

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CALIBRAÇÃO DE TANQUES EVAPORÍMETROS DE BAIXO CUSTO  
SOB DIFERENTES DIÂMETROS EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**LEANDRO CAIXETA SALOMÃO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Outubro – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**CALIBRAÇÃO DE TANQUES EVAPORÍMETROS DE BAIXO CUSTO  
SOB DIFERENTES DIÂMETROS EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**LEANDRO CAIXETA SALOMÃO**

**Orientador: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Outubro – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S173c Salomão, Leandro Caixeta, 1982-  
Calibração de tanques evaporímetros de baixo custo sob diferentes diâmetros em ambiente protegido / Leandro Caixeta Salomão. - Botucatu : [s.n.], 2012  
vii, 74 f. : il., fots. color.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Roberto Lyra Villas Bôas  
Inclui bibliografia

1. Tanques. 2. Evaporímetro. 3. Irrigação. 4. Calibração. 5. Alface. I. Villas Bôas, Roberto Lyra. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

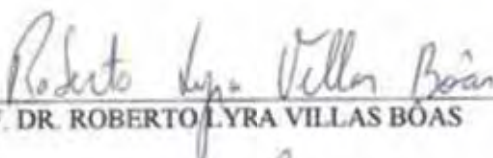
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

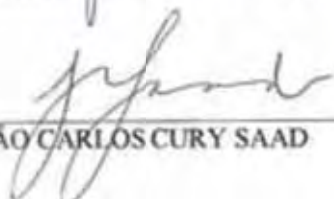
TÍTULO: "CALIBRAÇÃO DE TANQUES EVAPORÍMETROS DE BAIXO  
CUSTO SOB DIFERENTES DIÂMETROS EM AMBIENTE  
PROTEGIDO"

ALUNO: LEANDRO CAIXETA SALOMÃO

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÓAS


Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BÓAS

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. EDUARDO HENRIQUE MENDES DOS SANTOS

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. THAIS REGINA DE SOUZA

Data da Realização: 01 de outubro de 2012.

### **Dedico**

Aos meus queridos pais pelo imenso apoio e incentivo ao longo desta jornada.

À minha irmã Daniela e ao meu irmão Luciano pelo estímulo e respeito.

À minha pequena sobrinha Isadora, fonte de alegria, luz e paz.

À minha esposa Priscilla pelo amor, companheirismo e incentivo ao longo desta caminhada.

À Paolla, por todo amor, carinho e apoio.

A toda minha família pela compreensão nos momentos em que não estive presente.

**Ofereço**

A todos que  
contribuíram para minha  
formação profissional até este  
momento.

A chuva cai e molha o chão,  
faz crescer a plantação...

Se a chuva parar e a terra secar,  
plantas podemos regar...

Brota, acende a esperança,  
o menino se encanta...

Mas não podemos desperdiçar,  
para que água não venha a faltar...

Gotas de água que molham,  
rios de água que rolam...

É urgente começar,  
poupar, preservar, economizar...

**(Waldir Marouelli)**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte inesgotável de amor, paz e sabedoria, pela saúde, disposição e persistência durante esta jornada;

À Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, pela oportunidade da realização do curso, especialmente ao Departamento de Engenharia Rural e Departamento de Recursos Naturais/Ciência do solo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

À Universidade Estadual de Goiás – UnU Ipameri, pela aprovação do projeto de pesquisa, contribuindo para formação dos alunos de graduação de iniciação científica – PBIC/UEG e PVIC/UEG (Antônio Edenir de Castro Mota Júnior, Diogo Paz Evangelista Fernandes e Maxmilyano Colld Ribeiro);

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, pela concessão da área experimental, juntamente com seus servidores que se dedicaram ao desenvolvimento deste trabalho. Em especial aos amigos Fernando Soares de Cantuário, Alexandre Igor de Azevedo Pereira, Luiz Gonzaga Frazão e Carlos Portela pela participação direta neste trabalho;

Ao Professor e orientador Roberto Lyra Villas Bôas, pela confiança, incentivo, amizade e ensinamentos;

Aos professores João Calos Cury Saad, Dirceu Maximino Fernandes, Raimundo Leite Cruz, Antônio Evaldo Klar, Antônio de Pádua Sousa, pelos quais tenho carinho e admiração, e a todos os professores da FCA;

Aos Professores e pesquisadores Eduardo Henrique Mendes dos Santos, Thais Regina de Souza, Gláucia de Mello Pelá e Gilson Dourado da Silva, pela disposição de participar deste trabalho;

A todos os amigos do curso de pós-graduação, pelo convívio e principalmente pela grande amizade;

Enfim, a todos que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.



## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XI
RESUMO .....	1
SUMMARY .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	7
2.1 Cultura da alface .....	7
2.2 Necessidade hídrica da cultura da alface .....	9
2.3 Cultivo protegido .....	11
2.4 Irrigação localizada .....	14
2.5 Fertirrigação.....	17
2.6 Manejo da irrigação e evapotranspiração .....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3.1 Localização e característica da área experimental .....	23
3.2 Tratamentos e delineamento estatístico .....	26
3.3 Preparo do solo e adubação de plantio .....	29
3.4 Produção de mudas .....	30
3.5 Doses e parcelamento de N e K na fertirrigação .....	30
3.6 Manejo da fertirrigação .....	31
3.7 Obtenção da curva de retenção de água no solo .....	31
3.8 Manejo da irrigação .....	31
3.8.1 Uniformidade do sistema de irrigação localizada .....	33
3.9 Temperatura, umidade relativa do ar e sistema de nebulização .....	36
3.10 Condução do experimento e análises realizadas .....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4.1 Condições climáticas no 1º e 2º cultivo .....	39

4.2 Comportamento das lâminas de água aplicadas no 1º e 2º cultivos .....	42
4.3 Lâminas de água acumuladas no 1º e 2º cultivos .....	44
4.4 Eficiência do uso da água no 1º e 2º cultivos .....	47
4.5 Características produtivas avaliadas no 1º e 2º cultivos .....	50
4.5.1 Avaliação da altura de planta .....	50
4.5.2 Avaliação da matéria fresca .....	51
4.5.3 Avaliação da matéria seca .....	53
4.5.4 Avaliação do número de folhas .....	55
4.5.5 Produtividade .....	58
5. CONCLUSÕES .....	61
6. REFERÊNCIAS .....	62

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Localização do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí - GO e ambientes protegidos. .....	23
2. Vista frontal (A) e lateral (B) do ambiente protegido .....	24
3. Distribuição das linhas laterais no experimento .....	25
4. Vista geral do experimento no interior do ambiente protegido com os diferentes TEDs .....	27
5. Preparo do solo no interior do ambiente protegido .....	29
6. Sistema de bombeamento e injetor de fertilizante tipo Venturi .....	30
7. Curvas de retenção da água no solo, para as camadas de 0-10 (A) e 10-20 (B) cm .....	31
8. Coletor utilizado na determinação da uniformidade de distribuição de água .....	33
9. Abrigo meteorológico .....	36
10. Temperatura do ar no interior do ambiente protegido para o 1º cultivo (°C) .....	39
11. Temperatura do ar no interior do ambiente protegido para o 2º cultivo (°C) .....	40
12. Média da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido para o 1º cultivo (UR%) .....	41
13. Média da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido para o 2º cultivo (UR%).....	42
14. Comportamento de lâminas de água aplicadas durante o período experimental para o 1º cultivo (mm) .....	43
15. Comportamento de lâminas de água aplicadas durante o período experimental para o 2º cultivo (mm) .....	44
16. Médias de lâmina total de água acumuladas durante o período experimental para o 1º cultivo (mm) .....	45
17. Relação entre a lâmina de água acumulada (mm) em função dos diferentes diâmetros	

dos TEDs (cm) .....	46
18. Médias de lâmina total de água acumuladas durante o período experimental para o 2º cultivo (mm) .....	47
19. Médias ( $\pm$ EP) da altura (cm) de plantas de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos .....	51
20. Médias ( $\pm$ EP) da matéria fresca (g) de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos .....	53
21. Médias ( $\pm$ EP) da matéria seca (g) de plantas de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos .....	55
22. Médias ( $\pm$ EP) do número de folhas de plantas de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos .....	56
23. Médias ( $\pm$ EP) para produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de plantas alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm, no 1º e 2º cultivos .....	59

**LISTA DE TABELAS**

	Página
1. Resultado da análise de textura do solo .....	25
2. Resultado da análise química do solo para o 1º e 2º cultivos .....	26
3. Coeficiente de tanque corrigido ( $Kt_c$ ) .....	28
4. Valores de coeficiente da cultura ( $Kc$ ) para três fases de desenvolvimento da alface após o transplântio das mudas (Adaptado de Bastos, 1994) .....	33
5. Resumo da análise de variância para lâmina de água acumulada ( $LA - mm$ ), no 1º e 2º cultivos .....	44
6. Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água ( $EUA$ ), de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos .....	48
7. Eficiência do uso da água para os diferentes TEDs no 1º e 2º cultivos .....	49
8. Resumo da análise de variância para altura (cm) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos .....	50
9. Resumo da análise de variância para matéria fresca (g) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos .....	52
10. Resumo da análise de variância para matéria seca (g) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos .....	54
11. Resumo da análise de variância para número de folhas, de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos .....	55
12. Resumo da análise de variância para produtividade ( $kg\ ha^{-1}$ ) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos .....	58

**CALIBRAÇÃO DE TANQUES EVAPORÍMETROS DE BAIXO CUSTO SOB DIFERENTES DIÂMETROS EM AMBIENTE PROTEGIDO.** Botucatu, 2012. 74p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: LEANDRO CAIXETA SALOMÃO

Orientador: ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

## **RESUMO**

Aplicar a lâmina de água no momento adequado e na quantidade necessária é de fundamental importância para o êxito do empreendimento agrícola irrigado. Para isso, faz-se necessário adotar técnicas de manejo de irrigação que auxiliem na melhor tomada de decisão. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de calibrar tanques evaporímetros de diferentes diâmetros e de baixo custo, com o intuito de avaliar a possibilidade de seu uso para o monitoramento da irrigação em ambiente protegido. O experimento foi conduzido em ambiente protegido na área experimental da Unidade Educacional de Produção de Olericultura do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, estado de Goiás. Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro tratamentos (diferentes diâmetros de tanque evaporímetro) e quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais, representadas por canteiros de dimensões de 4 m de comprimento por 1 m de largura. Os tanques evaporímetros foram confeccionados com altura padrão de 24 cm, entretanto com diâmetros distintos 52, 43, 35 e 28 cm de diâmetros internos, sendo T1, T2 T3 e T4, respectivamente. Para confecção foram aproveitados tambores metálicos reutilizáveis. As pinturas interna e externa foram feitas com tinta látex prata. Os tratamentos foram constituídos de tanques de diferentes diâmetros internos resultando em níveis de reposição de água no solo, após leitura da evaporação obtida pelos tanques evaporímetros. As leituras foram realizadas com auxílio de uma régua milimétrica fixada na parede interna em todos os tanques evaporímetros. Utilizou-se como planta teste a alface cv. Verônica. As variáveis

analisadas foram: altura da planta, número de folhas, matéria fresca, matéria seca, produtividade e eficiência do uso da água. Os resultados demonstraram que é possível recomendar o uso dos tanques evaporímetros desenvolvidos neste trabalho para auxiliar ao manejo da irrigação em ambiente protegido. A metodologia de calibração do Kt utilizada no segundo cultivo mostrou ser eficiente, podendo ser recomendada para outros estudos. As lâminas de irrigação aplicadas em função dos tanques evaporímetros desenvolvidos não influenciaram significativamente nas características físicas e na produtividade da alface nos dois cultivos avaliados.

**Palavras-chave:** tanques evaporímetros, alface, ambiente protegido e calibração.

**CALIBRATION OF EVAPORIMETERS TANKS WITH LOW COST UNDER DIFFERENT DIAMETERS IN GREENHOUSE CONDITIONS.** Botucatu, 2012. 74p.

Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: LEANDRO CAIXETA SALOMÃO

Adviser: ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

## **SUMMARY**

Apply a irrigation depths layer at the right time and in the needed amount is fundamental to the success of irrigated agricultural enterprise. For this, it is necessary to adopt techniques of irrigation management that assist in making better decision. This work was developed with the aim of gauging evaporimeters tanks of different diameters and low cost, in order to evaluate the possibility of their use for monitoring irrigation in greenhouses. The experiment was conducted in a greenhouse at the experimental area of the Educational Unit of Production of Vegetable Crops of the Federal Institute Goiano, Campus Urutaí, state of Goiás. The experiment was set up as a randomized block design with four treatments (different diameters of evaporimeter tanks) and four replications, being a total of 16 experimental plots represented by beds of dimensions of 4 m long and 1 m wide. Evaporimeter tanks were manufactured with standard height of 24 cm, however with different diameters 52, 43, 35 and 28 cm internal diameter, being T1, T2, T3 and T4, respectively. To make it, it was utilized reusable metal drums. The internal and external paintings were made with latex paint silver. The treatments consisted of tanks of different internal diameters resulting in replacement levels of water in the soil, after reading obtained by evaporation in the evaporimeter tanks. Readings were taken with the help of a millimeter ruler attached to the inside wall in all evaporimeter tanks. It was used as test plant lettuce cv. Veronica. The variables analyzed were: plant height, number of leaves, fresh weight, dry weight, productivity and efficiency of water use. The results showed that it is possible to recommend the use of



evaporimeter tanks developed in this work to assist the irrigation management in a protected environment. The calibration methodology of  $K_t$  used in the second cultivation is efficient and can be recommended for further studies. The irrigation depths applied according to evaporimeters tanks did not influence significantly in the physical characteristics and productivity of lettuce in the two evaluated crops.

**Keywords:** evaporimeter tanks, lettuce, greenhouse and calibration.

## 1. INTRODUÇÃO

Como no ambiente protegido não há reposição natural de água pelas chuvas, a irrigação assume papel fundamental nesse sistema de cultivo. O déficit hídrico acarreta queda de rendimento e de qualidade, entretanto, o excesso de água aliado à ocorrência de altas temperaturas podem favorecer a incidência de patógenos, o que exige especial atenção no manejo da irrigação. A estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) torna-se indispensável no manejo racional da irrigação, devendo-se ressaltar que as alterações inerentes ao sistema exigem estudos para que se possa avaliar as melhores metodologias para o manejo adequado da água para as culturas sob tais condições (FARIAS, 1993; FACCIOLI, 1998).

Os tanques de evaporação têm sido estudados para quantificar diretamente a demanda evapotranspirativa do ambiente (BURIOL et al., 2001; VÁSQUEZ et al., 2005; KOETZ et al., 2006), nos quais a evapotranspiração é determinada multiplicando-se a evaporação do tanque por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, denominado K<sub>t</sub>) a ser determinado para as condições locais, de acordo com Doorenbos & Kassam (2000).

O monitoramento agroclimático no interior de ambientes protegidos enfrenta dificuldades em decorrência do espaço reduzido para a instalação de equipamentos. Segundo Fernandes et al. (2004), os produtores consideram inviável o comprometimento de uma área produtiva de aproximadamente 10 m<sup>2</sup> para a instalação de equipamentos como o Tanque Classe A. Além disso o seu custo vem sendo um fator limitante na sua utilização, principalmente para pequenos produtores, o valor médio encontrado no mercado é de R\$

3.000,00 (Tanque Classe A de aço galvanizado + poço tranquilizador + parafuso micrométrico + estrado de madeira).

Assim, devido ao seu custo e ao reduzido espaço no interior dos ambientes protegidos, há necessidade de desenvolver estudos que visam avaliar tanques de evaporação de dimensões reduzidas e de baixo custo, como alternativa para estimativa da evapotranspiração. Portanto, o objetivo deste trabalho foi comparar o uso do Tanque Classe A padrão com mini-tanques evaporímetros de diferentes diâmetros e baixo custo, para o monitoramento da irrigação em ambiente protegido, usando como planta teste a alface cv. Verônica.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertencente à família Cichoriaceae (Compositae), a mesma das chicórias e almeirões. Originária da região do Mediterrâneo, esta espécie vegetal já era utilizada como planta medicinal há 4500 a.C. Como hortaliça é registrada a sua utilização desde 2500 a.C. e foi trazida para o Brasil pelos Portugueses. As espécies silvestres trazidas na época ainda podem ser encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (GOTO; TIVELLI, 1998).

Considerando o mercado brasileiro, a alface é a principal folhosa, tanto em termos de produção quanto consumo. Dentre os diferentes tipos de alface comercializados na CEAGESP/SP em 2004, 48,6%, ou seja, 12.364 toneladas foram de alface do tipo crespa (AGRIANUAL, 2006).

Quanto à sua estrutura, a alface é uma planta herbácea delicada, com caule diminuto, ao qual se prendem as folhas. Estas por sua vez são amplas e crescem em volta do caule (em roseta), podendo ser lisas ou crespas, formando ou não uma cabeça. Conforme a cultivar, a coloração pode ocorrer em vários tons de verde e roxo. O sistema radicular é muito ramificado e superficial. Na ocasião em que a planta é transplantada, o sistema radicular explora apenas os primeiros centímetros do solo. Em semeadura direta a raiz pivotante pode atingir até 60 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2000).

Na prática, é considerada uma planta de raízes densas e superficiais, estando seu sistema radicular a uma profundidade efetiva entre 0,15 a 0,30 m no seu máximo desenvolvimento (MAROUELLI et al., 1996).

O solo ideal para o cultivo dessa hortaliça é o de textura média, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes. Para se obter maior produtividade, é necessário o uso de insumos que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo. As maiores produções podem ser obtidas a partir da melhoria das características químicas e físico-químicas do solo, isso pode ser obtido com o acréscimo de compostos orgânicos (SOUZA et al., 2005).

A alface é a mais popular das hortaliças e é cultivada em quase todas as regiões, entretanto é bastante sensível às condições adversas de temperatura, umidade e chuva, sendo necessários estudos que possam propiciar aumentos significativos na produtividade e diminuição de riscos, tornando-a um produto mais competitivo e diferenciado (TARSITANO et al., 1999).

Fatores que afetam a produtividade da cultura estão diretamente relacionados ao clima. Geralmente, no verão, a maioria das cultivares de alface não se desenvolvem bem devido ao calor intenso, dias longos e o excesso de chuva. Estas condições favorecem o pendoamento precoce, tornando as folhas leitosas e amargas, perdendo seu valor comercial (FILGUEIRA, 2003). Entretanto, já existem no mercado cultivares resistentes como é o caso da Verônica do grupo crespa que apresenta bom rendimento de campo e pode ser cultivada o ano todo, em especial no verão, pois resiste ao pendoamento precoce. (SKATA, 1997).

Segundo Sganzerla (1995), a umidade relativa do ar ótima varia de 60 a 80% e as temperaturas críticas de interferência no desenvolvimento da cultura são abaixo de 10-12°C e acima de 30°C, necessitando de variações de amplitude térmica entre dia e noite para formação de cabeça. Nos locais onde a temperatura no verão ultrapassa os 32°C recomenda-se a instalação de sistema de nebulização na parte mais alta da estufa, a fim de refrigerar o ambiente e evitar a desidratação das folhas.

Quanto ao espaçamento, sugere-se 20 x 20 cm, 25 x 25 cm ou 30 x 30 cm, sendo o plantio feito em patamares ou em canteiros (FAHL et al., 1998). A produtividade dessa hortaliça situa-se entre 15.000 e 30.000 kg ha<sup>-1</sup> (GELMINI & TRANI, 1996).

## 2.2 Necessidade hídrica da cultura da alface

Filgueira (2000) relata que a cultura da alface é altamente exigente em água, portanto, as irrigações devem ser frequentes e abundantes, devido à ampla área foliar e a transpiração intensiva, bem como ao sistema radicular delicado e superficial, e a elevada capacidade de produção. Assim, o teor de água útil no solo deve ser mantido acima de 80%, ao longo do ciclo da cultura, inclusive durante a colheita.

Observando os efeitos de quatro níveis de irrigação, baseados na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,5; 0,75; 1,0 e 1,25), aplicados por microaspersão em alface, constatou-se que a matéria fresca da "cabeça" e a produtividade apresentaram resposta quadrática, tendo alcançado os valores máximos de 184 g e 23.670 kg ha<sup>-1</sup>, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA. Os resultados relativos à eficiência do uso de água revelaram resposta linear decrescente, com o aumento dos níveis de irrigação, significando que a cultura responde melhor à aplicação de pequenas lâminas de irrigação, porém com alta frequência (ANDRADE JÚNIOR et al., 1992).

Segundo Oliveira et al. (2004), na produção de alface, o número de folhas é uma característica importante e está intimamente associado à temperatura do ambiente de cultivo e ao fotoperíodo.

Andriolo et al. (2003) avaliando o crescimento e desenvolvimento de plantas de alface provenientes de mudas com diferentes idades fisiológicas observaram que o maior número de folhas para alface crespa, cv. Vera foi de 21 folhas por planta. Echer et al. (2000) com o objetivo de avaliar o efeito do espaçamento no comportamento de cinco cultivares de alface do tipo crespa, obtiveram valor médio de 23 folhas por planta. Maggi et al. (2006) não observaram diferenças significativas no número de folhas para as cultivares lisa e crespa quando submetidas a diferentes potenciais de água no solo (20, 28, 35 e 45 kPa). Os autores obtiveram em torno de 27 folhas para cultivar lisa e 22 folhas para crespa.

Russo (1987) estudou o efeito da quantidade de água aplicada por gotejamento na alface, utilizando no manejo da irrigação a evaporação do Tanque Classe A. Os tratamentos consistiram na aplicação de três faixas de coeficientes (0,37 a 1,30; 0,60 a 1,60 e 0,70 a 2,40) sobre a evaporação do Tanque Classe A (ECA). Os valores máximos de produtividade 52,19 e 48,71 t ha<sup>-1</sup> foram obtidos com a aplicação dos níveis de irrigação 1,30

e 1,60 da ECA respectivamente e não variaram significativamente, indicando que a cultura responde à aplicação de elevadas lâminas de irrigação.

Vilas Boas et al. (2008) em avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface Verônica e Hortênciã, em função de lâminas de irrigação, em casa de vegetação na região de Lavras, nos meses de setembro a novembro, em um Latossolo Vermelho Distrófico, obtiveram máxima produtividade de 36.484 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando o espaçamento de 0,30 por 0,20 m, aplicando uma lâmina total de 249,1 mm.

Estudando os efeitos de quatro níveis de irrigação aplicados via gotejamento, baseados na evaporação do Tanque Classe A (0,25, 0,50, 0,75 e 1,00), na cultura da alface tipo americana, Andrade Júnior & Klar (1997) encontraram ajuste quadrático para a produtividade, alcançando o valor máximo de 90.970 kg ha<sup>-1</sup>, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA.

Echer et al. (2000) pesquisando o efeito do espaçamento de cinco cultivares de alface do tipo crespa (Brisa, Grande Rápida, Marisa, Vera e Verônica), obtiveram uma produtividade média de 26.950 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando o espaçamento de 0,25 x 0,25 m.

Hamada (1993), ao analisar a resposta da alface à aplicação de diferentes lâminas de irrigação baseadas na evaporação de um Tanque Classe A (ECA) (0,6; 0,8; 1,0 e 1,2) utilizando irrigação por gotejamento, verificou que os melhores resultados de produtividade e qualidade comercial foram obtidos com a aplicação do nível de irrigação equivalente a 1,2 vezes a evaporação do Tanque Classe A. Entretanto, a maior eficiência do uso de água foi obtida no tratamento com a menor lâmina de irrigação aplicada (0,6 da ECA). Em relação a matéria fresca total, obteve-se o valor de 224 g planta<sup>-1</sup> com o tratamento de 120% da evaporação, perfazendo um total aplicado de 226 mm de água.

O rendimento da alface (*Lactuca sativa*) cv. Verônica em função da lâmina de irrigação, cultivada sob ambiente protegido em Boa Vista, Roraima, foi tema de estudo de Araújo et al. (2010), onde observaram que os valores de eficiência do uso de água (EUA) variaram de 120 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> a 70 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> com a aplicação de 40% e 100% da lâmina evaporada pelo Tanque Classe A, respectivamente.

O cultivo de alface crespa em ambiente protegido sob diferentes lâminas de irrigação foi estudado por Vilas Boas (2006), demonstrando que os valores de eficiência no uso da água variaram de 171,8 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> a 124,4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, com as

lâminas de irrigação de 198 mm e 283 mm, respectivamente. A maior eficiência no uso da água ocorreu com a aplicação da lâmina de 198 mm de água no solo (100% de reposição de água); entretanto, as lâminas de irrigação de 155 e 198 mm apresentaram valores próximos de produtividade, 164,7 e 171,8 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente. Neste mesmo estudo o valor médio referente ao número de folhas por plantas ficou em torno de 22, em relação a matéria fresca total o valor médio encontrado foi de 340,66 g planta<sup>-1</sup>.

Nota-se pelos trabalhos que há uma grande variação de resposta em função da lâmina aplicada. A lâmina ótima variou entre os tratamentos bem como a produtividade. Parte desta variação pode ser atribuída ao tipo de solo e principalmente as condições climáticas onde o trabalho foi desenvolvido. Além disso, outra questão que pode gerar variação na produtividade esta relacionada ao cálculo da área de produção, visto que muitas vezes exclui as linhas entre canteiros.

### **2.3 Cultivo protegido**

O cultivo de hortaliças em ambiente protegido minimiza os efeitos da variabilidade ambiental, melhorando o desenvolvimento dos cultivos. Além de controlar total ou parcialmente os fatores climáticos, protege os cultivos e favorece o crescimento das plantas. Ao ser utilizado em pequenas áreas, pode-se produzir pelo menos uma vez e meia ou o dobro da produção de áreas não protegidas, possibilitando ainda a oferta constante de hortaliças (BECKMANN-CAVALCANTE et al., 2007).

O cultivo protegido consiste numa tecnologia de produção que auxilia na prevenção ou mesmo diminuição dos fatores que afetam de forma negativa a produção. Segundo Purquerio & Tivelli (2006) o ambiente protegido se caracteriza pela construção de uma estrutura, para a proteção das plantas contra os agentes meteorológicos que permita a passagem da luz, já que essa é essencial a realização da fotossíntese, além de possibilitar certo controle das condições edafoclimáticas como: temperatura, umidade do ar, radiação, solo, vento e composição atmosférica.

O cultivo protegido é uma das técnicas da agricultura moderna muito utilizada para viabilizar o cultivo fora de época, diminuir custos e aumentar a produtividade,



juntamente com as novas tecnologias aplicadas à área de irrigação, como a fertirrigação, que tem propiciado bons resultados (FACTOR et al., 2008).

A temperatura e a umidade relativa do ar são diferentes no ambiente protegido. Observa-se valores médios de temperatura do ar ligeiramente maiores no interior da estufa plástica (FARIAS, et al., 1993; CUNHA & ESCOBEDO, 2003), em torno de 1 a 3°C superiores aos observados em abrigo meteorológico de uma estação meteorológica convencional (DALMAGO, et al., 1994).

A umidade relativa do ar dentro de ambientes protegidos é variável. Segundo Tubelis; Nascimento (1988), a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura do ar. Portanto, durante o período diurno, com o aumento da temperatura do ar, a umidade relativa do ar diminui no interior do ambiente protegido. No final da tarde e a noite com o decréscimo da temperatura, a umidade relativa do ar aumenta.

Waycott (1995), trabalhando com diferentes genótipos de alface, condições fotoperiódicas e temperaturas, verificou que a temperatura isoladamente não foi suficiente para induzir o pendoamento, ao contrário do fotoperíodo. Concluiu também que existe uma série de respostas genéticas para vários comprimentos de dia entre genótipos de alface.

Temperaturas acima de 20°C estimulam o pendoamento que é acelerado à medida que a temperatura aumenta. Dias longos associados às temperaturas elevadas, aceleram o processo, o qual é também dependente da cultivar (NAGAI, 1980; RYDER, 1986; CERMEÑO, 1996). A planta nestas condições emitirá o pendão floral precocemente, tornando-se imprópria para comercialização e consumo. A origem mediterrânea da alface explica este comportamento, já que nesta região as temperaturas médias são mais amenas que nos países tropicais.

Segundo Streck et al. (2002) a temperatura no interior do ambiente protegido pode ser reduzida com emprego de nebulização, branqueamento da cobertura interna do ambiente protegido e sombreamento com tela plástica.

No cultivo em ambiente protegido, a irrigação é imprescindível e o manejo inadequado do sistema de irrigação e da cultura podem inviabilizar o processo produtivo. Diversos autores têm comprovado que a irrigação promove aumento na produtividade de diversas hortaliças (CARVALHO et. al., 2004; VILAS BOAS et al., 2008;

DERMITAS & AYAS, 2009; ZENG et al., 2009; BILIBIO et al., 2010), porém o manejo do sistema de irrigação deve propiciar condições adequadas para potencializar o desenvolvimento e a produtividade das culturas, possibilitar maximização na eficiência do uso da água e minimizar os custos de investimento e operacionais, de forma que a atividade se torne economicamente viável e sustentável.

No Brasil há escassez de técnicos para atuar na área e a deficiência de resultados de pesquisas sobre o comportamento agrônomo de hortaliças sob cultivo protegido é hoje um dos motivos que mais limitam os avanços do cultivo protegido na agricultura nacional (PANELO, 1995; FILGUEIRA, 2008).

De acordo com Tivelli (1998), há regiões que registram fracasso em cerca de 70% a 80% dos produtores por volta do segundo ano de exploração em ambiente protegido. Parte desse insucesso é explicado pela falta de pesquisas em manejo da irrigação.

Cultivos realizados em ambiente protegido distinguem-se dos sistemas de produção a céu aberto, principalmente pelo uso intensivo do solo e o controle parcial de fatores ambientais. Assim, o manejo adequado do sistema água-solo-planta-ambiente é de fundamental importância para o sucesso de empreendimentos neste sistema de produção (CARRIJO et al., 1999).

Sistemas de produção em ambiente protegido são intrinsicamente dependentes de fatores externos, como o clima e de fatores internos, como o material de cobertura da casa de vegetação, a cultura e as telas de proteção contra insetos (SONI et al., 2005).

A temperatura do ar no interior do ambiente protegido está intimamente ligada ao seu balanço de energia. Depende, portanto, dos processos de incidência da radiação solar, reflexão e irradiação pelos objetos no interior do ambiente protegido, condução pela cobertura e pelas paredes, renovação do ar e troca de calor com o solo (FARIAS et al., 1993).

Segundo Al-Jamal (1994) avaliar a adaptação do ambiente protegido pela medição em um ponto não dá a idéia da variação da temperatura e da sua distribuição dentro do ambiente protegido. Dessa forma, vários autores propuseram a análise da distribuição da temperatura do ar no interior do ambiente protegido por meio de vários pontos

de amostragem, formando malhas e construindo linhas de distribuição de temperatura iguais no plano, ou seja, isotermas.

Buriol et al. (1997) determinaram o gradiente térmico vertical no interior de ambientes protegidos com filmes plásticos. Para tanto, foram utilizados dois ambientes protegidos com dimensões de 10,0 m de largura por 24,0 m de comprimento, com 3,0m de altura na parte central e 2,0 m de pé direito. A temperatura foi medida com sensores instalados nos níveis de 0,2 m, 0,6 m e 2,0 m acima do nível do solo cultivados com alface e tomate. Calcularam-se os valores médios da temperatura do ar a cada duas horas, nas três alturas medidas. Os resultados mostraram que no interior dos ambientes protegidos, durante o período diurno, ocorreu um aumento da temperatura do ar com a altura, enquanto que no período noturno não se verificou, como seria esperada, a ocorrência de inversão térmica. Este padrão foi observado tanto na cultura de porte baixo (alface), como na cultura de maior porte (tomate).

Apesar da importância do cultivo em ambiente protegido para a olericultura brasileira, ainda são insuficientes os resultados de pesquisa que subsidiem o aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes regiões climáticas do país, especialmente no que tange ao adequado manejo da irrigação (SANTOS & PEREIRA, 2004).

O cultivo de hortaliças em ambiente protegido vem sendo muito difundido entre os produtores, entre as quais a alface, é que assume cada vez mais importância, sendo uma das olerícolas mais cultivadas nesse ambiente, devido principalmente as condições climáticas, proteção as plantas e viabilidade de cultivo, permitindo a produção em diferentes épocas do ano e conseqüentemente alcançando maiores preços no mercado.

## **2.4 Irrigação localizada**

A agricultura irrigada é considerada o ramo de atividade que mais utiliza água no planeta, sendo a ela atribuída o uso de 72% da água doce total consumida. No Brasil estima-se que este consumo é de 63%, por isso é de fundamental importância a adoção de mecanismos que favoreçam o aumento da eficiência do uso da água, sem que a produtividade das culturas seja afetada.

Associada ao uso racional deste recurso, a busca por manejos que viabilizem a produção ecologicamente correta e sustentável de alimentos tem sido constante preocupação dos vários segmentos da sociedade envolvidos no processo de produção. O uso de água pelas plantas e, portanto, todos os processos fisiológicos, estão diretamente relacionados ao seu status no sistema solo-água-planta-clima; assim, o conhecimento das inter-relações entre esses fatores é fundamental para o planejamento e a operação de sistemas de irrigação para se obter máxima produção e boa qualidade do produto (TRANI & CARRIJO, 2004).

Dentre os sistemas de irrigação destaca-se o gotejamento, por otimizar o uso da água e proporcionar inúmeras vantagens, este método foi introduzido na olericultura brasileira durante a década de 1990 e tende a substituir os demais métodos de irrigação em certas situações, devido à notável economia de água proporcionada e à elevada eficiência na irrigação (FILGUEIRA, 2008). O uso de métodos e manejos eficientes de irrigação associado ao controle e incremento dos fertilizantes contribui para o sucesso da olericultura.

Segundo Bastos et al. (2011) a irrigação localizada foi o método de irrigação que destacadamente mais cresceu nos últimos anos no Brasil. A área irrigada, que em 1996 era de 117.730 ha, saltou para 337.755 ha em 2004, um aumento de 187%. Em 2004, as maiores áreas irrigadas por sistemas localizados se concentraram nas regiões Nordeste (52,3%) e Sudeste (34,1%) (CRISTOFIDIS, 2001; PRIETO et al., 2010).

No sistema de irrigação localizada por gotejamento o emissor responsável pela aplicação de água é o gotejador, que de acordo com Gomes (1997), aplica água ao solo em gotas, em um ponto e diretamente sobre a zona radicular da planta, com pequenas vazões. Os gotejadores segundo Bernardo et al. (2005) são as peças principais do sistema de irrigação por gotejamento, sua função é dissipar a pressão disponível na linha lateral e aplicar vazões pequenas e constantes.

Algumas vantagens e desvantagens da irrigação localizada são descritas por Mantovani et al. (2007). Vantagens: possibilidade de controle rigoroso da quantidade de água fornecida às plantas; grande economia de água e energia; os sistemas são usualmente semi-automatizados ou automatizados, necessitando de menos mão-de-obra para o manejo do sistema; redução da incidência de pragas e doenças e do desenvolvimento de plantas daninhas; permite a quimigação (aplicação de produtos químicos via água de

irrigação); otimização do uso de fertilizantes; possibilidade de uso de água com maior salinidade; possibilidade de cultivo em áreas com afloramentos rochosos e, ou, com declividades acentuadas; excelente uniformidade de aplicação de água. Desvantagens: alto custo inicial; elevado potencial de entupimento dos emissores; necessidade de sistema de filtragem; inviáveis em águas com altos níveis de ferro e carbonato; manutenção com maior frequência.

O grande interesse pelo método de irrigação localizada por gotejo foi despertado principalmente pelos resultados de economia de água, aliados ao aumento da produtividade das culturas. O gotejo como sistema de irrigação foi inicialmente desenvolvido em Israel, utilizando canalizações de aço perfuradas. O advento do material de plástico, mais econômico, proporcionou maior flexibilidade ao sistema, impulsionando as pesquisas nesse sentido.

Os métodos de irrigação localizada são os que vêm experimentando o maior número de inovações em todo mundo. Suas características de uniformidade de aplicação e redução no consumo de água os tornam extremamente atraentes, principalmente nos dias atuais, em que o mundo discute o tema relacionado ao melhor aproveitamento de água (VILELLA, 2001).

A irrigação localizada surgiu comercialmente em Israel na década de 1960. O desenvolvimento tecnológico dos tubos de PVC (cloreto de polivinil) e polietileno de baixa densidade contribuiu sensivelmente para o sucesso desse tipo de irrigação. No Brasil esse método de irrigação surgiu entre a década de 1970 (microaspersão) e 1980 (gotejamento) (BASTOS et al., 2011).

A partir do ano 2000, o grande desenvolvimento do setor de irrigação localizada e a maior competitividade do agronegócio brasileiro tornaram esse tipo de irrigação viável em diversas culturas e sistemas de cultivos antes impensados. Destaca-se que os maiores fabricantes mundiais vêm dedicando atenção especial ao mercado brasileiro, com políticas de implantação de fábricas no Brasil, que permite disponibilizar equipamentos a custos mais competitivos (BERNARDO et al., 2005).

## 2.5 Fertirrigação

A fertirrigação é uma prática de adubação em que os nutrientes são aplicados nos cultivos de forma parcelada, juntamente com a água de irrigação. Desde que realizada com critério, apresenta uma série de vantagens técnicas e econômicas em relação aos métodos tradicionais de adubação; devido ao grande parcelamento permiti manter a fertilidade no solo próxima ao nível ótimo durante todo o ciclo da cultura, possibilita ganhos de produtividade e reduz as perdas de nutrientes (MAROUELLI & SOUSA, 2011).

A técnica de fertirrigação é hoje o método mais racional de realização da fertilização, respeitando o meio ambiente dentro da chamada agricultura sustentável (LOPES, 2000). Com um planejamento inadequado, a ameaça de dano ambiental é inevitável, mas um manejo ajustado pode aumentar o rendimento e melhorar a qualidade do produto final, além de representar o melhor método de aplicação de fertilizantes para prática agrícola intensa e sustentável (PAPADOPOULOS, 1999).

De acordo com Andriolo et al. (1999) a fertirrigação é o método mais econômico e eficiente de aplicação de fertilizantes, especialmente quando feito através do sistema de irrigação por gotejamento, assegurando a colocação dos fertilizantes nas raízes das plantas. Segundo Goto et al. (2001) a fertirrigação por gotejamento é a forma de aplicação que mais se aproxima do ritmo de absorção de água e nutrientes pela planta.

Os nutrientes devem ser aplicados às plantas em doses e tempos apropriados durante os estádios específicos de crescimento, evitando assim, eventuais problemas com deficiência ou toxidez. Devido à eficiência de aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas na fertirrigação, é preferível adotar o sistema de gotejamento ou de microaspersão (VILLAS BÔAS et al., 1999).

O princípio de aplicação da fertirrigação preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água e equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Essa característica permite uma aplicação adequada e uniforme de fertilizantes com a água de irrigação (SOUSA & SOUSA, 1992; SOUSA & SOUSA, 1993).

A fertirrigação oferece a oportunidade de aplicação precisa de fertilizantes e traz uma série de vantagens para a agricultura, entretanto, é um caso típico em que a prática antecedeu à pesquisa, pois se utilizada de forma incorreta pode alterar as

características químicas do solo e, como consequência, influenciar no crescimento adequado das raízes e no desenvolvimento das plantas (MORAES, 2001).

De acordo com Vieira (1998) e Frizzone et al. (1994), a fertirrigação apresenta as seguintes vantagens: melhor distribuição do fertilizante no campo; possibilidade de maior parcelamento das adubações, aumentando a eficiência na utilização dos adubos pelas plantas; economia de mão-de-obra utilizada na adubação, isto porque o próprio operador do equipamento de irrigação pode proceder à injeção do adubo na água de irrigação.

Entre as vantagens do sistema de irrigação por gotejamento na aplicação de fertilizantes, pode-se destacar que a solução é aplicada na zona ativa das raízes, onde a água está sendo absorvida; a perda de fertilizantes por lixiviação é menor, e a aplicação localizada não favorece a ocorrência de doenças foliares (VILLAS BÔAS et al., 2002).

De acordo com Salomão (2008), as irrigações e fertirrigações devem ser conduzidas de maneira eficiente, buscando a otimização dos fatores envolvidos no processo, tais como, eficiência na injeção de fertilizantes, economia de água e energia e manutenção preventiva do sistema de irrigação.

Lopes (2000) afirma que a fertirrigação bem planejada possibilita o uso mais eficiente da água e dos nutrientes por ela carreados, proporcionando assim a redução no acúmulo de sais no solo e de desequilíbrios hídricos e nutricionais, bem como a lixiviação de nutrientes capazes de atingir o lençol freático eutrofizando os cursos d'água.

## **2.6 Manejo da irrigação e evapotranspiração**

Segundo Marouelli et al. (2011) a aplicação de critérios técnicos adequados deve ocorrer tanto na fase de dimensionamento quanto durante a operação dos sistemas de irrigação. A escassez de informações completas sobre parâmetros de manejo de irrigação são sérios indicadores da existência de lacunas de resultados de pesquisa e da falta de sistematização das informações existentes.

Sabe-se que o bom desenvolvimento da cultura requer, entre outros fatores, uma adequada proporção de água e ar no solo. O desenvolvimento e funcionamento adequados do sistema radicular requerem disponibilidade de água, na realidade solução do solo contendo água e nutrientes, e de oxigênio. Por esta razão, baixa umidade no solo não

favorece o desenvolvimento de plantas, por fornecer menos água do que os processos fisiológicos requerem, e no outro extremo tem-se o comprometimento do crescimento em solos encharcados por falta de aeração adequada. (SAAD, 2009).

O mesmo autor citado anteriormente relata que o produtor que pretende ser um irrigante criterioso tem sempre três perguntas que necessitam ser respondidas, de acordo com as condições locais: a) que sistema de irrigação adotar?, que pode se traduzir no “como irrigar?”; b) qual o momento adequado para se proceder a irrigação?, ou seja, “quando irrigar?”; c) qual a quantidade de água a ser aplicada?, quer dizer, “quanto irrigar?”.

A deficiência de água no solo limita a produtividade de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial. A reposição de água no solo, em quantidades adequadas e na hora certa é decisiva para uma boa produção de hortaliças. A alface é uma olerícola muito sensível ao stress hídrico. A irrigação em quantidade adequada e associada a outras técnicas de cultivo melhora a produtividade, a qualidade do produto final e assegura melhor rendimento ao empreendimento agrícola (VIEIRA et al., 2009).

O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um déficit hídrico, o que pode comprometer a produção. A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionistas do solo e da água é de fundamental importância para a sustentabilidade, de tal forma que se possa, economicamente e tecnicamente, manter ao longo do tempo esses recursos, com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (SOUZA et al., 2009).

O acesso do irrigante à tecnologia é ainda restrito, tanto pela falta de informação quanto pelo custo dos equipamentos e instrumentos destinados ao manejo (MAROUELLI et al., 2011).

O processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação e por transpiração é denominado de evapotranspiração (PEREIRA et al., 2002).

Os fatores que afetam a perda de água por cultivos podem ser enquadrados em três categorias: fatores climáticos, da planta e do solo (PEREIRA et al., 1997). Em relação aos elementos climáticos podem ser citados; temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, ventos e precipitações como sendo os principais elementos que



afetam o valor da evapotranspiração, decorrentes da variação da demanda atmosférica por vapor d'água em um dado momento e local.

A água requerida pelas culturas pode ser expressa simultaneamente pela evaporação da água do solo e pela transpiração das plantas. A evaporação é o processo pelo qual um líquido passa para o estado gasoso à temperatura ambiente, exigindo o suprimento de energia externa, sendo essa fornecida pelo balanço de energia no ambiente, pelo vento e pela disponibilidade de água do solo. A transpiração, por sua vez, é o mecanismo que fornece a principal energia para a absorção de água das plantas contra a força da gravidade e a resistência de fricção no trajeto da água no solo para a atmosfera, sendo grandemente responsável pela absorção de água/nutrientes pelas raízes, pela diferença de potencial de água na atmosfera e no solo ou diferença de forças com que a água está retida (SOUZA et al., 2009).

De acordo com Souza et al. (2009), quando se compara diferentes culturas e sistemas de cultivos, ocorrem variações na porcentagem de cobertura do solo, na quantidade de folhas, entre outros. Nesse sentido, diferentes culturas apresentarão diferentes requerimentos de água e em diferentes fases do seu ciclo de desenvolvimento. Por isso, se torna conveniente o entendimento das seguintes definições:

- a) Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>): corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada (sendo a grama considerada como cultura padrão nas regiões tropicais), com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, sem restrições hídricas. É importante, a existência da área extensa, pois permitirá uma área tampão suficientemente grande para que a evapotranspiração seja resultante apenas do balanço vertical de energia.
- b) Evapotranspiração de Cultura (ET<sub>c</sub>): é a evapotranspiração que ocorre em qualquer fase de desenvolvimento de uma cultura desde o plantio/semeadura até a colheita, quando não houver restrição hídrica. A ET<sub>c</sub> é função do índice de área foliar (superfície transpirante), pois quanto maior a área foliar maior será a ET<sub>c</sub> para a mesma demanda atmosférica. É importante destacar que existe uma relação entre a ET<sub>c</sub> e a ET<sub>o</sub>, pois essa última é considerada como a referência.
- c) Evapotranspiração Real (ET<sub>r</sub>): é a quantidade de água que realmente foi utilizada por uma superfície vegetada, independentemente de seu tamanho, com ou sem restrição

hídrica, pois, a ausência de restrição hídrica nem sempre é possível. Neste caso a  $E_{Tr}$  para uma determinada cultura poderá ser menor ou igual a  $E_{Tc}$ , o que acarretará em diminuição da produção. No manejo da irrigação, busca-se sempre manter a  $E_{Tr} = E_{Tc}$ .

Existem vários métodos para determinação da evapotranspiração, desde aos mais simples até os mais complexos. A utilização de tanques evaporímetros é considerado um método simples, devido sua facilidade de operação. Independente do método escolhido, é importante obter os valores de  $E_{To}$  (perda de água pela cultura de referência) com confiabilidade e segurança, pois desde que bem manejados permitirão uma boa estimativa da quantidade de água a ser aplicada para a cultura em questão.

Tanques evaporimétricos são recipientes, contendo água, usados para medir a evaporação que se processa na superfície líquida. Fundamentam-se na aplicação do princípio da conservação da matéria à água neles armazenada. Na prática, a medida da evaporação consiste em determinar a variação de nível (em mm) que a superfície líquida experimentou em um dado intervalo de tempo. Rigorosamente falando, a variação do nível da superfície evaporante desses instrumentos pode ser motivada por três efeitos: a evaporação da água, a ocorrência de precipitação e mudança da temperatura. O efeito causado por variação da temperatura é praticamente eliminado realizando as observações sempre à mesma hora do dia (VAREJÃO, 2006).

O Tanque evaporimétrico Classe A consiste de um tanque de forma circular com diâmetro interno de 121 cm, profundidade de 25,4 cm. O nível da água deve ficar a 5 cm da borda superior no nível máximo. O nível da água não pode variar mais que 2,5 cm, isto é, no nível mínimo a lâmina de água deve ficar a 7,5 cm da borda. Feito com chapa nº 22 de ferro galvanizado ou aço inoxidável é instalado sobre estrado de madeira pintado de branco a 15 cm do solo (LOPES FILHO, 2000; BERNARDO et al., 2005; REICHARDT, 1990).

A evaporação da água é medida com um micrômetro de gancho, assentado sobre um poço tranquilizador. O nível de água a ser considerado, é quando a ponta do gancho aflorar na superfície da água e este ponto é importante, pois poderá variar conforme o observador. Assim, é recomendado que não ocorra à modificação do leitor, para diminuir as fontes de erros. Ainda é comum utilizar outros dispositivos mais simples e de menor custo, como o uso de réguas graduadas inseridas no tanque ou mangueiras transparentes conectadas à

parede lateral do tanque, os quais permitem medir a água evaporada diariamente, através de escalas próprias (SOUZA et al., 2009).

Segundo Chin & Zhao (1995), há consenso entre o hidrólogistas que o método de Penman-Monteith fornece a melhor descrição dos processos, tanto da evaporação como da evapotranspiração em um só passo. Hoje em dia, entretanto, são mais disponíveis os dados de coeficientes de cultura ( $K_c$ ) do que os fatores climáticos exigidos pelo método de Penman-Monteith. Assim, o método do Tanque Classe A, apesar de usar dois parâmetros ( $ETo$  e  $ETPc$ ) para se chegar à medida da evapotranspiração de referência, torna-se mais prático.

A possibilidade de utilização de tanques evaporímetros de baixo custo e sob dimensões reduzidas pode apresentar uma série de vantagens em relação aos outros métodos de determinação da evapotranspiração, destaca-se principalmente pela simplicidade de operação, por ocupar menor espaço em ambiente protegido, podem ser instalado próximo a cultura e não envolvem equações complexas. Há ainda a vantagem de este equipamento ser de baixo custo e fácil acesso aos produtores. Portanto, é de fundamental importância estudos que visam avaliar sua precisão, podendo ser uma alternativa capaz de auxiliar o manejo da irrigação, visto que são raros os produtores que adotam critérios de manejo da irrigação, seja por desconhecimento da técnica ou pelo custo dos equipamentos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e característica da área experimental

O experimento foi realizado na área experimental da Unidade Educacional de Produção (UEP) de Olericultura do Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Campus Urutaí-GO, localizado na Fazenda Palmital – Rodovia Geraldo Silva Nascimento km 2,5, Zona rural, município de Urutaí, Estado de Goiás, cujas coordenadas geográficas são 17°29'10" S de latitude, 48°12'38" O de longitude e 697 m de altitude (Figura 1).



**FIGURA 1.** Localização do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí – GO e ambientes protegidos.

O clima da região é classificado como tropical de altitude com inverno seco e verão chuvoso, do tipo Cwb pela classificação de Köppen. A temperatura média é de 23°C no período de setembro a outubro, podendo chegar até a máxima de 30°C e, entre os meses de junho e julho, com mínima inferior a 15°C. A precipitação média anual oscila entre 1000 a 1500 mm, com umidade relativa média do ar de 71%.

O experimento constou de dois cultivos, sendo o primeiro realizado nos meses de setembro, outubro e novembro de 2011 e o segundo nos meses de abril, maio e junho de 2012. Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido do tipo arco simples, com orientação Leste-Oeste e estrutura metálica, dimensões de 30 m de comprimento, 7 m de largura, pé-direito de 3,0 m e altura de arco de 1,2 m, coberto com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 0,15 mm de espessura, laterais constituídas de tela clarite com malha de 2,0 x 2,0 mm (Figura 2).



**FIGURA 2.** Vistas frontal (A) e lateral (B) do ambiente protegido.

Utilizou-se o sistema de irrigação localizada por gotejamento, onde cada duas linhas de plantas recebeu uma linha lateral de irrigação de 16 mm de diâmetro, com emissores espaçados entre si a 0,4 m (Figura 3). Os emissores forneciam uma vazão de 1,4 L h<sup>-1</sup> e trabalhavam com pressão de serviço de 10 mca. O sistema de bombeamento foi composto por conjunto motobomba de 1 cv. Logo após o sistema de bombeamento foi instalado um injetor de fertilizante tipo Venturi de ¾”, um filtro de tela de 120 mesh, registros e manômetros para aferição da pressão do sistema de irrigação.



**FIGURA 3.** Distribuição das linhas laterais no experimento.

Para a obtenção das análises físicas e químicas do solo foram coletadas cinco amostras de solo no interior do ambiente protegido. Estas foram homogeneizadas, dando origem a uma amostra composta, sendo este procedimento realizado nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Os teores de macro e micronutrientes foram analisados segundo os métodos descritos por Raij et al. (2001). A análise granulométrica do solo seguiu a metodologia descrita por Camargo et al. (1986). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (SANTOS, 2006) de textura Franco Argilo Arenoso. Os resultados das análises físicas e químicas do solo na área do projeto podem ser observados nas Tabelas 1 e 2.

**TABELA 1.** Resultado da análise de textura do solo.

Camadas cm	Areia Grossa	Areia Fina	Argila	Silte	Textura do Solo
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
0-10	276	276	244	203	Franco Argilo Arenoso
11-20	278	297	267	158	Franco Argilo Arenoso

Fonte: Laboratório de manejo de solo (LAMAS) – UFU - 2011

**TABELA 2.** Resultado da análise química do solo para o 1º e 2º cultivos.

Variáveis	Camadas (cm)			
	1º Cultivo	2º Cultivo	1º Cultivo	2º Cultivo
	0-10	0-10	10-20	10-20
pH H <sub>2</sub> O (1:1,25)	5,9	5,6	6,5	5,9
pH CaCl <sub>2</sub>	5,9	5,8	5,9	5,7
P – Melich (mg dm <sup>-3</sup> )	321	208	202	189
K (mg dm <sup>-3</sup> )	107	192	56	134
S-SO <sub>4</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	59	28	99	70
Ca (Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,5	8,9	4,1	7,7
Mg (Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,5	1,8	1,0	1,5
Al (Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0
H+Al (Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,7	4,6	2,2	4,0
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,18	0,24	0,08	0,19
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	6,5	4,8	1,3	1,1
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	96	65	25	23
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	13,5	8,3	4,5	4,0
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	2,4	1,6	0,7	0,5
M.O. (dag kg <sup>-1</sup> )	3,3	1,8	1,4	1,3
SB	127	156	73	126
CTC	164	202	95	166
V%	77	77	76	75

Fonte: Laboratório de análise de solo (LABAS) – UFU

### 3.2 Tratamentos e delineamento estatístico

O delineamento estatístico empregado foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais representadas por canteiros de dimensões de 4 m de comprimento por 1 m de largura. O espaçamento entre os canteiros adotado foi 0,40 m. No início de cada parcela experimental foi colocado um

tanque evaporímetro desenvolvido (TED) instalado sobre estrado de madeira pintado de branco a 15 cm do solo, com a finalidade de evitar trocas energéticas com o solo, o que pode aquecer a massa líquida e interferir na evaporação.

Os tratamentos foram constituídos de tanques de diferentes diâmetros internos resultando em níveis de reposição de água no solo, após leitura da evaporação obtida pelos tanques evaporímetros desenvolvidos (TEDs). As leituras foram realizadas com auxílio de uma régua milimétrica fixada na parede interna dos tanques de evaporação desenvolvidos. No interior do ambiente protegido também foi instalado um Tanque Classe A sobre estrado de madeira pintado de branco a 15 cm do solo. A visão geral do experimento no interior do ambiente protegido pode ser observada na Figura 4.



**FIGURA 4.** Vista geral do experimento no interior do ambiente protegido com os diferentes TEDs.

Os TEDs foram confeccionados com tambores metálicos reutilizáveis de ferro, sendo estes de fácil acesso aos produtores e de baixo custo de aquisição. As pinturas interna e externa foi feita com tinta látex prata. Foram confeccionados tanques em 4 dimensões distintas e 4 repetições, totalizando 16 tanques evaporímetros utilizados no experimento. A espessura da chapa foi determinada com paquímetro digital com precisão de (0,05 mm), obtendo 1,06 mm para todos os TEDs. O custo médio para confecção (tambor, estrado de madeira e régua milimétrica), foi de R\$ 50,00. Descrição dos tratamentos:



- a) Tratamento 1: Tanque de forma circular, com diâmetro interno de 52 cm e profundidade de 24 cm.
- b) Tratamento 2: Tanque de forma circular, com diâmetro interno de 43 cm e profundidade de 24 cm.
- c) Tratamento 3: Tanque de forma circular, com diâmetro interno de 35 cm e profundidade de 24 cm.
- d) Tratamento 4: Tanque de forma circular, com diâmetro interno de 28 cm e profundidade de 24 cm.

Na condução do primeiro cultivo foi adotado um coeficiente de tanque ( $K_t$ ) igual a 1 para todos os TEDs, o experimento na primeira etapa foi conduzido utilizando os mesmos procedimentos utilizados para o manejo de irrigação com base na utilização do Tanque Classe A, metodologia já difundida na agricultura irrigada. No segundo cultivo o  $K_t$  foi calculado a partir da relação entre a lâmina total obtida no Tanque Classe A e a lâmina total aplicada para cada TED (Equação 1). O  $K_t$  obtido denominado de  $K_{t_c}$  esta na Tabela 3.

$$K_{t_c} = \frac{LT(\text{classe A})}{LT(\text{TED})} \quad (\text{eq 1})$$

em que:

$K_{t_c}$  = coeficiente de tanque corrigido (adimensional);

LT (classe A) = lâmina total observada no Tanque Classe A (mm);

LT (TED) = lâmina total observada nos TEDs (mm).

**TABELA 3.** Coeficiente de tanque corrigido ( $K_{t_c}$ ).

Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3	Tratamento 4
$K_{t_c}$			
0,94	0,92	0,89	0,85

É bom salientar que as lâminas de reposição aplicadas ao solo ao longo do experimento foram as obtidas nos TEDs. Assim, o Tanque Classe A utilizado neste experimento teve como finalidade corrigir o  $K_t$  obtido pela relação entre a lâmina total observada no Tanque Classe A e a lâmina total fornecida pelos TEDs, obtendo-se um novo  $K_t$ , denominado de  $K_{t_c}$ . Para o Tanque Classe A foi adotado para os dois cultivos um coeficiente de tanque ( $K_t = 0,8$ ) em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que estava instalado o Tanque Classe A (DOORENBOS & KASSAM, 2000).

### 3.3 Preparo do solo e adubação de plantio

O preparo do solo foi realizado com aração mecanizada com auxílio de um micro trator (Tobata), adaptado com enxadas rotativas (Figura 5). A adubação foi realizada a lanço 15 dias antes do transplântio e incorporada com o auxílio de enxada na camada de 0-20 cm seguindo recomendação de Trani (2007), e constou da aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia), 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e 2 kg ha<sup>-1</sup> de B (bórax), para o primeiro cultivo e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia), 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e 1 kg ha<sup>-1</sup> de B (bórax) no segundo cultivo. Devido ao elevado teor de fósforo no solo, não houve à necessidade de aplicação deste nutriente no experimento (Figura 5).



**FIGURA 5.** Preparo do solo no interior do ambiente protegido.

### 3.4 Produção de mudas

A cultivar de alface utilizada foi a Verônica, de coloração verde, folhas crespas, soltas, consistentes, não formando cabeça repolhuda e sim, uma roseta. A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido com 128 células, utilizou-se substrato comercial a base de fibra de coco esterilizado e foi colocada uma semente peletizada em cada célula. As mudas foram produzidas sob telado e depois transferidas para a área experimental.

### 3.5 Dose e parcelamento de N e K na fertirrigação

As doses de N e  $K_2O$  seguiram as recomendações de Trani (2007),  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  e foram aplicados utilizando as respectivas fontes; uréia (46% de N) e cloreto de potássio branco (60%  $K_2O$ ). Após a fase de estabelecimento da cultura deu-se início a fertirrigação. As doses recomendadas foram parceladas em doses iguais e aplicadas a cada irrigação, totalizando 16 aplicações ao longo do experimento (4 aplicações semanais). A injeção dos fertilizantes foram realizadas com o auxílio do injetor tipo Venturi, seu acionamento foi realizado apenas com a energia de bombeamento do próprio sistema de irrigação (Figura 6).



**FIGURA 6.** Sistema de bombeamento e injetor de fertilizante tipo Venturi.

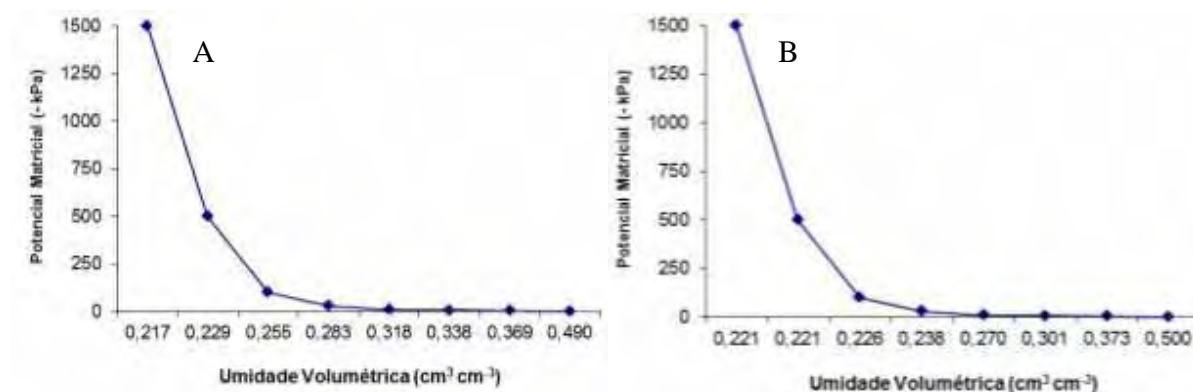
### 3.6 Manejo da fertirrigação

Para o êxito na aplicação de nutrientes via água de irrigação é necessário que o tempo de fertirrigação seja determinado e respeitado, garantido à distribuição uniforme da solução nutritiva para as plantas. Assim, o tempo de fertirrigação adotado neste experimento foi realizado conforme Salomão (2009), obtendo-se 22 minutos.

### 3.7 Obtenção da curva de retenção de água no solo

A curva de retenção da água no solo foi obtida a partir da coleta indeformada do solo, utilizando anéis volumétricos, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. A curva característica de retenção da água no solo foi determinada conforme o método descrito por Camargo et al. (1986) e ajustada pelo modelo proposto por Van Guenuchten (1980).

Na Figura 7 estão apresentadas as curvas de retenção da água no solo, para as camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, em toda a área do experimento.



**FIGURA 7.** Curvas de retenção da água no solo, para as camadas de 0-10 (A) e 10-20 (B) cm.

### 3.8 Manejo da irrigação

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi obtida a partir da evaporação média da água contida nos tanques evaporímetros desenvolvidos (TEDs). Os tanques continham água até o nível de 4 cm abaixo da borda livre do tanque. Assim, a

profundidade máxima de água nos TEDs foi de 20 cm. O reabastecimento era promovido sempre que o nível da água atingisse 7 cm da borda superior.

A leitura do nível d'água nos TEDs foi realizada diariamente sempre pela manhã, em intervalos de 24 horas. Depois de estimada a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), pode-se calcular a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), obtendo-se assim a quantidade de água consumida pela cultura, que foi a base para o cálculo da lâmina de água que foi repostada pela irrigação.

Assim a metodologia de cálculo utilizada neste experimento é discriminada a seguir Equação 2.

$$ET_o = E_v \times (K_t \text{ ou } K_{t_c}) \quad (\text{eq 2})$$

em que:

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

E<sub>v</sub> = evaporação da água observada nos TEDs (mm dia<sup>-1</sup>);

K<sub>t</sub> = coeficiente do tanque (adimensional) – 1º experimento;

K<sub>t<sub>c</sub></sub> = coeficiente de tanque corrigido (adimensional) – 2º experimento.

O coeficiente de tanque K<sub>t</sub> diário adotado no primeiro cultivo, foi 1,0. Este valor foi determinado em função do cultivo com a utilização de mini tanques evaporímetros em ambiente protegido, sendo recomendado por diversos autores Farias et al. (1994); Medeiros et al. (1997); Evangelista & Pereira. (2003) e Fernandes et al. (2003). A evapotranspiração da cultura foi determinada pela Equação 3.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{eq 3})$$

em que:

ET<sub>c</sub> = evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>);

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

$K_c$  = coeficiente da cultura (adimensional).

O coeficiente da cultura ( $K_c$ ) empregado foi variável de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. (Tabela 4).

**TABELA 4.** Valores de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) para três fases de desenvolvimento da alface após o transplântio das mudas (Adaptado de Bastos, 1994).

Fases	$K_c$
II	0,48
III	0,80
IV	1,00

Fase II – do transplântio aos 15 dias seguintes; Fase III – do final da segunda fase aos 30 dias seguintes; Fase IV – do final da terceira fase até a colheita.

### 3.8.1 Uniformidade do sistema de irrigação localizada

Para determinar a uniformidade de aplicação de água foram medidas as vazões dos gotejadores ao longo das linhas laterais com o auxílio de um kit de precipitação, com coletores de 8 cm de diâmetro e altura de 10,2 cm (Figura 8).



**FIGURA 8.** Coletor utilizado na determinação da uniformidade de distribuição de água.

O tempo de coleta foi de 9 minutos determinado com auxílio de um cronômetro de precisão e de uma proveta graduada em mL. A vazão foi determinada pelo método volumétrico, que segundo Salomão (2008), para coleta de volume pequeno, pode ser utilizada de acordo com a Equação 4.

É de fundamental importância que os gotejadores estejam trabalhando dentro da faixa de pressão determinada pelo fabricante, para isto medidores de pressão foram instalados logo após o sistema de filtragem, para aferição da pressão.

$$Q = \frac{V \div 1000}{T \div 60} \quad (\text{eq 4})$$

em que:

Q = vazão (L h<sup>-1</sup>);

V = volume coletado (mL);

T = tempo de coleta em (min).

A uniformidade do sistema de irrigação foi determinada seguindo a metodologia proposta por Denículi et al. (1980), sendo adaptada para as parcelas experimentais. A coleta de água foi realizada em oito gotejadores ao longo da linha lateral, ou seja, do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7, 6/7 e do último gotejador, sendo este procedimento realizado em cada bloco experimental.

A uniformidade de aplicação de água foi avaliada pelo índice de uniformidade de distribuição que é dada pela divisão entre a média de 25% das menores vazões pela média de todas as vazões observadas (Equação 5). Obteve-se o valor médio de 94% de uniformidade de distribuição no ensaio, que segundo critérios apresentados pela ASAE (1996) o sistema encontra-se em excelente estado de aplicação de água.

$$UD = 100 \cdot \frac{q_{2.5\%}}{\bar{q}} \quad (\text{eq 5})$$

em que:

UD = uniformidade de distribuição (%);

$q_{25\%}$  = média dos 25% menores valores de vazão observados ( $L h^{-1}$ );

$\bar{q}$  = média de todos os valores de vazão observados, em ( $L h^{-1}$ ).

Como nenhum sistema de irrigação tem eficiência de 100%, houve a necessidade de correção da lâmina de irrigação, sendo ajustada de acordo com a uniformidade de distribuição determinada, cujo valor encontrado foi de 94%. Portanto a lâmina de irrigação foi efetuada pela Equação 6.

$$L_i = \frac{ETc}{UD} \quad (\text{eq 6})$$

em que:

$L_i$  = lâmina de irrigação (mm);

ETc = evapotranspiração da cultura ( $mm \text{ dia}^{-1}$ );

UD = uniformidade de distribuição (decimal).

Considerando a irrigação por faixa molhada contínua, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação por tratamento foi definido pela Equação 7.

$$T_i = \frac{L_i \cdot E_l \cdot E_g}{q} \quad (\text{eq 7})$$

em que:

T = tempo de irrigação por tratamento (h);

$L_i$  = lâmina de irrigação (mm);

$E_l$  = espaçamento entre linhas laterais (m);



$E_g$  = espaçamento entre gotejadores (m);

$q$  = vazão do gotejador ( $L h^{-1}$ ).

### 3.9 Temperatura, umidade relativa do ar e sistema de nebulização

Para a avaliação dos elementos meteorológicos foi instalado um abrigo meteorológico de madeira, pintado de branco e posicionado ao centro do ambiente protegido, a uma altura de 1,5 m. Os equipamentos instalados no abrigo meteorológico foram: termo higrômetro de leitura digital e termômetro digital de máxima e mínima (Figura 9).



**FIGURA 9.** Abrigo meteorológico.

Após o levantamento dos dados, determinaram-se as temperaturas e as umidades relativas do ar, máximas e mínimas e, a partir destas, as médias em cada dia considerando todo o período experimental.

O sistema de nebulização era composto por duas linhas de PVC de 32 mm, com 30 metros de comprimento cada, espaçadas entre si a 3,0 m. Os nebulizadores foram instalados nas linhas de PVC a 2,0 m equidistantes um do outro a uma altura de 2,30 m. O modelo utilizado foi o NA-1 Anti-gotas. Este modelo cria uma névoa de micro gotas de cerca de 40 micras de diâmetro não interferindo na irrigação. Os nebulizadores fornecem uma vazão de  $7,14 L h^{-1}$  e trabalham com pressão de serviço de 20 mca. O acionamento do sistema de nebulização foi realizado manualmente em horários pré-determinados atendendo uma ordem

sequencial, ou seja, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 e 17:00 h, permanecendo o nebulizador acionado por 10 minutos.

### **3.10 Condução do experimento e análises realizadas**

Aos 25 dias após a semeadura (DAS) (29/09/2011) para o primeiro cultivo e (05/05/2012) para o segundo cultivo, períodos equivalentes à primavera e outono, o transplântio foi realizado, momento em que as mudas apresentavam quatro folhas definitivas e o espaçamento adotado foi 0,25 x 0,25 m. A aplicação dos tratamentos de lâminas de reposição de água iniciou-se a partir de nove dias após o transplântio das mudas, período este necessário para o estabelecimento e a climatização das mudas, dentro do ambiente protegido.

Quando necessário realizaram capinas manuais, para controle de plantas daninhas como, tiririca (*Cyperus rotundus*), azedinha (*Rumex acetosa*) e caruru (*Amaranthus viridis* L). Por meio de avaliações visuais, inspeções periódicas foram feitas a fim de se detectar a presença de pragas e a ocorrência de doenças durante o cultivo. Entretanto, neste experimento não foram observados problemas fitossanitários.

A colheita e as características produtivas avaliadas foram realizadas aos 39 dias após o transplântio (DAT), momento em que as plantas apresentaram o máximo desenvolvimento vegetativo. Sendo colhidas quatro plantas por parcela útil, procedendo-se imediatamente às avaliações. Logo após a colheita, as plantas foram encaminhadas ao laboratório e a parte aérea total foi pesada, sendo os resultados expressos em gramas.

Para verificação das unidades de matéria fresca e seca das plantas, se utilizou uma balança de precisão 0,01g. Para avaliação da matéria seca das plantas, estas foram devidamente acondicionadas em embalagens de papel, identificadas e levadas à estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de  $\pm 65^{\circ}\text{C}$ , até atingir matéria constante.

As características produtivas avaliadas foram; altura da planta (H), número de folhas (NF), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA) e produtividade (P).

A produtividade foi estimada com base no espaçamento entre as parcelas e plantas, desta forma calculou-se a população de plantas por hectare. O valor encontrado foi de 96.000 plantas.

A eficiência do uso da água foi determinada em função da relação entre os valores de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e as respectivas lâminas de irrigação aplicadas (mm) em cada tratamento, sendo os resultados expressos em  $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$  conforme citado por Sammis (1980).

Todos os dados quantificados foram submetidos a análise de variância (ANOVA). A normalidade foi verificada pelo teste de aderência de Lilliefors e, de forma complementar, visualmente pela simetria do histograma obtido pelo programa SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) (RIBEIRO JUNIOR & MELO, 2008). De acordo com esse procedimento, todas as variáveis analisadas seguiram distribuição normal. Após a verificação da significância (ou não) da ANOVA as médias foram comparadas utilizando o teste Tukey a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Condições climáticas no 1º e 2º cultivos

As temperaturas máximas, mínimas e médias no interior do ambiente protegido durante a condução do experimento para o primeiro cultivo estão na Figura 10. No período de condução do experimento, a temperatura média do ar no interior do ambiente protegido foi de 26°C, as mínimas atingidas ficaram entre 16,°C e 20°C e as máximas entre 23°C e 44°C.

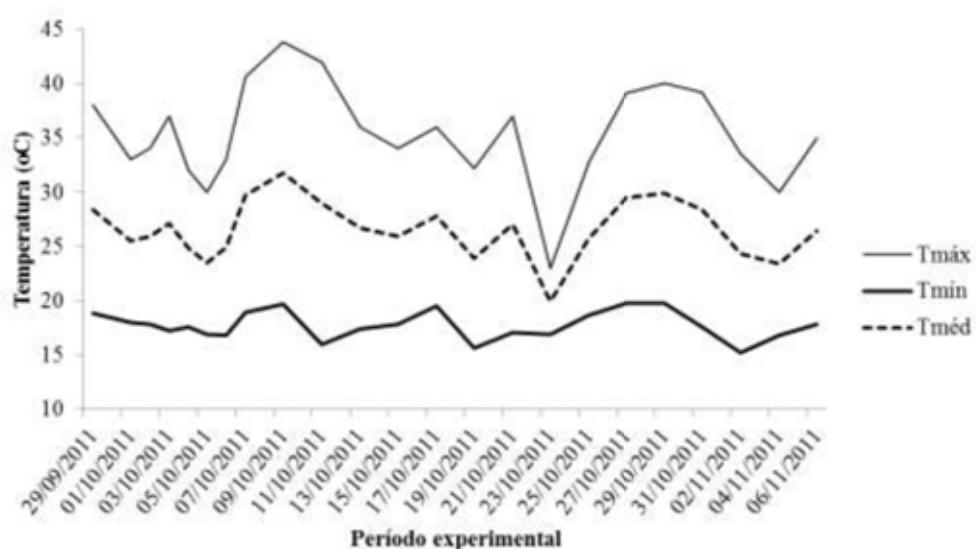
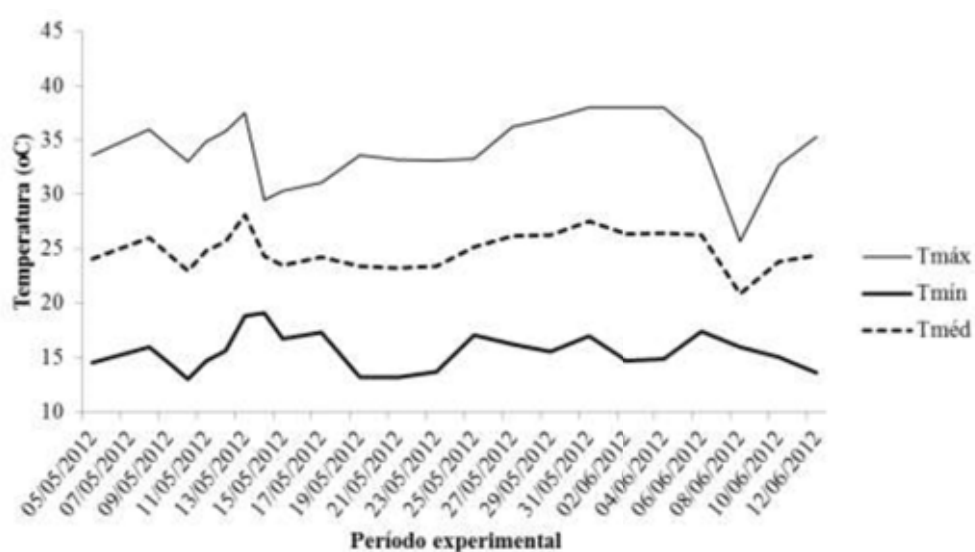


FIGURA 10. Temperatura do ar no interior do ambiente protegido para o 1º cultivo (°C).

As temperaturas máximas, mínimas e médias no interior do ambiente protegido durante a condução do experimento para o segundo cultivo estão na Figura 11. No período de condução do experimento, a temperatura média do ar no interior da do ambiente protegido foi de 24°C, as mínimas atingidas ficaram entre 13°C e 19°C e as máximas entre 25°C e 38°C.



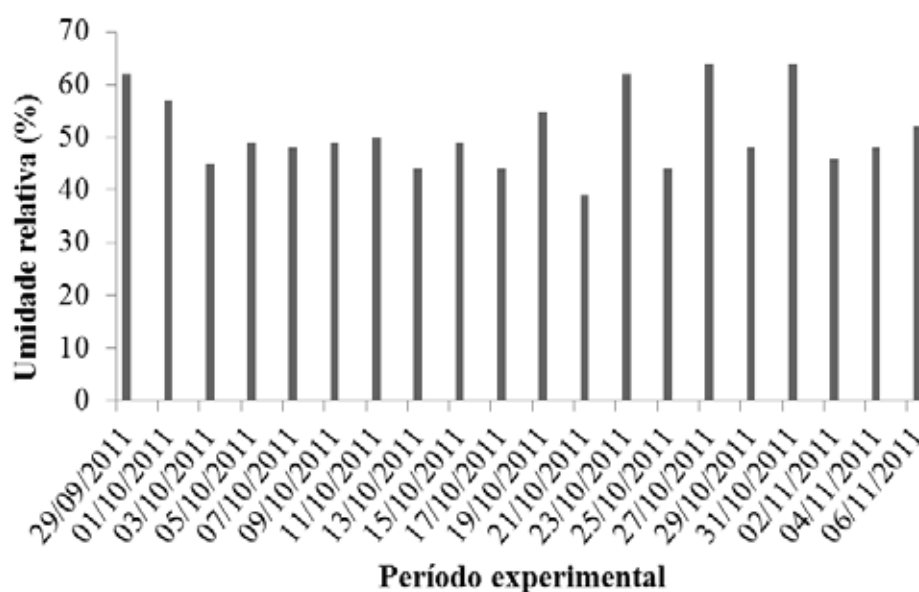
**FIGURA 11.** Temperatura do ar no interior do ambiente protegido para o 2º cultivo (°C).

Sganzerla (1995) e Goto e Tiveli (1998) relatam que as temperaturas críticas de interferência no desenvolvimento da cultura da alface ficam abaixo de 10-12°C e acima de 30°C, necessitando de variação térmica entre dia e noite.

Nos dois cultivos, em dias isolados, foram observadas temperaturas superiores a sugerida pelos autores citados anteriormente, entretanto, nota-se que de modo geral as temperaturas observadas no primeiro cultivo são superiores ao segundo cultivo chegando a encontrar valores na ordem de 44°C.

As variações de temperatura do ar observadas entre o primeiro e o segundo cultivo podem influenciar no desenvolvimento e na produtividade das plantas, além de exercer efeito sobre a taxa de transpiração. Segundo Caetano et al. (2001) sua resposta agrônômica é influenciada pelas condições edafoclimáticas. Além disso, temperaturas elevadas modificam a textura das folhas de alface, tornando-as mais fibrosas (SETÚBAL & SILVA, 1992).

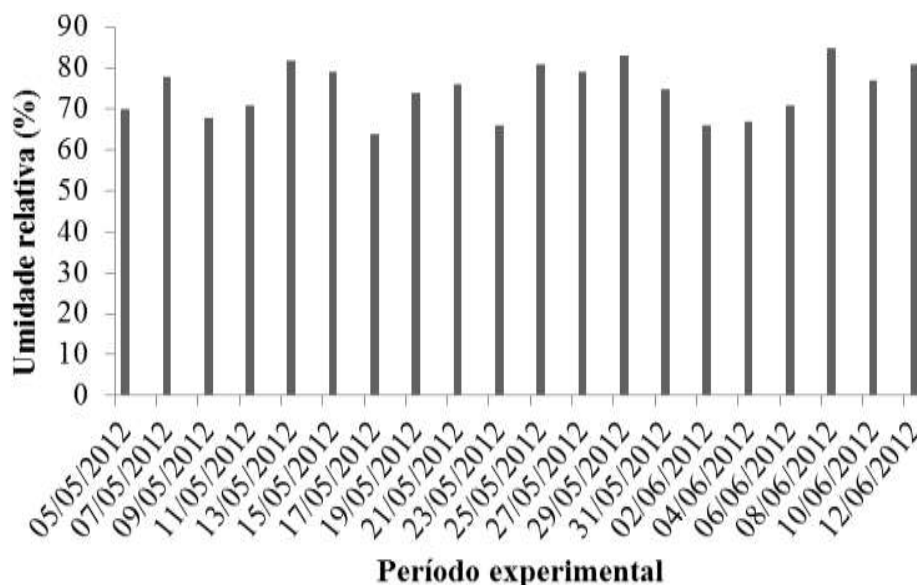
A umidade relativa média do ar (Figura 12), durante o ciclo da cultura no primeiro cultivo foi de aproximadamente 51%. O valor médio observado no interior do ambiente protegido encontrou-se abaixo da faixa considerada como ideal para o desenvolvimento da cultura, que segundo Sganzerla (1995), é de 60 a 80%. Entretanto não foram observadas ocorrências que prejudicassem o bom desenvolvimento da planta durante o experimento.



**FIGURA 12.** Média da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido para o 1º cultivo (UR%).

Durante o ciclo da cultura no segundo cultivo a umidade relativa do ar (Figura 13), foi de aproximadamente 74%. O valor médio observado no interior do ambiente protegido encontrou-se dentro da faixa considerada como ideal para o desenvolvimento da cultura da alface. A umidade relativa do ar mínima e máxima atingidas no interior do ambiente protegido neste cultivo ficou entre 64 e 85%.

Se comparado os dois cultivos, pode-se observar que há relação entre os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Nota-se no primeiro cultivo, que as altas temperaturas são acompanhadas de baixas umidades, já no segundo cultivo os valores de temperatura são mais amenos, e valores de umidade relativa do ar mais altos.



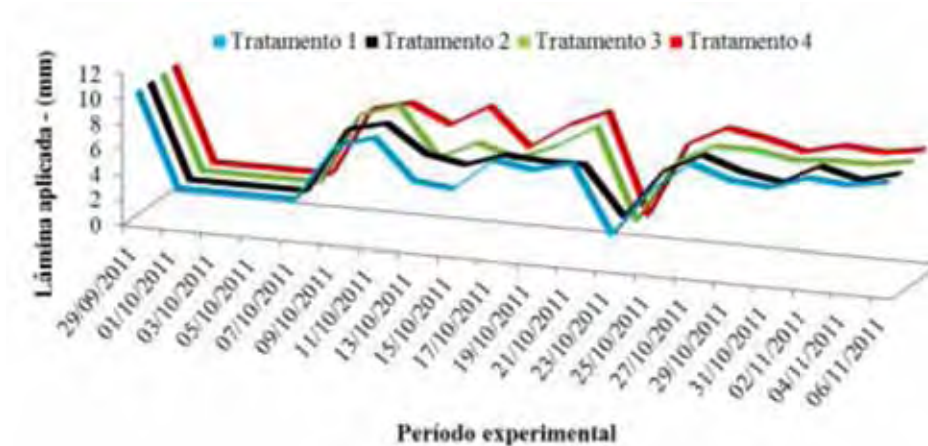
**FIGURA 13.** Média da umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido para o 2º cultivo (UR%).

#### 4.2 Comportamento das lâminas de água aplicadas no 1º e 2º cultivos

O comportamento das lâminas de água aplicadas para cada tratamento entre o primeiro e segundo cultivos pode ser observado nas Figuras 14 e 15. Após dois dias do transplântio foi aplicada uma lâmina de 10,4 mm, com apreciação da curva de retenção de água no solo, com intuito de elevar o teor de água no solo próximo a capacidade de campo, após este período até os nove DAT, foram aplicadas lâminas iguais para todos os tratamentos, 3 mm, com a finalidade de manter o teor de água do solo em condições ideais para o estabelecimento e a climatização da cultura. Após este período, deu-se início a diferenciação dos tratamentos, onde as irrigações eram efetuadas em turno de rega de dois dias. Salienta-se que este manejo foi efetuado para os dois cultivos.

Os resultados apresentados na Figura 14 indicam que os valores médios das lâminas de água aplicadas no experimento obtidas pelos tanques evaporímetros desenvolvidos (TEDs) apresentaram comportamento similares entre os tratamentos para o 1º cultivo.

De acordo com Santana (2009) dias nublados e chuvosos em que a temperatura do ar é mais amena, os valores de umidade relativa do ar mais elevada dificultam a evaporação em virtude do menor potencial higrométrico do ar, este comportamento explica o decréscimo da lâmina no período do turno de rega entre 21 a 23/10/2011.

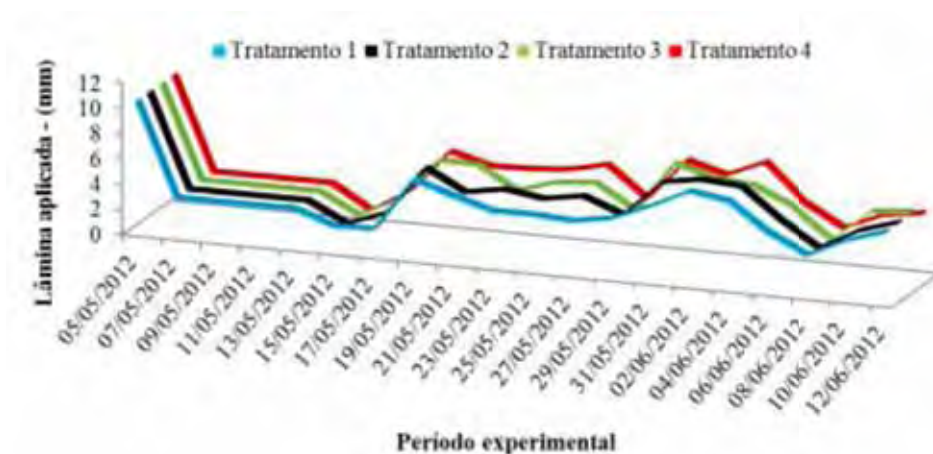


**FIGURA 14.** Comportamento de lâminas de água aplicadas durante o período experimental para o 1º cultivo (mm).

Observa-se que para o primeiro e segundo cultivos em dias com valores de temperaturas de ar mais elevadas e umidades relativas baixas, houve tendência de aumentar a evaporação e conseqüentemente na lâmina, bem como nos dias de valores de temperatura do ar menores e umidade relativa do ar elevada, ocorreram reduções. Os dados demonstram que o clima interferiu diretamente na demanda de água pela cultura.

Similar ao primeiro cultivo é possível observar que os valores médios de lâminas de água aplicadas ao longo do segundo cultivo também apresentaram comportamento semelhante em relação aos tratamentos. A lâmina média de água aplicada em intervalos de 2 dias ficou em torno de 5 mm. Assim, verifica-se que a cultivar de alface, Verônica, apresentou a mesma tendência com relação ao consumo de água durante o ciclo de produção para todos os tratamentos.





**FIGURA 15.** Comportamento de lâminas de água aplicadas durante o período experimental para o 2º cultivo (mm).

#### 4.3 Lâminas de água acumuladas no 1º e 2º cultivos

A análise de variância (Tabela 5) indica que houve diferença significativa pelo teste F entre tratamentos, para a lâmina de água acumulada no primeiro cultivo ( $F=37,73$ ;  $P=0,00002$ ).

**TABELA 5.** Resumo da análise de variância para lâmina de água acumulada (LA - mm) no 1º e 2º cultivos.

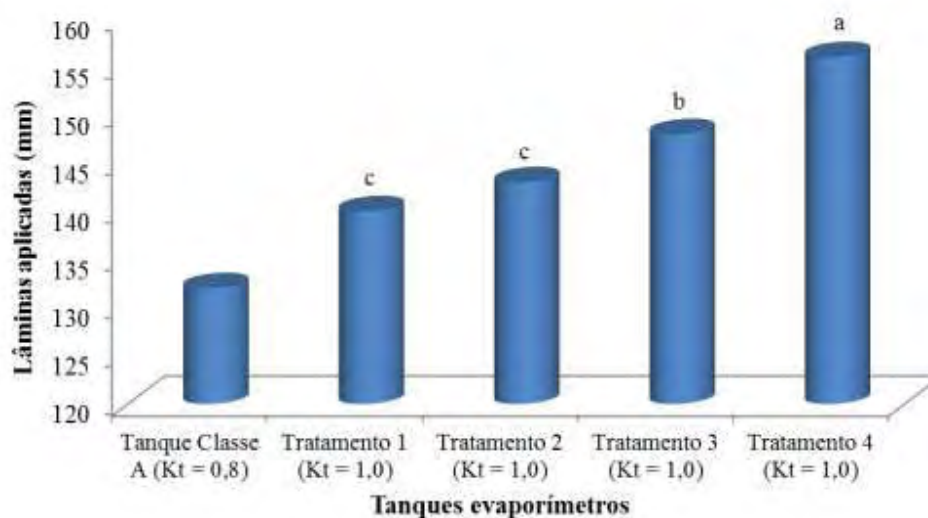
<b>Primeiro Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
LA	Blocos	3	8,41	0,55	>0,05
	Tratamentos	3	576,40	37,73	0,00002
	Resíduo	9	45,83		
	C.V.= 1,53				
<b>Segundo Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
LA	Blocos	3	64,58	0,62	>0,05
	Tratamentos	3	10,32	0,10	>0,05
	Resíduo	9	309,18		
	C.V.= 5,40				

Para o segundo cultivo observa-se que não houve diferença significativa pelo F.

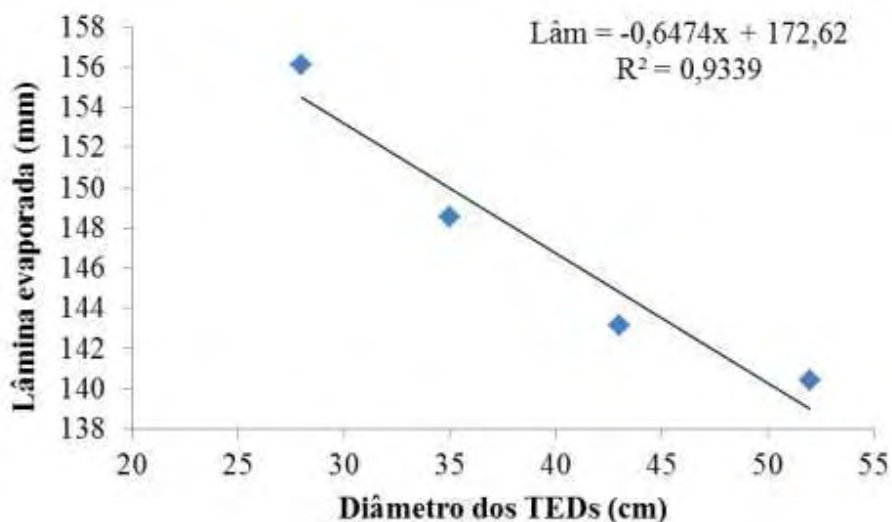
Os valores acumulados das lâminas de irrigação entre os tratamentos para o primeiro cultivo estão na Figura 16. Observa-se que a maior quantidade de água utilizada nos diferentes tratamentos foi obtida pelo tratamento 4, totalizando 156 mm sendo equivalente ao tanque evaporímetro desenvolvido (TED) de menor diâmetro. Os dados relativos à lâmina acumulada de água revelaram uma tendência crescente de aumento, a com a diminuição da superfície livre de água, ou seja, diferenciação dos tratamentos em função do diâmetro dos TEDs (Figura 17).

A diferença de valores das lâminas acumuladas entre os tratamentos para o primeiro cultivo foram de 140,41, 143,12, 148,55 e 156,12 mm nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, para lâmina observada no Tanque Classe A, obteve-se 133 mm.

A variação máxima de lâmina acumulada entre os tratamentos 1 e 4 encontra-se em torno de 10%.



**FIGURA 16.** Médias de lâminas total de água acumuladas durante o período experimental para o 1º cultivo (mm).



**FIGURA 17.** Relação entre a lâmina de água evaporada (mm) em função dos diferentes diâmetros internos dos TEDs (cm).

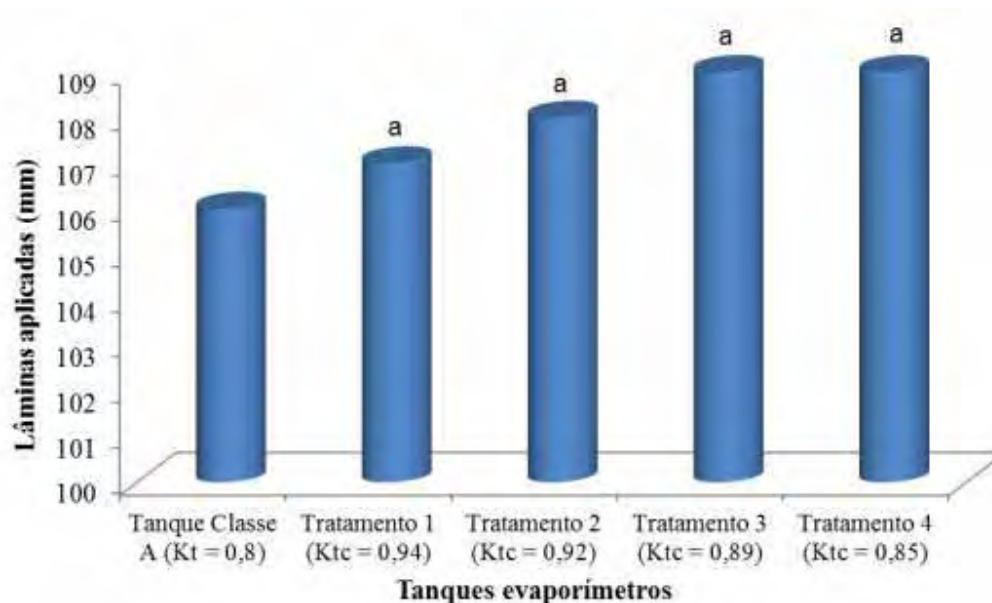
A perda de determinado volume de água em área unitária, ou seja, superfície livre de água é influenciada diretamente pela demanda atmosférica. Em se tratando de recipientes que contenham volume de água diferenciado e superfície livre de água distinta, como é o caso dos TEDs é provável que em tanques menores o ganho de energia advindo da transferência de calor acumulada nas paredes dos tanques é mais rápida e homogênea, assim, é possível que a quantidade e tipo de material envolvido na confecção dos TEDs possam interferir na evaporação, aquecendo a massa líquida. Este comportamento pode explicar a relação crescente de aumento da lâmina na medida em que ocorreu a diminuição da superfície livre de água, ou seja, tanques menores.

Os valores acumulados das lâminas de irrigação entre os tratamentos para o segundo cultivo após calibração do Kt estão na Figura 18. É bom salientar que as lâminas de reposição aplicadas ao solo ao longo do experimento para o primeiro e segundo cultivos foram obtidas dos TEDs.

Nota-se que o método utilizado para calibração dos TEDs mostrou-se eficiente, visto que as lâminas acumuladas aplicadas no segundo cultivo não foram afetadas significativamente pelo teste F.

A diferença de valores das lâminas acumuladas entre os tratamentos para o segundo cultivo foram de 107,47, 108,05, 109,23 e 109,39 mm nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, para lâmina fictícia notada no Tanque Classe A, obteve-se 106,57 mm.

A variação máxima de lâmina acumulada entre os tratamentos 1 e 4 encontra-se em 1,75%, já a variação entre o Tanque Classe A e os tratamentos foi de 0,83, 1,37, 2,43 e 2,58% para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Esta variação pode ser associada ao método de leitura da evaporação, visto que neste experimento foram utilizados réguas milimétricas, não sendo possível fornecer a mesma precisão em comparação ao parafuso micrométrico.



**FIGURA 18.** Médias de lâminas total de água acumuladas durante o período experimental para o 2º cultivo (mm).

#### 4.4 Eficiência do uso da água no 1º e 2º cultivos

Como qualquer olerícola, o cultivo da alface caracteriza-se pelo uso intensivo de água e fertilizante, uma vez que os aportes de água e nutrientes são componentes fundamentais para a obtenção de elevada produtividade. Dessa forma, o consumo de água pela

cultura é um fator de extrema importância no planejamento da irrigação, principalmente em regiões onde a disponibilidade deste recurso é um fator limitante. (VILAS BOAS, 2006).

Observa-se pela análise de variância para o primeiro e segundo cultivos que a eficiência no uso da água não foi afetada significativamente pelas lâminas de irrigação aplicadas, pelo teste F (Tabela 6).

**TABELA 6.** Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água (EUA), de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos.

<b>Primeiro Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
EUA	Blocos	3	6958,05	2,94	>0,09
	Tratamentos	3	2089,33	0,88	>0,05
	Resíduo	9	7086,89		
C.V.= 13,72					
<b>Segundo Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
EUA	Blocos	3	571,18	0,26	>0,05
	Tratamentos	3	885,40	0,40	>0,05
	Resíduo	9	6585,11		
C.V.= 10,78					

A eficiência do uso da água pode ser observada na Tabela 7, com indicação da matéria fresca por planta, da produtividade e da lâmina total em cada tratamento. A eficiência do uso da água foi obtida pela relação entre a produtividade total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e a lâmina total acumulada de água e aplicada às planta (mm).

O valor máximo de eficiência do uso da água foi de  $221,60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para o primeiro cultivo e de  $260,01 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para o segundo, com as lâminas de irrigação de 140,41 mm e 107,47 mm, respectivamente. Nota-se que a maior eficiência do uso da água observada entre os cultivos foi obtida com o TED de maior diâmetro (Tratamento 1), este comportamento pode ser facilmente explicado, visto que este tratamento foi o que utilizou a menor quantidade de água e conseqüentemente obteve a maior produtividade, assim estes parâmetros foram os responsáveis pela maior eficiência do uso da água.

**TABELA 7.** Eficiência do uso da água para os diferentes TEDs no 1º e 2º cultivos.

<b>Primeiro cultivo</b>				
Tratamentos	Matéria fresca (g planta <sup>-1</sup> )	Produtividades (kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas acumuladas (mm)	Eficiência do uso da água (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )
T1	324,12 a	31.116,00 a	140,41 c	221,60 a
T2	302,50 a	29.040,00 a	143,12 c	202,41 a
T3	315,93 a	30.330,00 a	148,55 b	204,16 a
T4	307,87 a	29.556,00 a	156,12 a	189,49 a
<b>Segundo cultivo</b>				
Tratamentos	Matéria fresca (g planta <sup>-1</sup> )	Produtividades (kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas acumuladas (mm)	Eficiência do uso da água (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )
T1	291,00 a	27.936,00 a	107,47 a	260,01 a
T2	288,00 a	27.648,00 a	108,05 a	255,50 a
T3	272,72 a	26.181,60 a	109,23 a	240,93 a
T4	280,70 a	26.947,20 a	109,39 a	246,67 a

\*Médias seguidas por letras iguais entre si, não diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O comportamento observado neste experimento atenta para interpretação errônea por muitos produtores, pois muitas vezes relacionam o excesso de água com ganho de eficiência e produtividade.

Segundo Marouelli et al., (2008) a irrigação realizada em excesso é prática comum em regiões com disponibilidade de água, as plantas são, muitas vezes, submetidas as condições de excesso hídrico, comprometendo o desempenho da cultura. Isso ocorre porque o produtor tende a aplicar quantidades de água maiores do que o solo pode armazenar e espaça em demasia o intervalo entre irrigações.

Em algumas regiões onde a água se constitui no principal fator limitante, o objetivo da irrigação deve ser a obtenção da máxima eficiência de produção por unidade de área e água aplicada. Neste contexto, um dos grandes desafios da agricultura irrigada é a utilização eficiente do uso da água e a conservação do meio ambiente.

## 4.5 Características produtivas avaliadas no 1º e 2º cultivos

### 4.5.1 Avaliação da altura de planta

De acordo com a análise de variância (Tabela 8), verifica-se que para a altura de plantas (cm), tanto o primeiro quanto o segundo cultivo, que não apresentaram diferenças significativas, pelo teste F em relação aos tratamentos, assim como a (Figura 19).

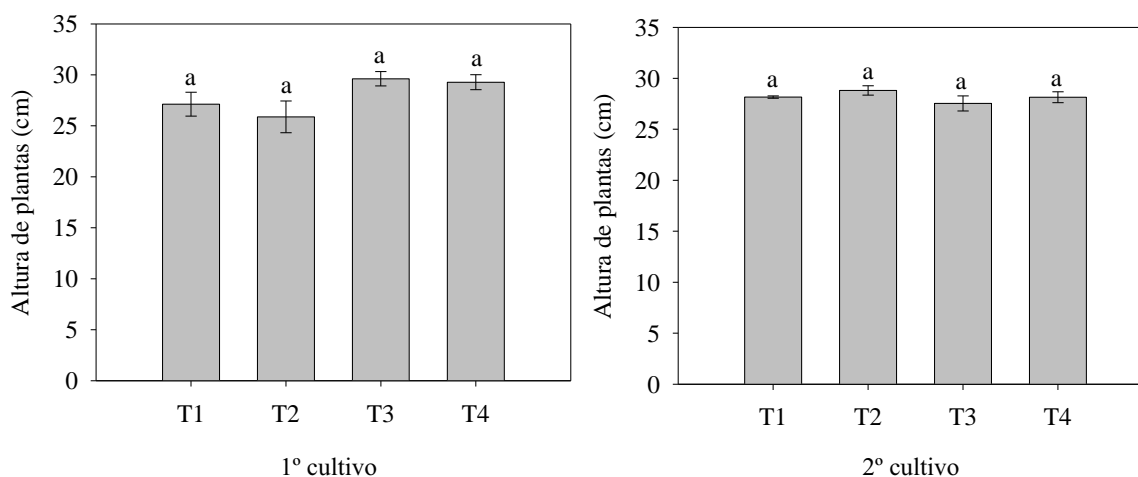
**TABELA 8.** Resumo da análise de variância para altura (cm) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos.

<b>Primeiro Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Altura (cm)	Blocos	3	10,21	0,64	>0,05
	Tratamentos	3	38,10	2,39	0,13
	Resíduo	9	47,70		
	C.V.= 8,22				
<b>Segundo Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Altura (cm)	Blocos	3	1,54	0,40	>0,05
	Tratamentos	3	3,22	0,85	>0,05
	Resíduo	9	11,34		
	C.V.= 3,98				

Quanto à característica altura da planta a cultivar Verônica adotada neste experimento apresentou resultados semelhantes para todos os tratamentos, sendo que estatisticamente não houve diferenças entre os tratamentos nem para o primeiro e segundo cultivos. (Figura 19). A cultivar apresentou valores médios para altura de planta no primeiro cultivo que variaram de 27, 25, 30 e 29 cm, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, já no segundo cultivo os valores observados entre os tratamentos foram de 28, 29, 27 e 28 cm, respectivamente. Os resultados demonstraram que para esta característica que o desempenho foi semelhante entre os tratamentos, independente do cultivo.

Santana (2009) avaliando o efeito da temperatura do ar, evaporação e poder evaporativo do ar sobre o desempenho de quatro cultivares de alface crespa (Itapuã, Paola, Vera e Verônica) em ambiente protegido nas condições de verão da região oeste do Paraná, observou que a cultivar Verônica obteve-se média 23 cm de altura, apresentando resultado inferior ao observado neste experimento.

No primeiro cultivo observa-se que a cultivar Verônica apresentou erro padrão mais acentuado em relação ao segundo cultivo, visto que no segundo cultivo a variação máxima observada de lâmina de água aplicada ficou em torno de 1,75% entre os tratamentos. Este comportamento demonstra que a umidade do solo ficou homogênea ao longo do cultivo proporcionando plantas com alturas semelhantes.



**FIGURA 19.** Médias ( $\pm$  EP) da altura (cm) de plantas de alface cv. Verônica, cultivadas sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos.

#### 4.5.2 Avaliação da matéria fresca

A análise de variância (Tabela 9) indica que não houve diferenças significativas, pelo teste F para os valores de matéria fresca (g), tanto para o primeiro quanto para o segundo cultivos.

A cultivar apresentou valores médios para matéria fresca no primeiro cultivo que foram de 324,12, 302,50, 315,93 e 307,87 g planta<sup>-1</sup> nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, já para o segundo cultivo os valores observados foram de 291,00,



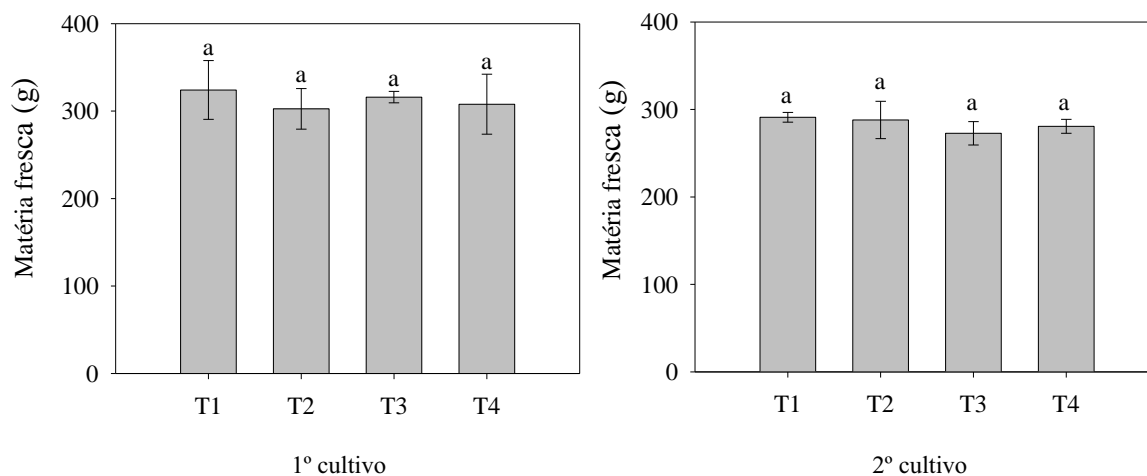
288,00, 272,72 e 280,70 g planta<sup>-1</sup> para os tratamentos T1, T2, T3 e T4. Os resultados demonstraram que para esta característica avaliada o desempenho foi semelhante para o primeiro e segundo cultivos.

**TABELA 9.** Resumo da análise de variância para matéria fresca (g) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos.

<b>Primeiro Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Matéria Fresca	Blocos	3	16723,89	2,80	0,10
	Tratamentos	3	1073,19	0,18	>0,05
	Resíduo	9	17879,04		
	C.V.= 14,25				
<b>Segundo Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Matéria Fresca	Blocos	3	245,05	0,08	>0,05
	Tratamentos	3	799,28	0,28	>0,05
	Resíduo	9	8472,01		
	C.V.= 10,83				

Na Figura 20 são apresentados os valores de matéria fresca (g planta<sup>-1</sup>), é possível observar que as variações entre os tratamentos em relação a esta característica foram semelhantes, onde não ocorreu diferença entre os tratamentos.

No primeiro cultivo a cultivar Verônica apresentou média entre os tratamentos de 312,60 g planta<sup>-1</sup>, superiores aos encontrados por Lima et al. (2004), que trabalharam com diferentes espaçamentos. Para o espaçamento de 20 x 30 cm, a matéria fresca variou de 263,34 a 302,29 g planta<sup>-1</sup> para o espaçamento de 20 x 20 cm, variou e 301,10 a 236,15 g planta<sup>-1</sup>. Enquanto Radin et al. (2004) encontraram 235,48 g planta<sup>-1</sup> e Santana (2009) 159,50 g planta<sup>-1</sup> para cultivar Verônica. Vilas Boas et al. (2007) observaram 296,43 g planta<sup>-1</sup> para a cultivar Verônica, semelhante a média observada para o segundo cultivo 283,10 g planta<sup>-1</sup>.



**FIGURA 20.** Médias ( $\pm$  EP) da matéria fresca (g) de plantas de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos.

Vários autores observaram ajuste quadrático entre a variável matéria fresca e a aplicação de lâminas de irrigação (PELÚZIO, 1992; ANDRADE JÚNIOR et al., 1992; ANDRADE JÚNIOR e KLAR, 1997; PEREIRA et al., 2003; SOUZA, 2006; VILAS BOAS et al., 2007; LIMA JUNIOR et al., 2010), entretanto, obtiveram diferentes respostas quanto ao valor máximo obtido e a lâmina equivalente. Neste experimento não foi possível observar este comportamento, visto que as lâminas aplicadas ao longo do ensaio foram com o objetivo de avaliar o comportamento de diferentes tanques evaporímetros em auxílio ao manejo da irrigação e não com o intuito de avaliar diferentes níveis de lâminas de irrigação como é o caso dos trabalhos relatados.

#### 4.5.3 Avaliação da matéria seca

Observa-se na Tabela 10 que a análise de variância para esta característica, matéria seca (g) não apresentaram diferenças significativas, pelo teste F tanto para o primeiro quanto para o segundo cultivo.

O teor de matéria seca fornece uma estimativa das quantidades de matéria sólida e de água incluídas na produção. Se uma planta ou parte dela tiver menor teor de matéria seca, essa planta ou parte apresentará mais água em sua constituição, o que pode

ser considerado desejável, no caso da alface, porque a deixa mais tenra e com melhor sabor, apesar da sua durabilidade pós-colheita ser menor (ALVARENGA, 1999).

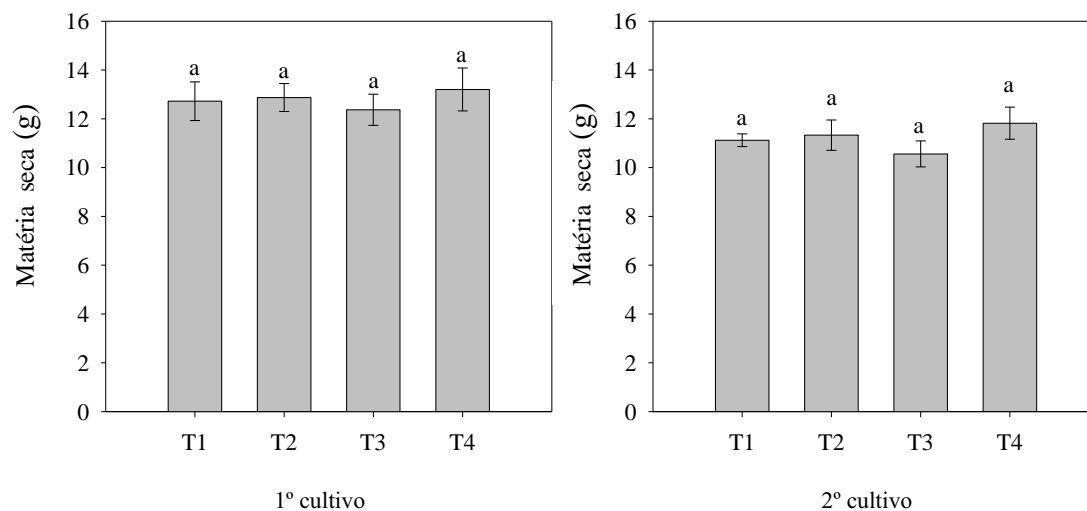
**TABELA 10.** Resumo da análise de variância para matéria seca (g) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos.

<b>Primeiro Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Matéria Seca	Blocos	3	6,58	1,02	0,42
	Tratamentos	3	1,42	0,22	>0,05
	Resíduo	9	19,35		
	C.V.= 11,46				
<b>Segundo Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Matéria Seca	Blocos	3	2,10	0,52	>0,05
	Tratamentos	3	3,25	0,80	>0,05
	Resíduo	9	12,09		
	C.V.= 10,33				

Na Figura 21 são apresentados os valores de matéria seca ( $\text{g planta}^{-1}$ ) para o primeiro e segundo cultivos, pode-se observar que as variações entre os tratamentos em relação a esta característica foram semelhantes, não apresentando diferenças significativas em cada cultivo avaliado.

Este comportamento já era esperado para a produção de matéria seca, visto que a análise estatística demonstrou que os resultados obtidos para produção de matéria fresca, não apresentaram diferenças significativas, visto que a produção de matéria seca está diretamente relacionada com a quantidade matéria fresca da planta.

Em média, os valores observados de matéria seca para o primeiro cultivo foram: 12,72, 12,87, 12,37 e 13,20  $\text{g planta}^{-1}$ , respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, já para o segundo foram: 11,12, 11,33, 10,56 e 11,82  $\text{g planta}^{-1}$ , respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4.



**FIGURA 21.** Médias ( $\pm$  EP) da matéria seca (g) de plantas de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos.

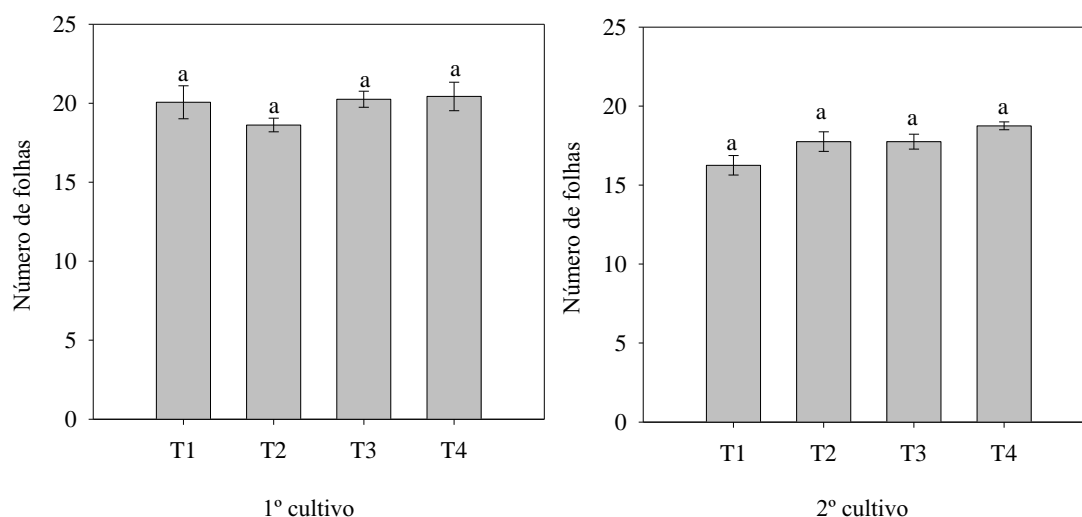
#### 4.5.4 Avaliação do número de folhas

De acordo com a análise de variância (Tabela 11), verifica-se que para a característica número de folhas, tanto o primeiro quanto o segundo cultivos, que não apresentaram diferenças significativas, pelo teste F.

**TABELA 11.** Resumo da análise de variância para número de folhas, de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos.

<b>Primeiro Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Número de folhas	Blocos	3	17,32	4,69	0,03
	Tratamentos	3	8,20	2,22	>0,15
	Resíduo	9	11,07		
C.V.= 5,51					
<b>Segundo Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Número de folhas	Blocos	3	2,25	0,62	>0,05
	Tratamentos	3	12,75	3,55	>0,05
	Resíduo	9	10,75		
C.V.= 6,20					

Na Figura 22 são apresentados os valores de número de folhas para o primeiro e segundo cultivos, é possível observar que as variações entre os tratamentos em relação a esta característica foram semelhantes, não apresentando diferenças significativas em cada cultivo avaliado.



**FIGURA 22.** Médias ( $\pm$  EP) do número de folhas de plantas de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos.

Quanto ao número de folhas para o primeiro cultivo os valores ficaram semelhantes entre os tratamentos variando de 19 a 20 folhas por planta. Contudo, estes valores foram similares aos obtidos por Radin et al. (2004) que foi de 20 folhas para alface cv. Verônica. Araújo et al. (2010) com o objetivo de avaliar o rendimento da alface cv. Verônica cultivada em ambiente protegido em função de lâminas de irrigação, demonstraram que o número de folhas apresentou uma resposta linear em relação às lâminas de irrigação testadas, sendo que os valores oscilaram de 15 a 20 folhas por planta com a aplicação de 81,7 mm de água (T20) e 213 mm de água (T120), respectivamente. Outros autores também obtiveram valores semelhantes a este experimento (ANDRADE JÚNIOR e al., 2005; GOMES et al., 2005; DELVIO SANDRI et al., 2007).

Andriolo et al. (2003) avaliando o crescimento e desenvolvimento de plantas de alface provenientes de mudas com diferentes idades fisiológicas observaram para

alface crespa, cv. Vera, valor de 21 folhas por planta. Echer et al. (2000) com o objetivo de avaliar o efeito do espaçamento no comportamento de cinco cultivares de alface do tipo crespa, obteve-se valor médio de 22 folhas por planta. Maggi et al. (2006) não observaram diferenças significativas no número de folhas para as cultivares lisa e crespa quando submetidas a diferentes potenciais de água no solo (20, 28, 35 e 45 kPa). Os autores obtiveram em torno de 27 folhas para cultivar lisa e 22 folhas para crespa.

Santana (2009) avaliando o efeito da temperatura do ar, evaporação e poder evaporativo do ar sobre o desempenho de quatro cultivares de alface crespa (Itapuã, Paola, Vera e Verônica) em ambiente protegido nas condições de verão da região oeste do Paraná, observou que a cultivar Verônica obteve-se média de 15 folhas por planta, sendo este valor inferior aos observados neste experimento.

O número de folhas por planta obtidos no primeiro e segundo cultivos são inferiores aos 23 folhas encontrados por Vilas Boas et al. (2007) para a cultivar Verônica, quando avaliaram a lâmina de irrigação na cultura, em ambiente protegido modelo arco, no município de Lavras - MG. Radin et al. (2004) na cidade Eldorado do Sul – RS, em ambiente protegido tipo “estufa plástica pampeana”, verificaram em experimento com cultivares de alface do tipo crespa que a cultivar Verônica apresentou 28 folhas por planta.

Analisando o segundo cultivo para variável número de folhas pode-se observar que o tratamento 4 foi o que apresentou a maior média 19 folhas por planta, sendo os valores entre os tratamentos variando de 16 a 19 folhas por planta, porém estatisticamente não diferiu dos valores observados para os demais tratamentos. No primeiro cultivo o número de folhas foi maior, já o segundo o número de folhas foi menor. Sendo que os dois cultivos não apresentaram diferença significativa pelo teste F.

Em média, os valores observados para o número de folhas para o primeiro cultivo foram: 20, 19, 20, e 20, cm para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, já para o segundo foram: 16, 18, 18 e 19 cm para os mesmos tratamentos. A média geral para o primeiro e segundo cultivo foi de 19,84 e 17,62 cm. Nota-se que para o primeiro cultivo a média geral foi superior em relação ao segundo, este comportamento pode estar interligado diretamente pela variação de temperatura observada entre os dois cultivos, onde segundo Oliveira et al. (2004), na produção de alface, o número de folhas é uma característica importante e está intimamente associado à temperatura do ambiente de cultivo.

#### 4.5.5 Produtividade

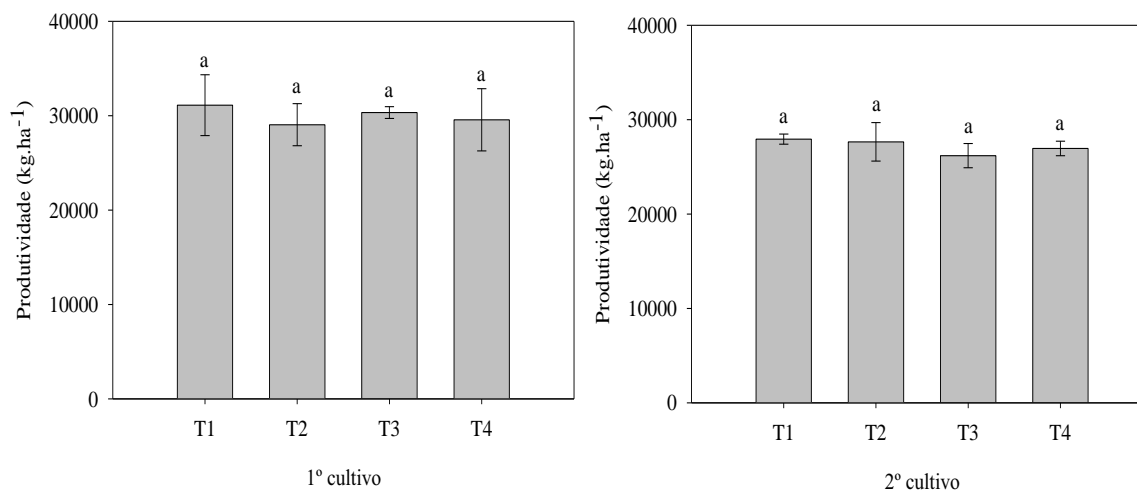
Observa-se na Tabela 12 que a análise de variância para produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) não apresentou diferenças significativas, pelo teste F tanto para o primeiro quanto para o segundo cultivos.

Mesmo não havendo diferença significativa para esta característica analisada, vale ressaltar que o comportamento da produtividade acompanhou a matéria fresca. Isto ocorre porque a produtividade é estimada entre a matéria fresca e a população de plantas por hectare.

**TABELA 12.** Resumo da análise de variância para produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de plantas de alface cv. Verônica no 1º e 2º cultivos.

<b>Primeiro Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Produtividade	Blocos	3	0,15	2,08	0,10
	Tratamentos	3	98,90	0,18	>0,05
	Resíduo	9	0,16		
	C.V.= 14,25				
<b>Segundo Cultivo</b>					
Variável	Fontes de variação	GL	SQ	F	P
Produtividade	Blocos	3	2258398,00	0,08	>0,05
	Tratamentos	3	7366182,00	0,28	>0,05
	Resíduo	9	0,78078100		
	C.V.= 10,83				

Na Figura 23 estão os valores de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para o primeiro e segundo cultivos, é possível observar que as variações entre os tratamentos em relação a esta característica foram semelhantes, não apresentando diferenças significativas em cada cultivo avaliado.



**FIGURA 23.** Médias ( $\pm$  EP) para produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de plantas de alface cv. Verônica, cultivados sob manejo de tanques evaporímetros de diferentes diâmetros. T1 = 52 cm, T2 = 43 cm, T3 = 35 cm e T4 = 28 cm de diâmetro, no 1º e 2º cultivos.

Em média, os valores observados de produtividade para o primeiro cultivo foram: 31.116, 29.040, 30.330 e 29.556  $\text{kg ha}^{-1}$  para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 respectivamente, já para o segundo foram: 27.936, 27.648, 26.181 e 26.947  $\text{kg ha}^{-1}$ . A média geral para o primeiro e segundo cultivo foi de 30.010 e 27.178  $\text{kg ha}^{-1}$  respectivamente.

A produtividade no primeiro cultivo foi observada no tratamento 1 que recebeu lâmina de irrigação de 140,41 mm, resultando em uma produtividade de 31.116  $\text{kg ha}^{-1}$ , já para o segundo cultivo ocorreu com uma lâmina de irrigação de 107,47 mm resultando em 27.936  $\text{kg ha}^{-1}$ , que também foi observada no tratamento 1. Assim, nota-se que para os dois cultivos a produtividade máxima foi atingida com aplicação da menor lâmina de irrigação.

Comportamento semelhante à produtividade observada no primeiro cultivo foi encontrado por Araújo et al. (2011) ao avaliar o rendimento da alface cv. Verônica cultivada em ambiente protegido, em função de doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação, observaram que a produtividade respondeu de forma significativa as doses de N, resultando numa equação linear decrescente, obtida com o espaçamento 0,25 x 0,25 m e produtividade de 30.027  $\text{kg ha}^{-1}$  para o tratamento sem adição de N.



Já Vilas Boas et al. (2008) em avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface, Verônica e Hortência em função de lâminas de irrigação, em casa de vegetação na região de Lavras, nos meses de setembro a novembro, em um Latossolo Vermelho Distrófico, obtiveram valores superiores aos obtidos neste experimento ( $36.484 \text{ kg ha}^{-1}$ ), utilizando o espaçamento de 0,30 por 0,20 m aplicando uma lâmina total de 249,1 mm.

Os resultados de produtividades, obtidos nesse experimento, estão acima do observado por Echer et al. (2000) que, estudando o efeito do espaçamento de cinco cultivares de alface do tipo crespa (Brisa, Grande Rápida, Marisa, Vera e Verônica AF 257), obtiveram uma produtividade média de  $26.950 \text{ kg ha}^{-1}$ , quando usado o mesmo espaçamento adotado neste experimento, (0,25 x 0,25 m) e também do observado por Aquino et al. (2007)  $16.320 \text{ kg ha}^{-1}$ , com o espaçamento 0,25 x 0,25 m, Ledo et al. (2000)  $25.200 \text{ kg ha}^{-1}$ , com espaçamento 0,3 x 0,25 m e Grangeiro et al. (2006)  $20.800 \text{ kg ha}^{-1}$ , com o espaçamento 0,20 x 0,20 m. Independente do espaçamento adotado os valores obtidos de produtividade nos experimentos citados encontram-se muito abaixo daqueles observados neste experimento. Segundo Figueiredo et al. (2004) resultados dessa natureza se devem às características genéticas peculiares de cada material, que conferem diferenças adaptativas às condições edafoclimáticas do local de cultivo.

Segundo Azevedo et al. (1997) a cultivar Verônica, do tipo crespa, apresenta relevante desempenho quanto à resistência ao calor. Nota-se que a produtividade observada para o primeiro cultivo neste trabalho foi superior a encontrada no segundo, desempenho que pode estar relacionado a variação de temperatura observada entre o primeiro e segundo cultivo, visto que neste caso o clima é o principal fator de interferência no processo de evapotranspiração.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se recomendar o uso dos TEDs para o auxílio do manejo de irrigação em ambiente protegido.

A metodologia de calibração do Kt utilizada no segundo cultivo neste trabalho mostrou ser eficiente, podendo ser recomendada para outros estudos.

As lâminas de irrigação aplicadas em função dos TEDs não influenciaram significativamente nas características físicas e na produtividade da alface no primeiro e segundo cultivos.

A eficiência no uso da água não foi afetada significativamente pelas lâminas de irrigação aplicadas em função dos TEDs no primeiro e segundo cultivos.

## 6. REFERÊNCIAS

ALFACE. **Agriannual 2006**: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP, 2006. p. 147-148.

AL-JAMAL, K. Greenhouse cooling in hot countries. **Energy**, Oxford, v. 19, n. 11, p. 1187-1192, 1994.

ALVARENGA, M. A. R. **Crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em alface americana (*Lactuca sativa* L.) sob doses de nitrogênio aplicadas no solo e de níveis de cálcio aplicado via foliar**. 1999. 117 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Field evaluation of microirrigation systems**. St. Joseph, 1996. p. 792-797.

ANDRADE JUNIOR, A. S. de.; KLAR, E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa*.) através do Tanque Classe A. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1-2, p. 31-38, 1997.

ANDRADE JUNIOR, A. S.; DUARTE, R. L. R.; RIBEIRO, V. Q. **Níveis de irrigação na cultura da alface**. Teresina: Embrapa, 1992. 16 p. (Boletim de Pesquisa, 13).

ANDRADE JÚNIOR, V. C. et. al. Emprego de tipos de cobertura de canteiro no cultivo da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 4, p. 899-903, 2005.

ANDRIOLO, J. L.; ESPINDOLA, M. C. G.; STEFANELLO, M. O. Crescimento e desenvolvimento de plantas de alface provenientes de mudas com diferentes idades fisiológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 35-40, 2003.

ANDRIOLO, J. L.; DUARTE, T. S.; LUDKE, L.; SKREBSKY, E. C. Caracterização e avaliação de substratos para o cultivo do tomateiro fora do solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 3, p. 215-219, 1999.

AQUINO, L. A.; PUIATTI, M.; ABAURRE, M. E. O.; CECON, P. R.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; CASTRO, M. R. S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 3, p. 381-386, 2007.

ARAÚJO, W. F.; SOUZA, T. S.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; OLIVEIRA, G. A. Rendimento e eficiência do uso da água pela alface em função da lâmina de irrigação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 115-120, 2010.

ARAÚJO, W. F.; DE SOUSA, K. T. S.; VIANA, T. V. A.; DE AZEVEDO, B. M.; BARROS, M. M.; MARCOLINO, E. Resposta da alface a adubação nitrogenada. **Agro@mbiente Online**, Boa Vista, v. 5, n. 1 p. 12-17, 2011.

AZEVEDO, S. M. et al. Avaliações de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) para as condições quente e úmida do Estado de Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 37., 1997, Manaus. **Resumos...** Manaus: Sociedade de Olericultura do Brasil, 1997. r. 20.

BASTOS, E. A. **Determinação dos coeficientes da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)**. Botucatu, 1994. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

BASTOS, E. A.; NOGUEIRA, C. C. P.; VELOSO, M. E. C.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, V. F.; SILVA PAZ, V. P. Métodos e sistemas de irrigação. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. cap. 3, p. 138-156.

BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; MENDEZ, M. E. G.; CAVALCANTE, I. H. L.; CAVALCANTE, L. F. Características produtivas do tomateiro cultivado sob diferentes tipos de adubação em ambiente protegido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 180-184, 2007.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2005. 611 p.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. de A.; MARTINS, M. A.; REZENDE, F. C.; FREITAS, E. A.; GOMES, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 730-735, 2010.

BURIOL, G. A. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 1- avaliação com o uso do Tanque classe A e do evaporímetro de Piche. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-41, 2001.

BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M.; ESTEFANEL, V.; DALMAGO, G. A. Gradiente vertical de temperatura do ar no interior de estufas plásticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, SP, 1997. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 471-472.

CAETANO, L. C. S.; EKLUND, C. R. B.; FERREIRA, J. M.; RIBEIRO, L. J.; SILVA, M. F. V. Avaliação de cultivares de alface em dois cultivos no período de verão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 41., 2001, Brasília, DF. **Resumos...** Brasília, DF: SOB, 2001. 1 CD-ROM.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. (Boletim Técnico, 106).

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Manejo da água do solo na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 45-51, set./dez., 1999.

CARVALHO, J. de A.; SANTANA, M. J. de; PEREIRA, G. M.; PEREIRA, J. R. D.; QUEIROZ, T. M. de. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura de berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, p. 320-327, 2004.

CERMEÑO, Z. S. **Veinte cultivos de hortalizas en invernadero**. RALI, Sevilla, 1996. 638 p.

CHIN, D. A.; ZHAO, S. Evaluation of evaporation-pan networks. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, Jerusalem, v. 121, n. 5, p. 338-346, 1995.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 49, p. 8-13, 2001.

CUNHA, A. R. da; ESCOBEDO, J. F. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, p. 15-27, 2003.

DALMAGO, G. A.; STRECK, N. A.; HELDEWEIN, A. B. Efeito do tipo de plástico sobre a temperatura mínima nas estufas. In: JORNADA INTEGRADA DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO, 1., 1994, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1994. p. 345-775.

DELVIO SANDRI, E.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 17-29, 2007.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMAB, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 27, n. 150, p. 155-162, 1980.

DERMITAS, C.; AYAS, S. Deficit irrigation effects on pepper (*Capsicum annuum* L. Demre) yield in unheated greenhouse condition. **Journal of Food, Agricultural and Environment**, Helsinki, v. 7, p. 989-1003, 2009.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Ed. Universidade Federal de Pernambuco; FAO, 2000. 221 p.

ECHER, M. de M.; SIGRIST, J. M. M.; GUIMARÃES, V. F.; MINAMI, K. Efeito do espaçamento no comportamento de cinco cultivares de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p. 507-508, 2000.

EVANGELISTA, A. W. P.; PEREIRA, G. M. Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da demanda evaporativa do ar (ET) no interior de casa de vegetação em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1348-1353, 2003.

FACCIOLI, G. G. **Determinação da evapotranspiração de referência e da cultura da alface em condições de casa de vegetação em Viçosa, MG**. 1998. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

FACTOR, T. L.; ARAÚJO, J. A. C. de; VILELLA JÚNIOR, V. E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 143-149, 2008.

FAHL, J. I. et al. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: IAC, 1998. p. 173-174. (Boletim IAC, 200).

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

FARIAS, J. R. B. et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 51-62, 1993.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; ARAÚJO, J. A. C. Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, n. 3, v. 60, p. 591-594, 2003.

FERNANDES C.; CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. C. Utilização do Tanque Classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência dentro da casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 46-50, 2004.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2003. 412 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2000. 402 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2008. 421 p.

FIGUEIREDO, E. B.; MALHEIROS, E. B.; BRAZ, L. T. Interação genótipo x ambiente em cultivares de alface na região de Jaboticabal. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 1, p. 66-71, 2004.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. aplicação de Fertilizantes via água de irrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 227-260.

GELMINI, G. A.; TRANI, P. E. **Agrotóxicos para alface**: manual. Campinas: CATI, 1996. 22 p.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 2. ed. Campina Grande: Ed. Universidade Federal da Paraíba, 1997. 389 p.

GOMES, T. M. et al. Aplicação de CO<sub>2</sub> via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 2, p. 316-319, 2005.

GOTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 241-268.

GRANGEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO, A. M.; NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S. L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p. 190-194, 2006.



HAMADA, E. **Desenvolvimento e produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.), submetida à diferentes lâminas de irrigação, através da irrigação por gotejamento.** 1993. 102 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

KOETZ, M.; COELHO, G.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, R. J.; SILVA, R. A. Produção do meloeiro em ambiente protegido irrigado com diferentes lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 500-506, 2006.

LÉDO, F. J. S.; SOUSA, J. A.; SILVA, M. R. Desempenho de cultivares de alface no Estado do Acre. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 3, p. 225-228, 2000.

LIMA, A. A. de et al. Competição das cultivares de alface Vera e Verônica em dois espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 314-316, 2004.

LIMA JUNIOR, J. A. et al. Efeito da irrigação sobre o rendimento produtivo da alface americana, em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 797-803, 2010.

LOPES FILHO, R. P. **Utilização de diferentes tanques evaporimétricos em ambiente protegido.** 2000. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

LOPEZ, C. C. **Fertirrigacion:** cultivos hortícolas y ornamentales. 2. ed. Madrid: Mundi Prensa, 2000. 475 p.

MAGGI, M. F. et al. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3 p. 415-427, 2006.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação:** princípios e métodos. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa, 2007. 358 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças:** qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 150 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C.; SILVA, H. R. da. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1996. 72 p.

MAROUELLI, W. A.; SOUZA, V. F. Irrigação e fertirrigação. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 23-26.

MEDEIROS, J. F. et al. Comparação entre a evaporação em Tanque classe A padrão e em mini-tanque, instalados em estufa e estação meteorológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: SBA, 1997. p. 228-230.

MORAES, M. H. **Manejo do solo com fertirrigação**: efeitos nas propriedades de um Latossolo Vermelho Eutroférico. 2001. 113 f. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

NAGAI, H. Obtenção de novos cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) resistentes ao mosaico e ao calor. II – Brasil 303 e 311. **Revista de Olericultura**, São Paulo, v. 18, p. 14-21, 1980.

OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 211-217, 2004.

PANELO, M. S. Adaptabilidade de cultivares pimiento a condiciones de cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, n. 1, p. 101, 1995.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectiva para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação**: citrus flores e hortaliças. Guaíba: Ed. Agropecuária, 1999. cap. 1, p. 11-84.

PELÚZIO, J. B. E. **Crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.) em casa-de-vegetação com seis níveis de água e cobertura do solo com seis filmes coloridos de polietileno**. 1992. 102 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002. 478 p.

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

PEREIRA, O. C. N. et al. Evapotranspiração da alface em função de água e nitrogênio. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 387-391, 2003.

PRIETO, D.; RIVERA, R. C.; SILVA, H. R.; MAROUELLI, W. A.; CHRISTOFIDIS, D.; ULLOA, A. O.; SCHOUWEN, G. S. V.; ESPADA, R. F.; BLANCO, M. O.; JARA, R. G.; GARCÍA, C.; ROEL, A. **El riego em los países del Cono Sur**. Montevideu: IICA: Procisur, 2010. 112 p.

PUQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. **Manejo do ambiente protegido**. 2006. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/62110672/Manejo-Do-Ambiente-Em-Cultivo-Protegido>>. Acesso em: 12 out. 2011.

RADIN, B. et al. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 178-181, 2004.

RAIJ, B. Van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

RIBEIRO JUNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008. 288 p.

RUSSO, D. Lettuce yield-irrigation water quality and quantity relationships in a gypsiferous desert soil. **Agronomy Journal**, Courtaboeuf, v. 79, n. 1, p. 8-14, 1987.

RYDER, E. J. Lettuce breeding. **Breeding Vegetables Crops**, Westport, v. 6, p. 433- 474, 1986.

SAAD, J. C. C. Fundamentos e critérios para o manejo da irrigação. In: SALOMÃO, L. C.; SANCHES, L. V. C.; SAAD, J. C. C.; BÔAS, R. L. V. **Manejo de irrigação: um guia prático para o uso racional da água**. Botucatu: FEPAF, 2009. cap. 1, p. 1-13.

SAKATA AGROFLORA. **Show room**: catálogo. Bragança Paulista, 1997. 3 p.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. 'PIRAROXA': cultivar de alface crespa de cor vermelha intensa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 158-159, 2005.

SALOMÃO, L. C. **Determinação do tempo de vácuo, momento de coleta e posicionamento de extratores de cápsulas porosas em solo arenoso**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

SALOMÃO, L. C. Uniformidade do sistema de irrigação. In: SOUZA, T. R.; VILLAS BOAS, R. L.; SAAD, J. C. C. **Aspectos práticos da fertirrigação**. Botucatu: FEPAF, 2008. cap. 3, p.13-17.

SANTANA, J. C. **Ambiência no crescimento e produção de alface, em ambiente protegido, com e sem tela termorrefletora**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2009.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, 2004.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SAMMIS, T. W. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface, and furrow irrigation methods for row crops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n.5, p.701-704, 1980.

SETUBAL, W. J.; SILVA, A. R. **Avaliação do comportamento de alface de verão em condições de calor no município de Teresina-PI**. Teresina: Ed. Universidade Federal do Piauí, 1992. 17 p.

SGANZERLA, E. **Nova Agricultura**: a fascinante arte de cultivar com os plásticos. 5. ed. Guaíba: Ed. Agropecuária, 1995. 342 p.

SONI, P.; SALOKHE, V. M.; TANTAU, H. J. Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses. **Biosystems Engineering**, Elsevier, 92, n. 4, p. 469-482, 2005.

SOUSA, V. F.; SOUSA, A. P. Fertirrigação II: tipos de produtos, aplicação e manejo. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 47, p. 15-20, 1992.

SOUSA, V. F.; SOUSA, A. P. Fertirrigação: princípio e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1993. p. 2519-2528.

SOUZA, K. T. S. **Efeitos de lâminas de irrigação e da fertirrigação nitrogenada no cultivo da alface em ambiente protegido em Roraima**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

SOUZA, S. A. M.; CATTELAN, L. V.; VARGAS, D. P.; PIANA, C. F. B.; BOBROWSKI, V. L.; ROCHA, B. H. G. Efeito de extratos aquosos de plantas medicinais nativas do Rio Grande do Sul sobre a germinação de sementes de alface. **Ciência Biologia Saúde**, Ponta Grossa, v. 11, p. 29-38, 2005.

SOUZA, A. P. et al. Utilização da evapotranspiração para o manejo da irrigação. In: SALOMÃO, L. C.; SANCHES, L. V. C.; SAAD, J. C. C.; VILLAS BÔAS, R. L. **Manejo de Irrigação: um guia prático para o uso racional da água**. Botucatu: FEPAF, 2009. cap. 4, p. 46-63.

STRECK, L.; SCHNEIDER, M. F.; TAZZO, I. F.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; CARLET, F. Tecnologia para diminuir as temperaturas elevadas no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 207-214, 2002.

TARSITANO, M. A. A.; PETINARI, R. A.; DOURADO, M. C. Viabilidade econômica do cultivo de alface em estufa no município de Jales-SP. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 8, n. 1, p. 99-108, 1999.

TIVELLI, S. W. A cultura do pimentão. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Ed.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Ed. UNESP, 1998. 319 p.

TRANI, P. E.; CARRIJO, O. A. **Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido**. 2007. Disponível em: <[www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/cp/index.html](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/cp/index.html)>. Acesso em: 11 jun. 2011.

TRANI, P. E.; CARRIJO, O. A. **Fertirrigação em hortaliças**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2004. 53 p. (Boletim Técnico IAC, 196).

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. S. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1988. 374 p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A. closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VAREJÃO, S. M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife, 2006. Disponível em: <[http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2012.

VÁSQUEZ, M. A. N. et al. Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 137-143, 2005.

VIEIRA, D. B. Fertirrigação e manejo de irrigação em citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 9, p. 370-372, 1998.

VIEIRA, T. A. et al. **Métodos de manejo da irrigação no cultivo da alface americana**. Uberaba, 2009. Disponível em: <[http://www.cfetuberaba.edu.br/paginas\\_html/revista/pdf/Resumo\\_20.pdf](http://www.cfetuberaba.edu.br/paginas_html/revista/pdf/Resumo_20.pdf)>. Acesso em: 08 fev. 2009.

VILAS BOAS, R. C. **Cultivo de alface crespa em ambiente protegido sob diferentes lâminas de irrigação**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

VILAS BOAS, R. C.; CARVALHO, J. de A.; GOMES, L. A. A.; SOUSA, A. M. G. de; RODRIGUES, R. C.; SOUZA, K. D. de. Avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32. n. 2, p. 525-531, 2008.

VILAS BOAS, R. C. et al. Efeito da irrigação no desenvolvimento da alface crespa, em ambiente protegido, em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 393-397, 2007.

VILELLA, W. M. da C. **Diferentes lâminas de irrigação e parcelamentos de adubação no crescimento, produtividade e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLLEGATTI, M. V. (Ed.). **Fertirrigação: citros, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-319.

VILLAS BÔAS, R. L.; ZANINI, J. R.; DUENDAS, L. H. Uso e manejo de fertilizantes em fertirrigação. In: ZANINI, J. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; FEITOSA FILHO, J. C. **Uso e manejo da fertirrigação em hidroponia**. Jaboticabal: FUNESP, 2002. p. 1-25.

WAYCOTT, W. Photoperiodic response of genetically diverse lettuce accessions. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount, v. 120, n. 3, p. 460-467, 1995.

ZENG, C.; BIE, Z.; YUAN, B. Determination of optimum irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 96, p. 595-602, 2009.