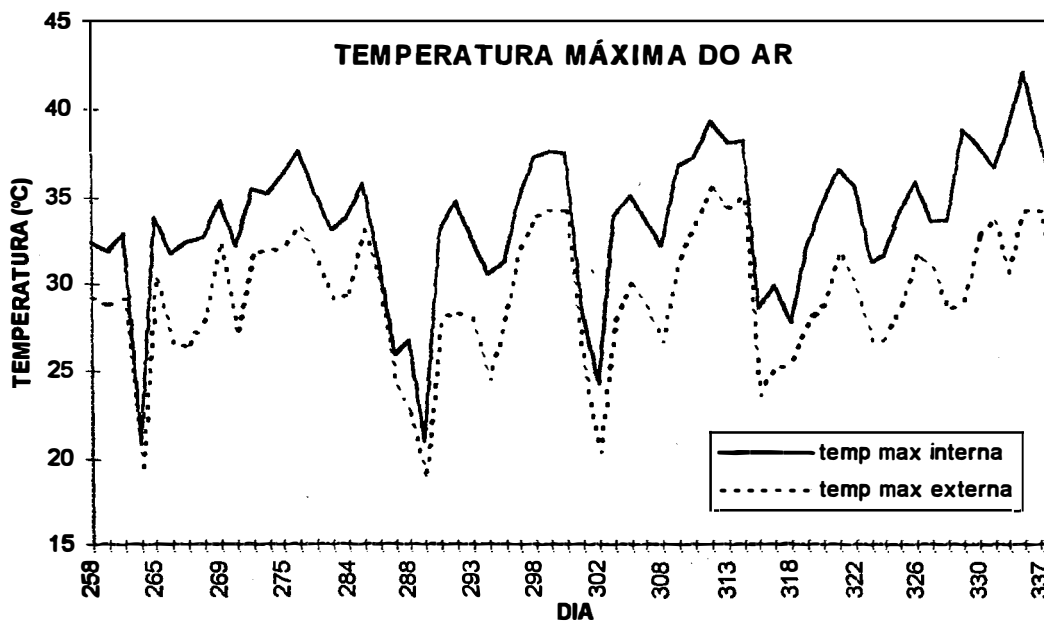
#### 4.3.2. Temperatura do ar

O efeito da estufa sobre a temperatura do ar está relacionado com o balanço de energia sendo, portanto, dependente de fatores como as condições da superfície e ângulo de incidência da radiação, tipo de solo, as dimensões da estufa, seu volume e a possibilidade de trocas com o ambiente externo (Seeman, 1979).

Os valores da temperatura média e máxima diária do ar observados dentro da estufa foram sempre superiores aos externos (Figuras 12 e 13).



**Figura 12 - Temperaturas médias do ar determinadas externamente e internamente.**



**Figura 13 - Temperaturas máximas do ar determinadas externamente e internamente.**

A diferença média entre a temperatura média interna e média externa foi de 1,9 °C, com valores que variaram de -0,1 °C a 4,0 °C.

Para a temperatura máxima, a diferença média entre a temperatura máxima interna e máxima externa foi de 4,3 °C, variando de 1,2 °C a 9,9°C, observando-se excessivo aquecimento no interior da estufa em certos dias, com temperaturas atingindo valores de 42,2°C.

A temperatura mínima do ar também apresentou valores superiores às medidas externas, com valores médios da temperatura mínima superiores em 1,0 °C. Porém, durante 3 dias consecutivos, a temperatura externa apresentou valores superior à interna (Figura 14).

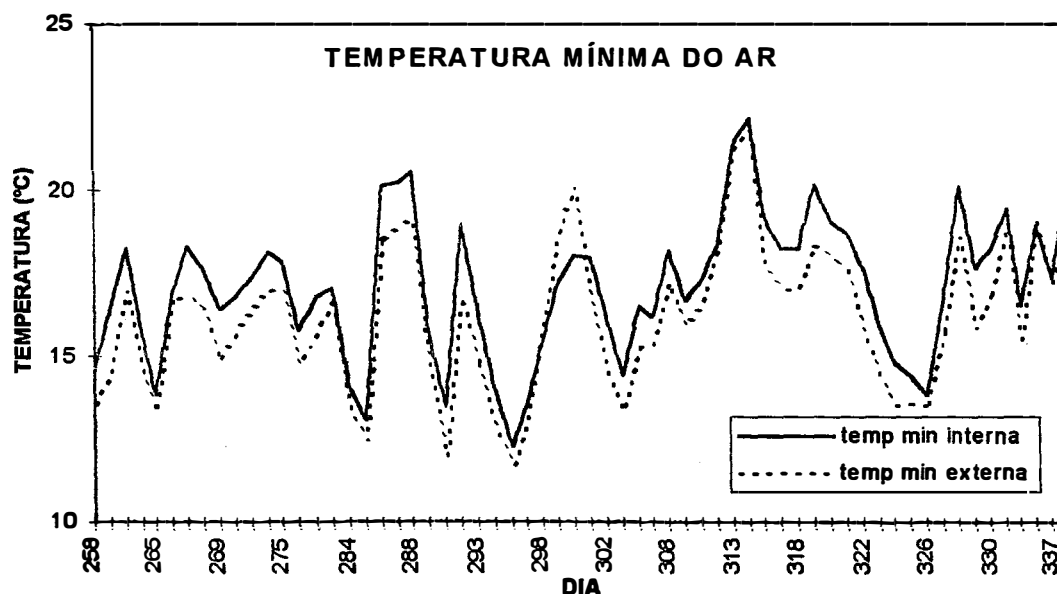
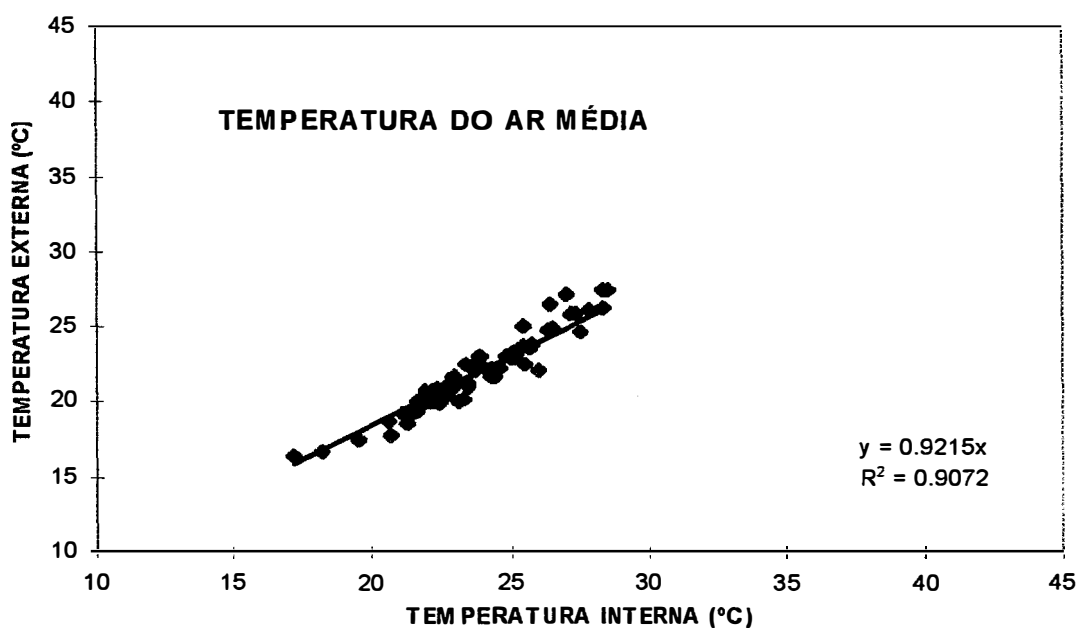


Figura 14 - Temperaturas mínimas do ar determinadas externamente e internamente.

Pode ter contribuído para essa situação o fato dos sensores externos estarem instalados a uma altura superior (7,20m) aos sensores internos (1,50m).

Os valores da temperatura máxima, média e mínima do ar foram, em média, 14,8%, 8,5% e 5,9% maiores no interior da estufa em relação ao exterior (Figuras 15, 16 e 17).

Como a diferença entre as temperaturas máximas foi bastante superior à diferença entre as temperaturas mínimas, pode-se concluir que normalmente a amplitude térmica dentro da estufa é superior à observada externamente.



**Figura 15 - Relação entre as temperaturas médias do ar externas e internas.**

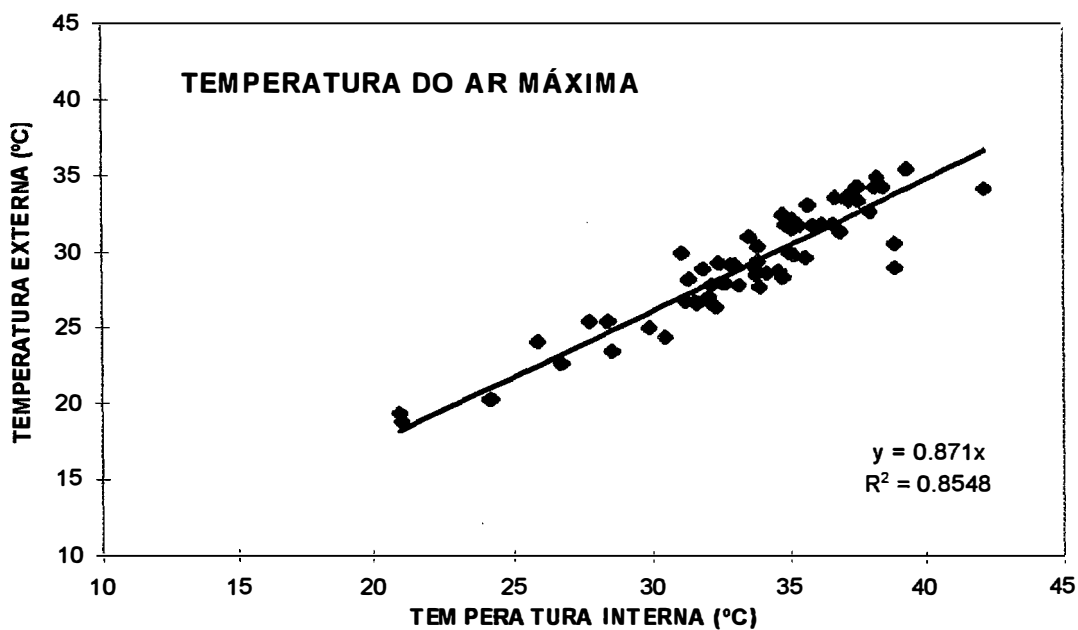


Figura 16 - Relação entre as temperaturas máximas do ar externas e internas.

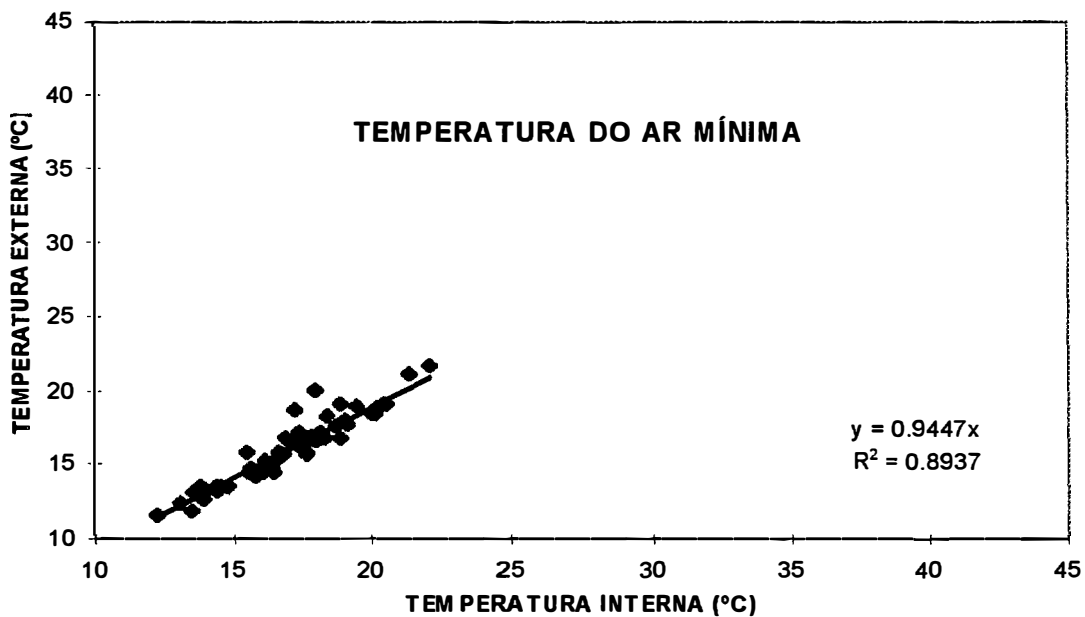


Figura 17 - Relação entre as temperaturas mínimas do ar externas e internas.

### 4.3.3. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar está intimamente relacionada com a temperatura do ar. Como a capacidade do ambiente em reter umidade aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura, supõe-se que a umidade relativa no interior da estufa deva ser sempre menor que a externa. Porém a umidade relativa é bastante influenciada pela evapotranspiração, que eleva a tensão de vapor d'água do ar, e pela baixa taxa de renovação do ar no interior da estufa, fazendo com que observe-se muitas vezes valores da umidade relativa superiores aos verificados externamente, principalmente no período noturno.

As determinações realizadas no período do ensaio mostram que, em média, os valores da umidade relativa do ar medidos externamente foram superiores aos medidos internamente, com valores 4%, 1% e 4% superiores para a umidade relativa máxima, média e mínima, respectivamente.

No entanto a amplitude dos valores observados foi bastante grande, sendo que as diferenças entre a umidade relativa externa e a umidade relativa interna variaram, aproximadamente, entre +10% e -15% tanto para a umidade relativa máxima, quanto para a média e mínima, determinadas diariamente.

A dispersão dos dados pode ser observada nas figuras 18, 19 e 20, principalmente para umidade relativa máxima do ar.

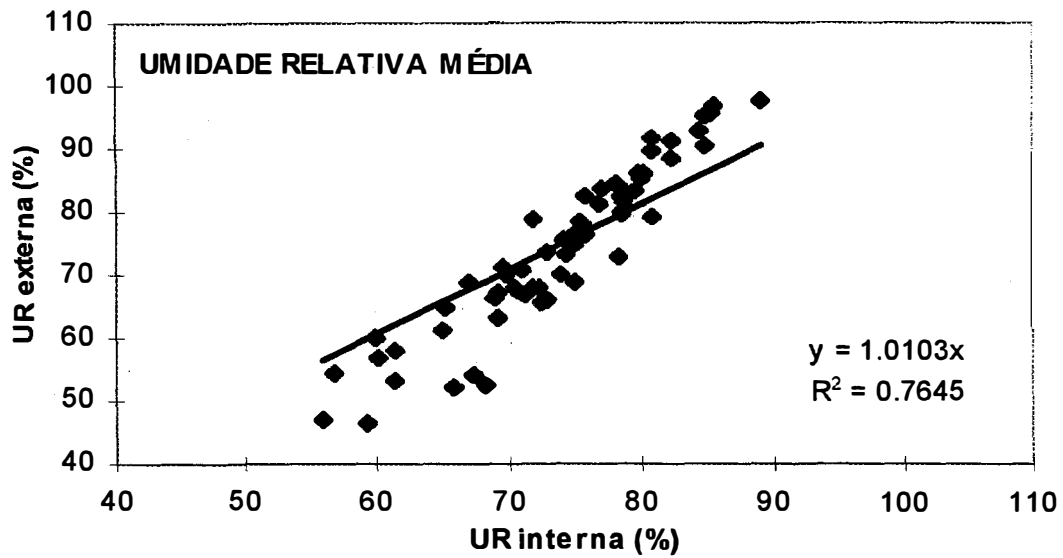


Figura 18 - Relação entre as umidades relativas do ar médias externas e internas

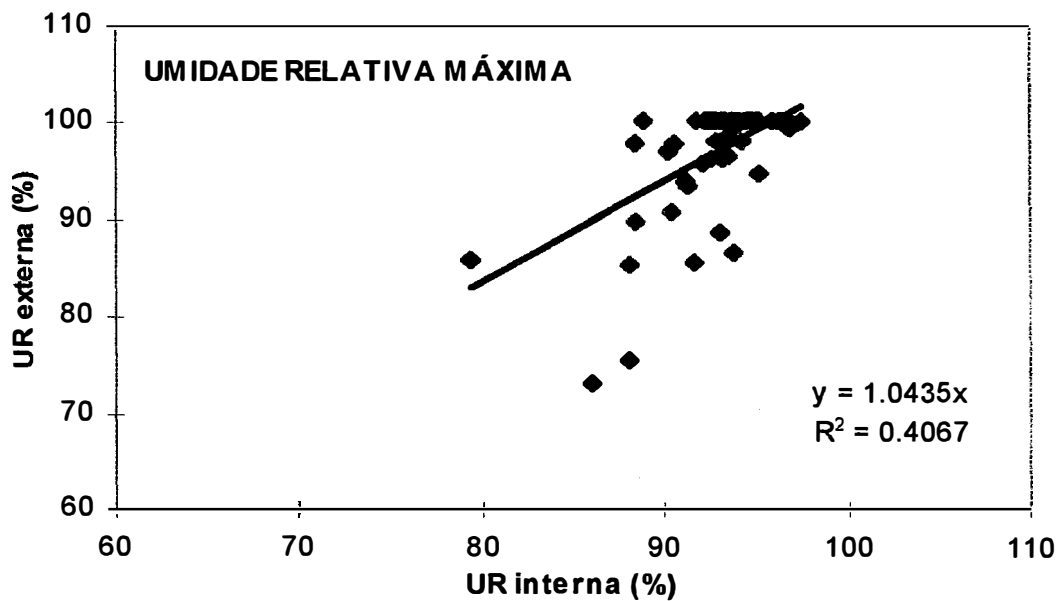
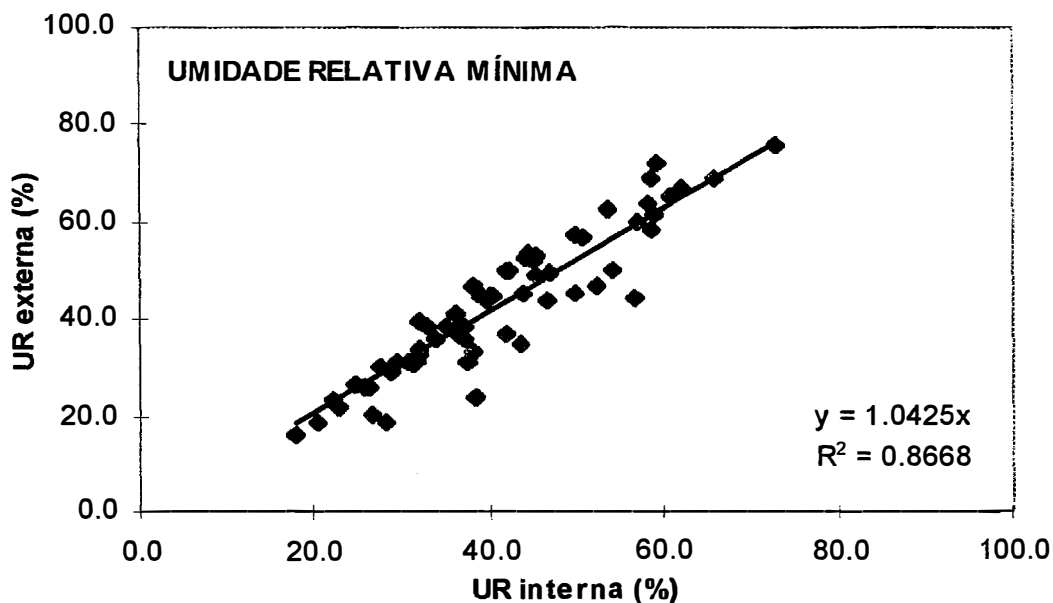


Figura 19 - Relação entre as umidades relativas do ar máximas externas e internas.



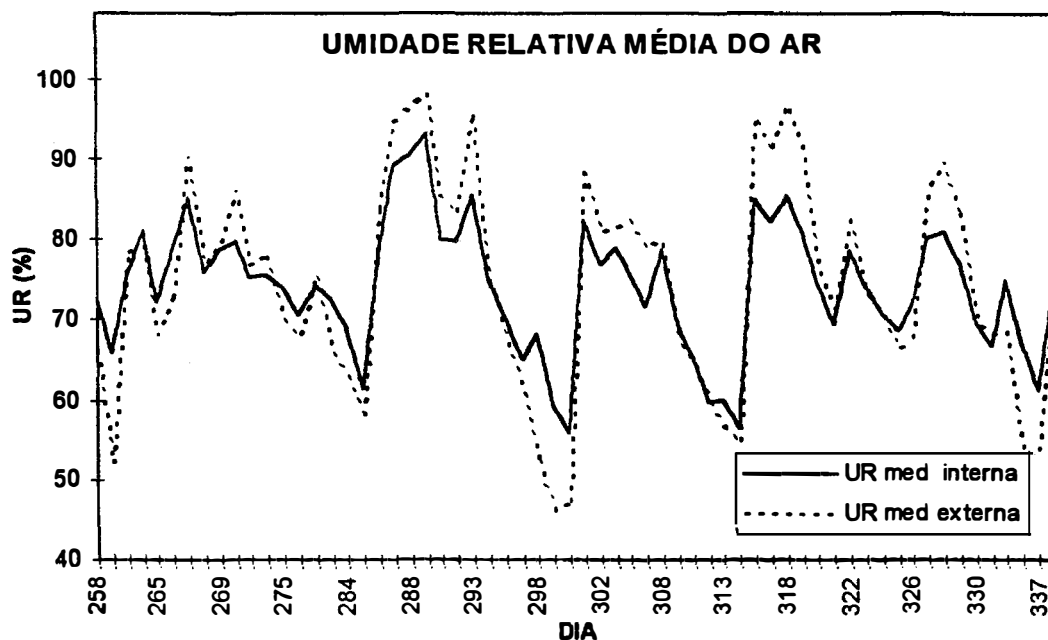
**Figura 20 - Relação entre as umidade relativas do ar mínimas externas e internas.**

Esta maior dispersão, para os valores de umidade relativa máxima, está associada ao período de coleta de dados, que começou em uma época relativamente seca e seguiu até uma época mais chuvosa. Para os dias mais secos, a umidade relativa no interior da estufa tendeu a ser maior que a externa, principalmente devido à evapotranspiração e à menor taxa de renovação do ar. Porém, nos dias mais úmidos observou-se valores menores para a umidade relativa medida no interior da estufa, devido ao manejo empregado, pois a estufa é fechada lateralmente com telado e existem cortinas de polietileno, que são fechadas em dias chuvosos, dificultando as trocas com o ambiente externo.

Quanto à umidade relativa média, observa-se que, nos dias com umidade relativa baixa, os valores medidos no interior da estufa são superiores aos medidos externamente. No entanto, para dias com umidade relativa média alta, os valores no interior da estufa são inferiores. Ou seja,



observa-se menor amplitude na umidade relativa média medida no interior da estufa (Figura 21), provavelmente devido ao manejo de cortinas e a baixa taxa de renovação do ar no interior da estufa, da mesma forma que o observado para a umidade relativa máxima.



**Figura 21 - Umidades relativas do ar médias determinadas externamente e internamente.**

#### **4.4. Regressões lineares múltiplas para estimativa da evapotranspiração**

A partir dos dados coletados foram feitas regressões lineares múltiplas relacionando os seguintes dados meteorológicos internos e externos e dados de crescimento da cultura para estimativa da evapotranspiração diária:

Radiação solar global interna (RGI)

Umidade relativa média interna (URMEI)

Temperatura média interna (TEMEI)

Temperatura máxima interna (TEMAI)

Temperatura mínima interna (TEMII)

Dias após o plantio (DAP)

Radiação solar global externa (RGE)

Umidade relativa média externa (URMEE)

Temperatura média externa (TEMEE)

Temperatura máxima externa (TEMAE)

Temperatura mínima externa (TEMIE)

Como o índice de área foliar apresentou um crescimento linear, optou-se por utilizar o dia após o plantio para caracterizá-lo, com o objetivo de facilitar a entrada de dados nos modelos.

Os modelos de estimativa da evapotranspiração, utilizando os dados do interior da estufa, foram obtidos à partir de 34 dias de observação sorteados aleatoriamente, do total de 58 dias.

Para os modelos à partir de dados do ambiente externo foram utilizados os dados de 20 dias de observação, pois a radiação solar global foi coletada apenas durante 33 dias.

Os parâmetros das variáveis foram estimados para 7 modelos de estimativa da evapotranspiração utilizando os dados meteorológicos internos e o DAP e para 7 modelos utilizando os dados meteorológicos externos e o DAP.

A partir desses parâmetros foram construídas as equações de estimativa da evapotranspiração e calculado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Os modelos de estimativa da evapotranspiração à partir de dados externos apresentaram coeficientes de determinação entre 0,66 e 0,80 (Tabela 7).

**Tabela 7 - Modelos de estimativa da evapotranspiração a partir de dados externos à estufa.**

MODELO	EQUAÇÃO	$R^2$
MOD.1	$ET = 4,10 + 0,268RGE - 0,033URMAE + 0,066URMIE - 0,010TEMAE + 0,195TEMIE - 0,015DAP$	0,80
MOD.2	$ET = 5,04 + 0,154RGE + 0,028URMEE + 0,159TEMEE - 0,008DAP$	0,72
MOD.3	$ET = 5,81 + 0,225RGE - 0,095URMAE + 0,060URMIE - 0,011DAP$	0,72
MOD.4	$ET = 0,16 + 0,209RGE - 0,150TEMAE + 0,250TEMIE - 0,010DAP$	0,76
MOD.5	$ET = 1,15 + 0,132RGE - 0,005URMEE - 0,003DAP$	0,67
MOD.6	$ET = -0,99 + 0,125RGE + 0,092TEMEE - 0,005DAP$	0,70
MOD.7	$ET = 0,69 + 0,138RGE - 0,003DAP$	0,66

Para os modelos de estimativa da evapotranspiração utilizando dados do interior da estufa, verificou-se melhores resultados e um menor desvio dos valores, com coeficientes de determinação variando de 0,77 a 0,81 (Tabela 8).

**Tabela 8 - Modelos de estimativa da evapotranspiração a partir de dados do interior da estufa.**

MODELO	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>
MOD.8	ET = -1,04+0,173RGI-0,020URMAI-0,001URMII+ 0,053TEMAII +0,051TEMII+0,015DAP	0,81
MOD.9	ET = -0,63+0,152RGI-0,016URMEI+0,069TEMEI+0,017DAP	0,79
MOD.10	ET = 4,48+ 0,177RGI-0,053URMAI-0,002URMII+0,018DAP	0,79
MOD.11	ET = -3,49+0,173RGI+0,064TEMAI+0,061TEMII+0,014DAP	0,80
MOD.12	ET = 1,98 +0,150RGI-0,030URMEI+0,019DAP	0,79
MOD.13	ET= -2,58 + 0,164RGI + 0,098TEMEI + 0,016DAP	0,79
MOD.14	ET = -0,54 + 0,181RGI + 0,018DAP	0,77

Estes modelos foram então utilizados para estimar a evapotranspiração dos dias que não entraram no modelo, com a finalidade de verificar a validade das equações propostas, utilizando-se o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o índice de concordância de Willmott (d) como referências para a análise.

Quanto à estimativa, à partir de dados do ambiente externo, utilizando os modelos propostos, observa-se que o coeficiente de determinação não é elevado, apresentando valores que variam de 0,62 a 0,78. Também é importante observar que o coeficiente de determinação do MODELO 7, que utiliza apenas dados de radiação global e índice de área foliar, é um dos mais elevados (R<sup>2</sup>=0,76), possibilitando concluir que as condições externas de temperatura e umidade relativa são bastante modificadas, e não de maneira uniforme, pela estufa e pelo manejo empregado, dificultando a utilização desses elementos, determinados externamente, na estimativa da evapotranspiração (Tabela 9). Porém, quanto à radiação global, sua alteração

ocorre principalmente devido à intercepção pela cobertura plástica, mantendo uma certa uniformidade, o que pode ser observado na Figura 11.

A análise do índice de concordância (d) mostra que, embora seus valores sejam mais elevados, o que é uma característica do método, há uma concordância em relação ao coeficiente de determinação. Também pode-se verificar que os melhores resultados são obtidos por modelos que utilizam apenas a radiação global ou a radiação e a temperatura, além do índice de área foliar, na estimativa (Tabela 9).

**Tabela 9 - Índice de concordância (d) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as equações a partir de dados externos à estufa.**

EQUAÇÃO	d	$R^2$
MOD. 1	0,85	0,62
MOD. 2	0,88	0,68
MOD. 3	0,88	0,72
MOD. 4	0,89	0,73
MOD. 5	0,89	0,78
MOD. 6	0,90	0,77
MOD. 7	0,90	0,76

Utilizando-se os modelos propostos para a estimativa da evapotranspiração à partir de dados do interior da estufa, observa-se que os coeficientes de determinação são bastante semelhantes entre si e superiores em relação aos modelos à partir de dados externos, com valores que variam de 0,85 a 0,87 (Tabela 10).

Quanto ao índice de concordância, os valores são bastante elevados e, proporcionalmente, muito semelhantes aos valores do coeficiente de determinação (Tabela 10).

**Tabela 10 - Índice de concordância (d) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para as equações que utilizaram dados do interior da estufa.**

EQUAÇÃO	d	R <sup>2</sup>
MOD. 8	0,96	0,86
MOD. 9	0,96	0,87
MOD. 10	0,97	0,87
MOD. 11	0,96	0,85
MOD. 12	0,97	0,87
MOD. 13	0,96	0,86
MOD. 14	0,96	0,86

São também analisados os totais da evapotranspiração observada para o total de dias utilizado na validação do modelo e comparados com os totais da evapotranspiração estimada. Para os modelos que utilizam dados externos verifica-se que a evapotranspiração é superestimada, com valores variando entre +15% e +18% (Figuras 22 a 28). Os modelos que utilizam dados internos são bem mais exatos e precisos, apresentando valores totais da evapotranspiração, em média 2% superiores aos observados e com valores variando entre +2% e +3% (Figuras 29 a 35).

Estes resultados permitem concluir que os modelos propostos à partir de elementos meteorológicos do interior da estufa são viáveis para a estimativa da evapotranspiração, podendo-se seleccionar entre eles o mais conveniente, em função dos equipamentos disponíveis.

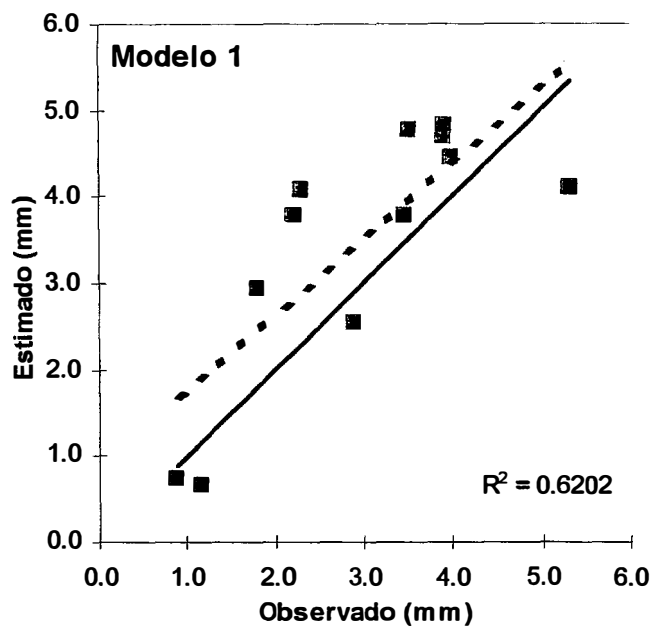


Figura 22 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (— regressão; — 1:1).

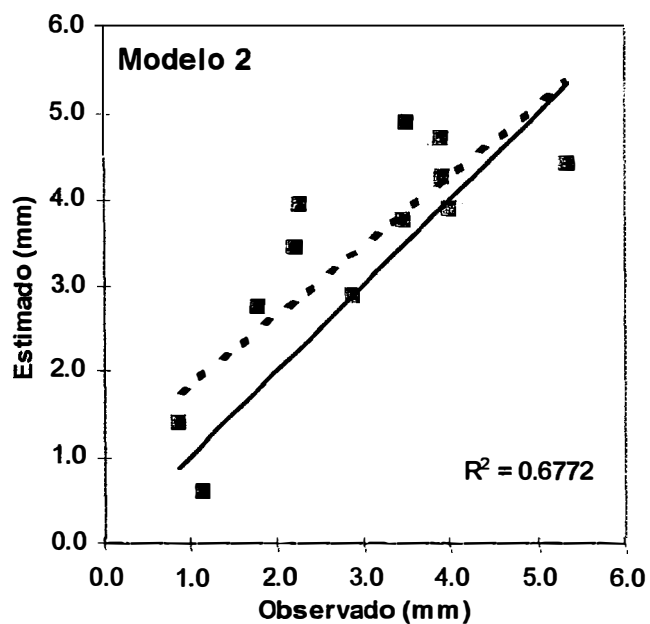


Figura 23 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (— regressão; — 1:1).

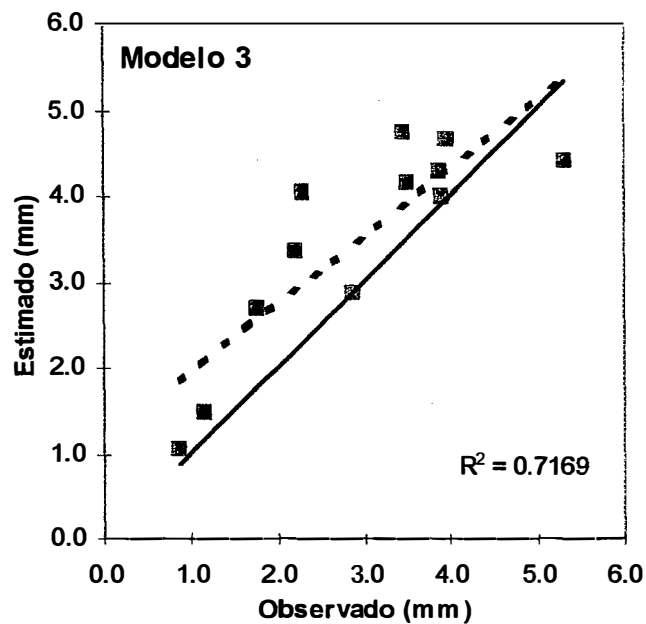


Figura 24 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (--- regressão; — 1:1).

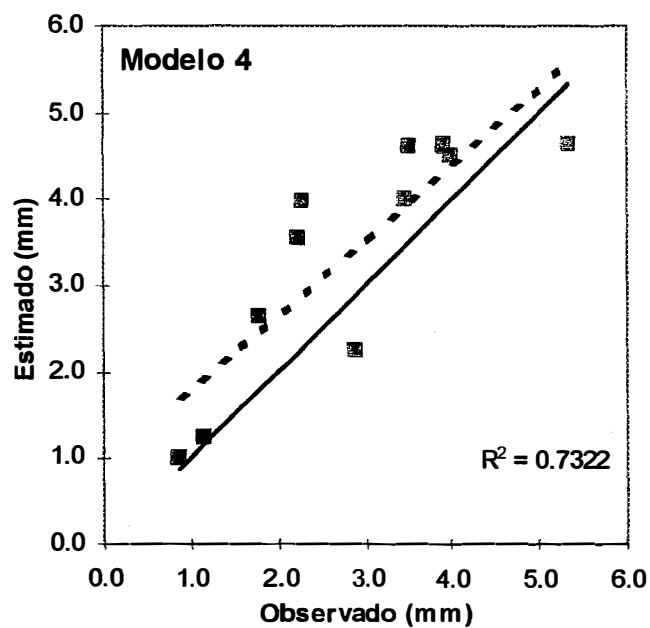


Figura 25 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (--- regressão; — 1:1).



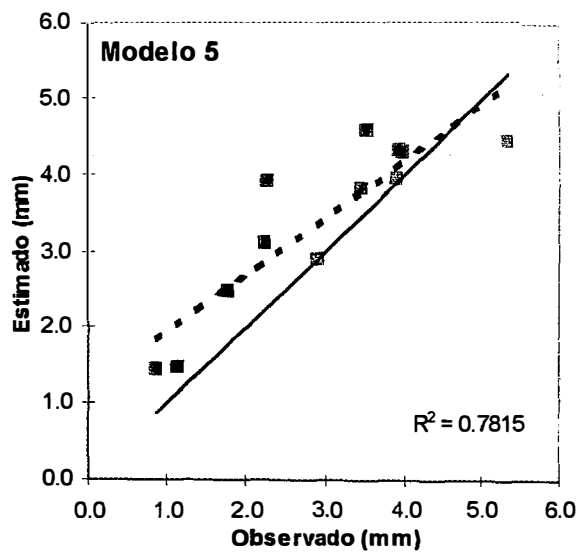


Figura 26 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1).

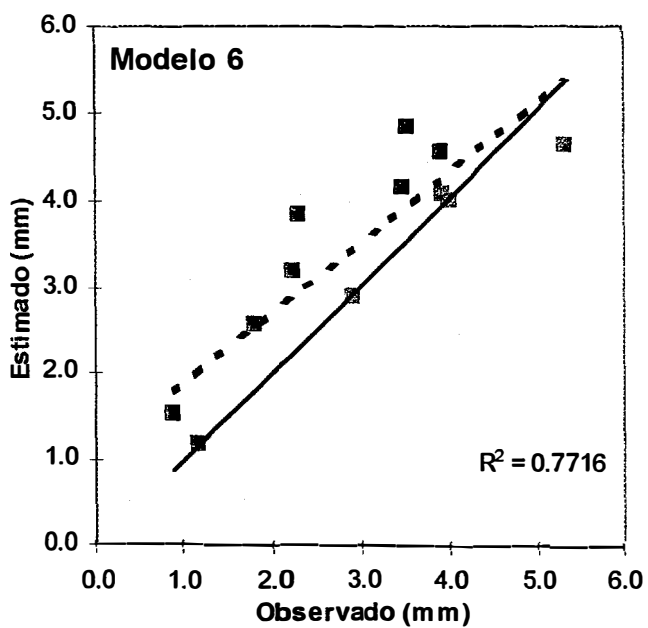


Figura 27 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (---- regressão; — 1:1).

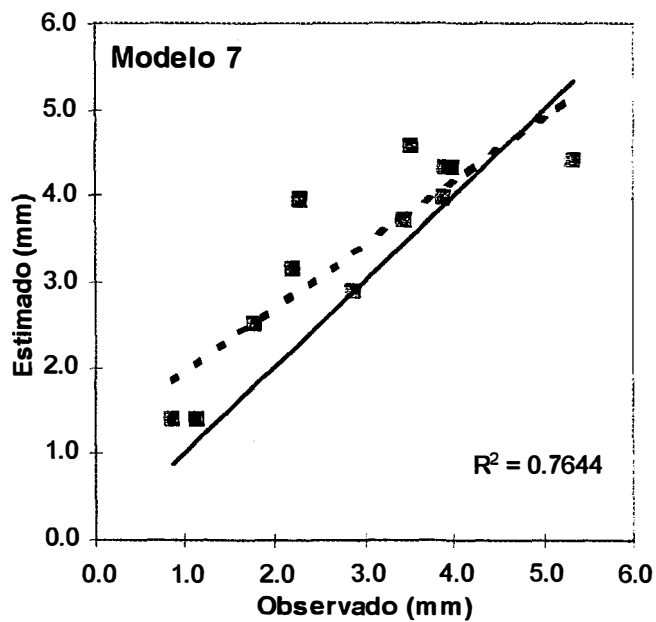


Figura 28 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados externos à estufa (--- regressão; — 1:1).

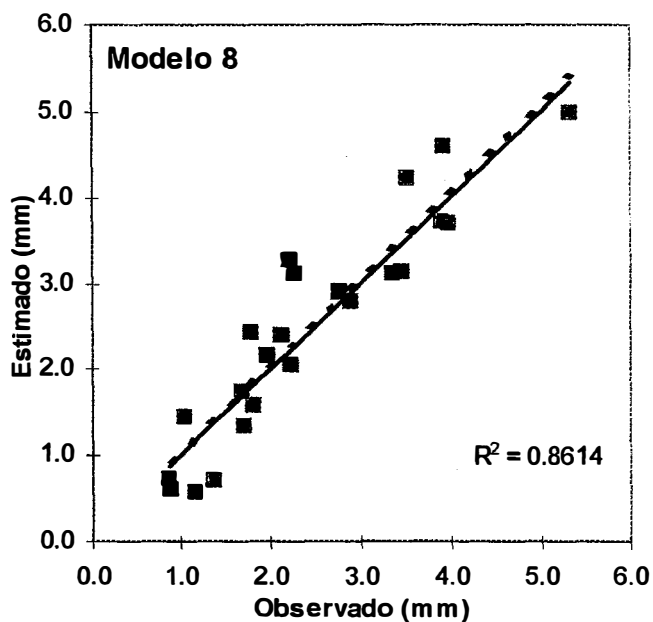


Figura 29 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (--- regressão; — 1:1).

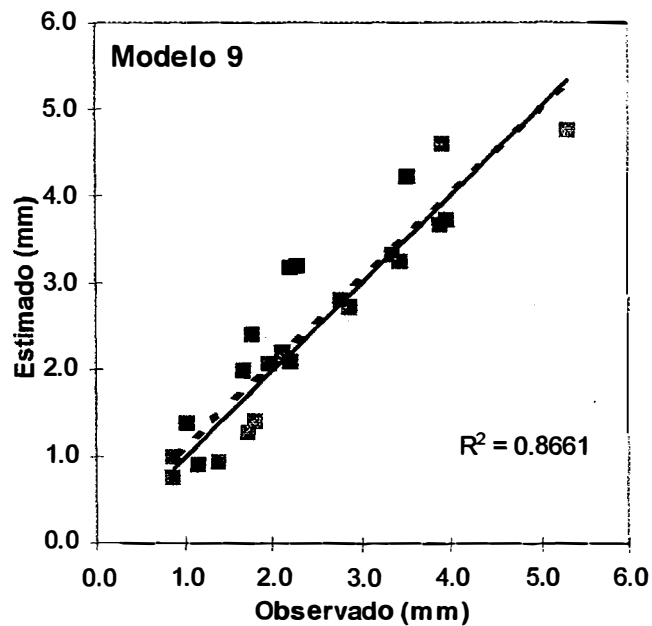


Figura 30 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (— regressão; — 1:1).

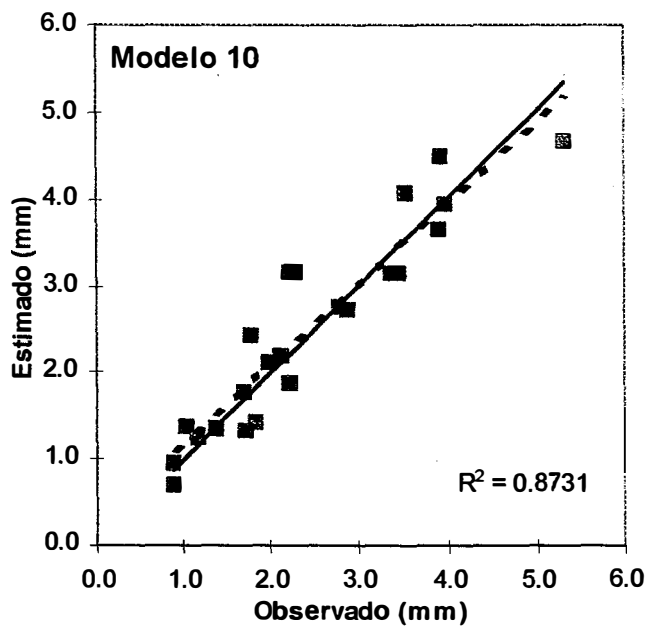


Figura 31 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (— regressão; — 1:1).

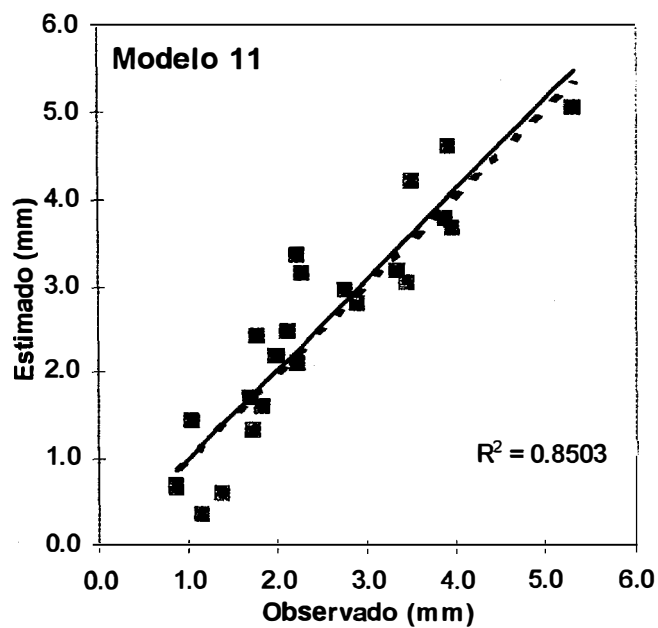


Figura 32 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (--- regressão; — 1:1).

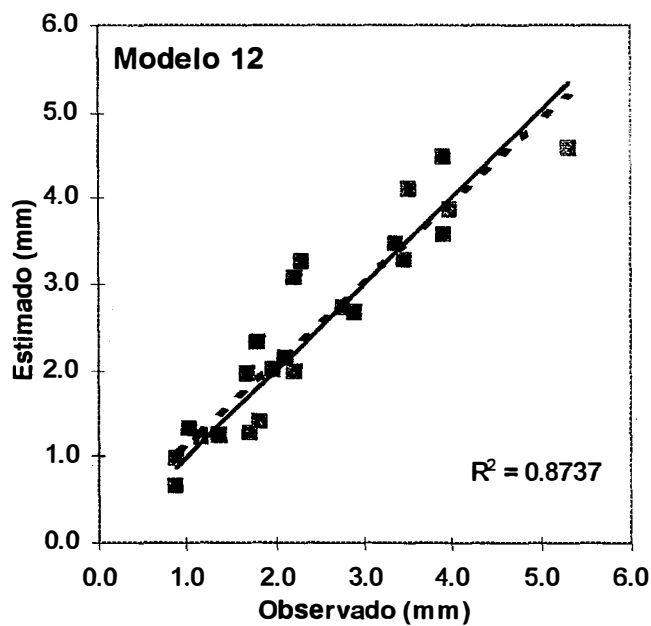


Figura 33 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (--- regressão; — 1:1).

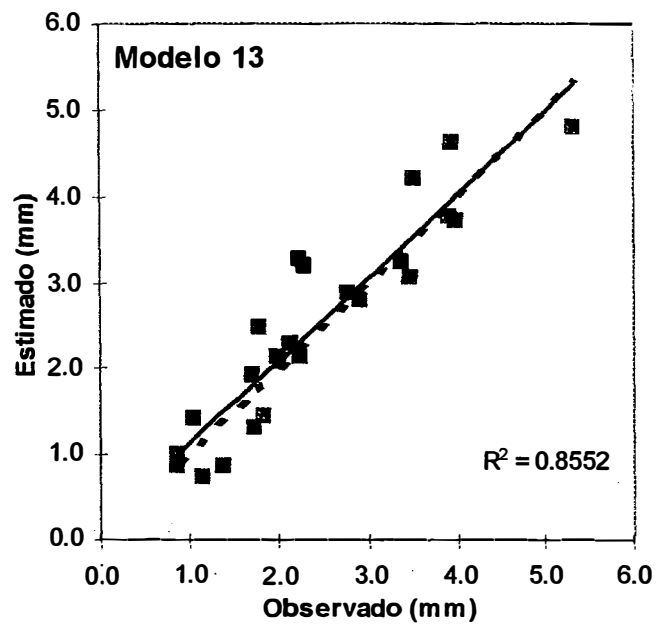


Figura 34 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (--- regressão; — 1:1).

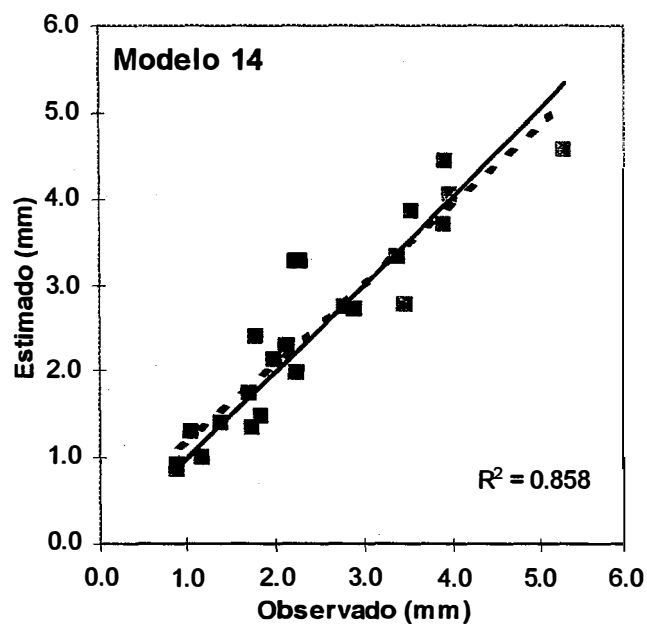


Figura 35 - Relação entre valores estimados e observados da evapotranspiração, a partir de dados internos à estufa (--- regressão; — 1:1).

## 5. CONCLUSÃO

A evapotranspiração é condicionada pelos elementos meteorológicos, sendo, de maneira geral, diretamente proporcional à radiação solar global e à temperatura do ar e inversamente proporcional à umidade relativa do ar. Porém, o ambiente da estufa e, principalmente seu manejo, alteraram os elementos meteorológicos de maneira não uniforme, dificultando a estimativa da evapotranspiração a partir de elementos externos à estufa.

Os principais fatores a serem considerados na estimativa da evapotranspiração foram a radiação solar global e o índice de área foliar. Os demais elementos meteorológicos, embora influenciem a evapotranspiração, não representaram grandes variações na estimativa, com diferenças em torno de 1% para o total estimado no período pelos modelos a partir de elementos internos. Porém observou-se menor dispersão dos valores diários determinados por modelos mais completos.

Os modelos propostos para a estimativa da evapotranspiração diária à partir de elementos meteorológicos, determinados no interior da estufa, são viáveis para a estimativa da evapotranspiração, podendo-se utilizar apenas a radiação solar global e o índice de área foliar. No entanto, é importante salientar que os demais elementos meteorológicos, quando atingem valores extremos, afetam o metabolismo da planta e podem interferir significativamente na evapotranspiração, reduzindo a precisão da estimativa.

## 6 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-RIahi, M; AL-KARAGHOULI, A.; HASSON, A. W. Relations between radiation fluxes of a greenhouse in semi-arid conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.44, p.329-338, 1989.
- BAILLE, A. Water status monitoring in greenhouse crops. *Acta Horticulturae*, n.304, p.15-27, 1992.
- BAILLE, M.; BAILLE A.; DELMON D. Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.71, p.83-97, 1994b.
- BAILLE, M.; BAILLE, A.; LAURY, J. C. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. *Scientia Horticulturae*, n.59, p.217-232, 1994a.
- BAILLE, M.; LAURY, J. C.; MOREL, P.; BAILLE, A. Mesure et estimation de l'évapotranspiration sous serre des plantes ornementales en pot. *Cahier C.N.I.H.*, n.15, p.33-37, 1990.
- BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre, IPAGRO, 95p., 1981. (IPAGRO, Boletim Técnico, 7).
- BOULARD, T.; BAILLE, A.; LE GALL, F. Etude des différentes méthodes sur le climat et la transpiration de tomates sous serre. *Agronomie*, n.11, p.543-553, 1991.

- BOULARD, T.; BAILLE, A.; MERMIER, M.; VILETTE, F. Mesures et modélisation des effets de la résistance stomatique foliaire et de la transpiration d'un couvert de tomates de serre. *Agronomie*, n.11, p.259-274, 1991.
- BOULARD, T.; JEMAA, R. Greenhouse tomato crop transpiration model. Application to irrigation control. *Acta Horticulturae*, n.335, p.381-387, 1993.
- BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M.; ESTEFANEL, V.; ANDRIOLO, J. L.; MEDEIROS, S. L. P. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, n.1, p.43-49, 1993.
- COCKSHULL, K. E.; GRAVES, C. J.; CAVE, C. R. J. The influence of shading on yield of glasshouse tomato. *Journal of Horticultural Science*, n.67, p.11-24, 1992.
- DE GRAAF, R. Automation of the water supply of glasshouse crops by means of calculating the transpiration and measuring the amount of drainage water. *Acta Horticulturae*, n.229, p.219-227, 1988.
- DE GRAAF, R.; VAN DEN ENDE, J. Transpiration and evapotranspiration of the glasshouse crops. *Acta Horticulturae*, n.119, p.147-158, 1981.
- DE VILLÈLE, O. Besoins en eau des cultures sous serre: essai de conduite des arrosages en fonction de l'ensoleillement. *Acta Horticulturae*, n.35, p.123-129, 1974.
- DENMEAD, O. T.; SHAW, R. H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy Journal*, n.45, p.385-390, 1962.



- FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M. A.; OLIVEIRA, A. C. B. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, n.1, p.51-62, 1993a.
- FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M. A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, n.1, p.31-36, 1993b.
- FYNN, R. P.; AL-SHOOSHAN, A.; SHORT, T. H.; McMAHON, R. W. Evapotranspiration measurement and modeling for a potted chrysanthemum crop. *American Society of Agricultural Engineers*, vol.36, n.6, p.1907-1913, 1993.
- GATES, D. M.; PAPAIN, L. E. *Atlas of energy budgets of plant leaves*. New York: Academic Press, 1971.
- GISLERÖD, H. R.; SELMER-OLSEN, A. R.; MORTENSEN, L. M. The effect of air humidity on nutrient uptake of some greenhouse plants. *Plant and Soil*, n.102, p.193-196, 1987.
- GRAFIADELLIS, M. A study of greenhouse covering plastic sheets. *Acta Horticulturae*, n.170, p.133-142, 1985.
- JOLLIET, O. Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Resources*, n.57, p.23-37, 1994.
- JOLLIET, O.; BAILEY, B. J. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.58, p.43-62, 1992.
- JONES, H. G. *Plants and microclimate*. Cambridge University Press. Cambridge, U. K., 428p., 2a. ed., 1992.

- KURATA, K. Role of reflection in light transmissivity of greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.52, p.319-331, 1990.
- LAKE, J. V.; POSTLETHWAITE, J. D.; SLACK, J. e EDWARDS, R. I. Seasonal variation in the transpiration of glasshouse plants. *Agricultural and Forest Meteorology*, n.3, p.187-196, 1966.
- LANGHANS, R. W.; DREESEN, D. R. Carbonic dioxide. In: Tayama, H. K.; Roll, T. J. (Ed.). *Tips on growing potted chrysanthemums*. OCES. Ohio State University, 81p, 1990.
- MARCELIS, L. F. M. Simulation of plant-water relations and photosynthesis of greenhouse crops. *Scientia Horticulturae*, vol. 41, p. 9-18, 1989.
- MARTIN, E. C.; NOVOA, A. C.; GOMES, S. J. Estudio comparativo de las propiedades de diversos materiales utilizados como cubierta en cultivos protegidos. *Revista de Plásticos Modernos*, n.308, p.185-189, 1982.
- MARTINEZ GARCIA, P. F. Características climáticas de los invernaderos de plástico. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias - INIA. *Hojas Técnica*, 19, 48p., 1978.
- MILLS, P. J. W.; SMITH, I. E.; MORAIS, G. A greenhouse design for a cool subtropical climate with mild winters based in microclimatic measurements of protected environments. *Acta Horticulturae*, n.281, p.83-93, 1990.
- MONTEITH, J. L. *Principles of environmental physics*. London, Edward Arnold, 241p., 1973.
- MONTERO, J. I.; CASTILLA, N.; GUTIERREZ DE RAUÉ, E.; BRESTONES, F. Climate under plastic in the Almeria area. *Acta Horticulturae*, n.170, p.227-234, 1985.
- MORRIS, L. G.; NEALE, F. E. e POSTLETHWAITE, J. D. Transpiration of glasshouse crops and its relationship to the incoming solar radiation. *Journal of Agricultural Engineering Resources*, n.2, vol.2, p111-122, 1957.

- OKUYA, A. e OKUYA, T. The transpiration of greenhouse tomato plants in rockwool culture and its relationship to climate factors. *Acta Horticulturae*, n.230, p.307-311, 1988.
- PEREIRA, A. R. Apontamentos da disciplina LFM 704 - Evapotranspiração. Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 91p.,1994.
- PEREIRA, A. R. Apontamentos da disciplina LFM 594 - Análise física do ambiente. Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 5p., 1995.
- PEREIRA, A. R.; ARRUDA, H. V. Ajuste prático de curvas na pesquisa agropecuária. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 50p.
- ROBLEDO DE PEDRO, F.; VICENTE, L. M. Aplicacion de los plasticos en la agricultura. 2a. ed., Madrid, Mundi-Prensa, 573p., 1988.
- SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: Seeman, J. et alii, *Agrometeorology*. New York, Springer-Verlag, p.167-178, 1979.
- STANGHELLINI, C. Crop transpiration: A greenhouse climate control parameter. *Acta Horticulturae*, n.245, p.384-388, 1989.
- TANAKA, M.; GENTA, H. Control del medio ambiente bajo invernadero y tunel plastico. Salto: Uruguay: Estación Experimental de Citricultura, 61p., 1982.
- TAPIA, G. J. Filmes térmicos para invernaderos. *Revista de los plasticos modernos*, España, v.295, p.75-82, 1981.
- LANGHANS, R. W.; DREESEN, D. R. Carbon dioxide. In: TAYAMA, H. K. & ROLL, T. J., ed. *Tips on growing potted chrysanthemums*. OCES, Ohio State University, 1990, 81p.
- VILLA NOVA, N.A. Principais métodos climáticos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba. ESALQ/Depto. de Física e Meteorologia, 22p., 1987.

- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. American Meteorological Society, vol.63, n.11, p.1309-1313, 1982.
- YANG, X.; SHORT, T. H.; FOX, F. D.; BAUERLE, W. L. The microclimate and transpiration of a greenhouse cucumber crop. American Society of Agricultural Engineers, vol. 32, n.6, p.2143-2150, nov/dez. 1989.
- YANG, X.; SHORT, T. H.; FOX, F. D.; BAUERLE, W. L. Transpiration, leaf temperature and stomatal resistance of a greenhouse cucumber crop. Agricultural and Forest Meteorology, n.51, p.197-209, 1990.