

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
PRODUÇÃO DE ALFACE AMERICANA
IRRIGADA POR GOTEJAMENTO**

JOAQUIM ALVES DE LIMA JUNIOR

2008

JOAQUIM ALVES DE LIMA JUNIOR

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ALFACE
AMERICANA IRRIGADA POR GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Geraldo Magela Pereira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Lima Junior, Joaquim Alves de.

Análise técnica e econômica da produção de alface americana irrigada
por gotejamento / Joaquim Alves de Lima Junior. – Lavras : UFLA, 2008.
74 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Geraldo Magela Pereira.

Bibliografia.

1. Manejo da irrigação. 2. Ambiente protegido. 3. Análise econômica.
4. Déficit hídrico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.5287

JOAQUIM ALVES DE LIMA JUNIOR

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ALFACE
AMERICANA IRRIGADA POR GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 01 de agosto de 2008

Prof. Dr. Jony Eishi Yuri

UNINCOR

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

UFG

Prof. Dr. Geraldo Magela Pereira
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A virtude do sucesso
floresce da sua força de determinação.

Lima Junior.

Aos meus pais, Joaquim Alves e Maria José, pelo amor, carinho e dedicação na minha formação pessoal e profissional.

Aos meus irmãos, Antônio Alves “Loris” e Ana Cláudia “Blau”, pela oportunidade que Deus me deu de tê-los como Irmãos.

À minha sobrinha Catarina e ao meu futuro sobrinho-afilhado, pois a alegria transmitida por uma criança é sincera e sem maldade diante do mundo atual.

Aos meus avós vivos e aos que se foram, saudades.

A todos os meus tios e tias, em especial Socorro Alves, Maria das Dores e Ana Alves, pela colaboração e assistência durante a minha vida acadêmica.

Ao meu falecido tio Antônio Alves de Lima Filho, pelos votos de confiança e respeito.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de auxílio e ao CNPq, pelas concessões de bolsas de produtividade e iniciação científica.

Ao professor e orientador Geraldo Magela Pereira, pelo ensino, apoio e dedicação prestados neste trabalho.

Aos professores co-orientadores Rovilson José de Souza e Luíz Fernando Coutinho de Oliveira, pelo auxílio na condução do experimento e observações que propiciaram a melhoria desta dissertação.

Ao profissional e Professor Jony Eishi Yuri (UNINCOR), pela colaboração na doação das mudas de alface americana e sugestões apresentadas neste trabalho.

Aos demais professores do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, Neném, José Luís, Gilson, Daniela, Juliana e Sandra, e do Setor de Olericultura, Sr. Pedro, Sr. Milton e Leandro, pela grande ajuda e serviços prestados no decorrer do experimento.

Ao bolsista de Iniciação Científica (IC) Gustavo Guerra e ao meu amigo Edílson, pela amizade e ajuda na condução do experimento.

Aos meus amigos de curso Luciano “alface”, Lessandro “Gaúcho”, Henrique “sequinho”, Carolina, Marcelo “Viola”, Flávio “Coro” e Rodrigo “cabelo” pela amizade, convívio e companheirismo, e aos demais colegas do curso de Engenharia Agrícola, pela convivência e companheirismo.

Aos meus amigos de república Edilson Santos e Íedo Santos, e ao meu amigo André Luiz “sarara” pela amizade e força nos momentos difíceis.
A todos que contribuíram para o êxito deste trabalho científico.

BIOGRAFIA

JOAQUIM ALVES DE LIMA JUNIOR, filho de Joaquim Alves de Lima e Maria José Borcém de Lima, nasceu em Belém – Pará, no dia 01 de junho de 1983.

Em 1998, concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual “Cônego Calado”, em Igarapé-Açu-PA. O ensino médio foi concluído em 2001, no Centro Educacional Acesso, em Belém.

Cursou Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, de fevereiro de 2002 a novembro de 2006. Foi bolsista de iniciação científica dos seguintes programas: PIBIC-UFRA, PIBIC-CNPq e FUNTEC-PA, de 2003 a 2006, desenvolvendo trabalhos relacionados a melhoramentos de plantas, fertilidade do solo, produção vegetal e em manejo de irrigação. Exerceu o cargo de monitor da disciplina Economia Rural, na UFRA, no período de maio a novembro de 2006.

Cursou engenharia de agrimensura em nível técnico no Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará - CEFET, de fevereiro de 2005 a outubro de 2006.

Ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em engenharia de água e solo, em fevereiro de 2007.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 A cultura da alface	4
2.2 O cultivo em ambiente protegido.....	7
2.3 Exigências climáticas.....	9
2.4 Manejo da irrigação	11
2.5 Instrumentos utilizados no manejo da irrigação	14
2.6 Função de produção	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Caracterização da área experimental	19
3.1.1 Clima.....	20
3.1.2 Solo	21
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	25
3.3 Sistema e manejo da irrigação	27
3.4 Condução do experimento	30
3.5 Características vegetativas e produtivas	32
3.5.1 Altura de plantas	32
3.5.2 Massa fresca total.....	32
3.5.3 Massa fresca da cabeça comercial	32
3.5.4 Circunferência da cabeça comercial	33
3.5.5 Número de folhas internas	33
3.5.6 Massa fresca dos talos.....	33
3.5.7 Massa fresca do sistema radicular.....	33
3.5.8 Produtividade total e comercial	33
3.5.9 Eficiência no uso da água (EUA).....	34
3.6 Análise estatística	34
3.7 Função de produção e análise econômica	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Resultados gerais do experimento	40
4.1.1 Parâmetros climáticos na casa de vegetação.....	40
4.1.2 Avaliação do sistema de irrigação	42

4.1.3 Lâminas de irrigação e tensão de água no solo	43
4.2 Avaliação da massa fresca total e comercial.....	47
4.3 Avaliação da altura de plantas e número de folhas internas	50
4.4 Circunferência da cabeça comercial, massa fresca do talo e massa do sistemaradicular da planta.....	54
4.5 Produtividade total e comercial	58
4.6 Eficiência no uso da água	60
4.7 Lâmina ótima de irrigação	63
5 CONCLUSÕES	67
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

RESUMO

LIMA JÚNIOR, Joaquim Alves de. **Análise técnica e econômica da produção de alface americana irrigada por gotejamento**. 2008. 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

A alface é uma das hortaliças folhosas mais consumidas pela população brasileira, destacando-se os estados de São Paulo e Minas Gerais como os principais produtores e consumidores. Visando reduzir as dificuldades do produtor no cultivo da alface americana, especificamente quanto à falta de informações técnicas sobre o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada, aliada a uma análise econômica do processo, objetivou-se estudar o efeito de diferentes lâminas de água sobre os rendimentos produtivos e econômicos da alface americana. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Lavras, no período de março a maio de 2008 em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco fatores de evaporação, sendo W_1 , W_2 , W_3 , W_4 e W_5 , correspondentes a 0,30 EVm; 0,60 EVm; 0,90 EVm; 1,20 EVm e 1,50 EVm, respectivamente, baseado na lâmina evaporada de um minitanque instalado dentro da casa de vegetação. A alface americana, cultivar Raider-plus, foi transplantada no espaçamento de 0,30 x 0,30 m, irrigada por gotejamento, com gotejadores autocompensantes de 1,76 L h⁻¹ de vazão, espaçados de 0,3 m. Os resultados permitiram concluir que a maior eficiência no uso da água (563,07 kg.ha⁻¹.mm⁻¹) ocorreu com a aplicação da lâmina de irrigação de 74,53 mm, correspondente ao fator de reposição de água de 30%; a máxima produtividade comercial, 35.308 kg.ha⁻¹, foi estimada com a aplicação da lâmina de 204,3 mm, correspondente ao fator de reposição de 101%; considerando o preço do fator água (R\$ 0,67 mm⁻¹) e o preço da alface americana (R\$ 0,90 kg⁻¹), a lâmina economicamente ótima foi 203,9 mm, resultando em uma produtividade comercial praticamente igual à máxima física.

¹Comitê-orientador: Geraldo Magela Pereira – UFLA (Orientador), Luiz Fernando Coutinho de Oliveira – UFG e Rovilson José de Souza – UFLA.

ABSTRACT

LIMA JUNIOR, Joaquim Alves de. **Technical and economical analysis for the crisphead lettuce production under dripping**. 2008. 74p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering/Water Engineering and Soil) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brazil.¹

Lettuce is one of the vegetables mostly consumed by the Brazilian population, being the states of São Paulo and Minas Gerais the main producers and consumers. With the aim of reducing the difficulties faced by the producers on cultivating the crisphead lettuce, specifically those related to the lack of technical information about the right time to irrigate and the quantity of water to be applied, allied to the process's economical analysis, a study was carried out in order to determine the effect of various depths on the yielding and economical efficiencies of the crisphead lettuce. The experiment was conducted at the Universidade Federal de Lavras, from March to May 2008 in greenhouse. The experiment was done according to a randomized block design, with five treatments and four repetitions. The treatments, which constituted of five evaporation factors, namely W_1 , W_2 , W_3 , W_4 and W_5 , having the respective values of 0.30 EVm; 0.60EVm; 0.90EVm; 1.20EVm; 1.50EVm, were done based upon an evaporated depths of a reduced pan installed inside a greenhouse. Raider-plus crisphead lettuce, was transplanted on 0.3 X 0.3 m spacing, and irrigated through dripping with self-compensating drippers having a 1.76 L h⁻¹ discharge, and spaced by 0.3 m from each other. The results showed that, the highest water application effectiveness (563.07 kg.ha⁻¹.mm⁻¹) was achieved by applying a 74.53 mm irrigation depth, which corresponded to a 30% water reposition; the maximum commercial productivity, 35.308 kg.ha⁻¹, was estimated by applying a 204.3 mm depths, which corresponded to water reposition factor of 101%; when considering the water factor price (R\$ 0.67 mm⁻¹) as well as the crisphead lettuce price (R\$ 0.90 kg⁻¹), the optimal economical depths was that of 203.9 mm, that resulted on a commercial productivity practically equal to the physical maximum.

¹Guidance Committee: Geraldo Magela Pereira – UFLA (Adviser), Luiz Fernando Coutinho de Oliveira – UFG e Rovilson José de Souza – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais importante na dieta da população brasileira, sendo consumida na forma de salada. No início da década de 1980, foi introduzido no Brasil um novo grupo de alface repolhuda crespa conhecida como alface americana. A sua grande aceitação pelas redes de “fast food” se deve principalmente pela capacidade de manter suas características físicas quando em contato com altas temperaturas, por exemplo, no interior dos sanduíches, e também por conservar-se por um período de tempo maior após a colheita, isto é, apresentar maior capacidade de armazenamento (Yuri et al., 2002).

Incentivadas principalmente pelas redes de “fast food”, algumas regiões têm recebido destaque na produção desta cultura. O Sul de Minas, por apresentar um clima favorável ao seu cultivo durante o ano todo (é recomendada altitude entre 800 e 1100 metros) e estar geograficamente localizado próximo a três grandes centros consumidores (Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro), tem utilizado técnicas que possibilitam obter maior produtividade e qualidade dos produtos. Na região ao redor de Lavras-MG são produzidas mensalmente, aproximadamente, 1000 toneladas de alface americana, com mercado garantido pela empresa Refricon, intermediária da *McDonald's* (Yuri et al., 2002).

Em geral, as hortaliças têm seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência de água é, normalmente, um dos fatores mais limitantes à obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial. A reposição de água ao solo por irrigação, na quantidade e no momento oportuno, é decisiva para o sucesso da horticultura (Marouelli et al., 1996).

O método de irrigação que atende às condições de ambiente protegido, que possibilita o umedecimento adequado do solo sem ocasionar efeitos deletérios à cultura é o localizado, sendo o gotejamento o sistema mais empregado.

Dentre as dificuldades que os produtores irrigantes da região de Lavras têm encontrado destacam-se a falta de informações específicas sobre o momento adequado de iniciar a irrigação e a quantidade de água a ser aplicada na cultura da alface americana. Assim sendo, na maioria das vezes, a irrigação é baseada somente na ação prática do irrigante, o que poderá resultar num aumento dos custos de produção, queda na produtividade, maior incidência de doenças e uso inadequado dos recursos hídricos.

Segundo Volpe & Churata-Masca (1988), existem vários métodos para efetuar-se o manejo da água de irrigação e, dentre eles, destaca-se o do tanque Classe A, devido à sua facilidade de operação, ao custo relativamente baixo e, principalmente, à possibilidade de instalação próxima à cultura a ser irrigada. No entanto, visando diminuir o custo do tanque Classe A e devido ao espaço reduzido no interior das casas de vegetação, tem-se adotado tanques de evaporação com dimensões reduzidas (minitanque), como alternativa para a estimativa da evapotranspiração.

Desse modo, são necessários estudos que avaliem o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada, aliada a uma análise econômica do processo, sendo indispensável para isso o conhecimento de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima e também ao custo de produção.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

- ✓ Avaliar os efeitos de diferentes lâminas de água sobre o comportamento produtivo da alface americana irrigada por gotejamento.

- ✓ Determinar a função de produção da alface americana , tendo como variável dependente a produtividade comercial e variável independente a lâmina de água, visando a análise econômica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da alface

A alface é uma hortaliça pertencente à família *Asteraceae*, sendo uma planta herbácea, delicada, com caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas. Estas folhas são grandes, lisas ou crespas, agrupando-se ou não em forma de uma “cabeça” (Filgueira, 2000).

A alface americana possui coloração das folhas externas verde-escura e a parte interna apresenta coloração creme-amarelada e aspecto crocante que se mantém, mesmo em contato com alimentos quentes e, por isso, sendo muito utilizada em sanduíches pelas redes de lanchonetes (Bueno, 1998).

O sistema radicular da alface é do tipo pivotante, podendo atingir até 60 cm de profundidade, sendo que as ramificações exploram efetivamente de 15 a 30 cm de solo, faixa considerada de grande importância quando se faz uso de técnicas de irrigação e fertirrigação. Portanto, é aconselhável avaliar o sistema radicular nos diferentes estágios de desenvolvimento da planta no próprio local de cultivo, para um melhor conhecimento da profundidade efetiva. Dessa forma, quando as características do solo e do sistema radicular são levadas em conta, o manejo da irrigação pode ser ajustado às condições momentâneas da cultura (Santos, 2002).

A alface é uma planta típica de inverno, capaz inclusive de resistir a geadas leves. Seu ciclo é anual, encerrando a fase vegetativa quando a planta atinge o maior desenvolvimento das folhas. Essa, por ser uma hortaliça de ciclo curto e crescimento rápido, é muito exigente quanto às condições climáticas, à disponibilidade de água e de nutrientes para que ocorra um acelerado incremento à massa fresca.

A cultura da alface é utilizada na alimentação humana desde 500 anos a.C.; hortaliça originária do Leste do Mediterrâneo foi muito popular na Roma antiga e introduzida na Europa pelos romanos (Davis et al., 1997, citados por Silva, 2005). Difundiu-se rapidamente para a França, Inglaterra e, posteriormente, para toda a Europa, mostrando-se tratar-se de uma cultura muito popular e de uso extensivo. No continente americano foi trazida pelos colonizadores por volta do século XV e desde 1647 é cultivada no Brasil (Ryder & Whitaker, 1976, citados por Silva, 2005).

Em relação ao mercado brasileiro, a alface é a principal folhosa tanto em termos de produção quanto de consumo. É consumida *in natura* e, nestas condições, apresenta a seguinte composição média por 100 gramas de matéria fresca: água – 94%; energia – 18 kcal; proteína – 1,3 g; carboidratos totais – 3,5 g; fibra – 0,7 g; cálcio – 68 mg; fósforo – 25 mg; ferro – 1,4 mg; potássio – 264 mg; vitamina A – 1.900 UI; tiamina – 0,05 mg; riboflavina – 0,08 mg; niacina – 0,4 mg; vitamina C – 18 mg; portanto, é ótima fonte de vitaminas e sais minerais, destacando-se o seu alto teor em vitamina A (Shizuto, 1983, citado por Yuri, 2000; Sgarbieri, 1987; Katayama, 1993).

Segundo Maluf (2001), a alface é classificada em cinco grupos distintos, de acordo com o aspecto das folhas e o fato de as mesmas reunirem-se ou não para a formação de uma cabeça repolhuda, conforme segue:

- tipo romana: apresentam folhas alongadas, duras, com nervuras claras e protuberantes, não formando cabeças imbricadas, mas fofas. Têm pouca aceitação pelos consumidores brasileiros. Ex.: Romana Branca de Paris, Romana Balão e Gallega de Inverno;
- alface de folhas lisas: as folhas são lisas, mais ou menos delicadas, não formando uma cabeça repolhuda, mas uma roseta de folhas. Ex.: Babá de Verão, Monalisa AG-819, Regina 71;

- alface de folhas e crespas: as folhas são crespas, soltas, consistentes, não formando uma cabeça repolhuda, mas uma roseta de folhas. Ex: *Grand Rapids*, *Slow Bolting*, Verônica, Vera, Vanessa, Brisa e Marisa AG-216;
- repolhuda lisa ou repolhuda manteiga: apresenta cabeças com folhas tenras, lisas, de cor verde clara e com aspecto oleoso. Ex.: *White Boston*, Brasil 48, Brasil 303, Carolina AG-576, Elisa, Aurélia, Floresta, Glória e Vivi;
- repolhuda crespa ou alface americana (*Crisphead lettuce*): apresenta cabeça crespa, folhas com nervuras salientes e imbricadas, semelhantes ao repolho. Ex.: *Great Lakes*, Mesa 659, Salinas, Tainá, Iara, Madona AG-605, *Lucy Brown*, Lorca, *Legacy* e *Raider*. Esta última cultivar foi selecionada pela Asgrow e apresenta um ciclo de 75 dias a partir da sementeira sendo 48 a 58 dias a partir do transplantio. O tamanho da planta é de médio a grande, com peso médio variando entre 700 a 1200g. As folhas são duras e de coloração verde clara. Possuem cabeça de tamanho médio a grande, com ótima compacidade, peso e uma boa tolerância ao pendoamento (Alvarenga, 1999; Yuri, 2000).

Segundo Silva (2005), no ano de 2002, a produção mundial foi de aproximadamente 17,28 milhões de toneladas de alface, em uma área de 791.144 ha. Em 2007, o volume de alface comercializado no Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP) - SP foi de 28.389 toneladas, com média mensal de 2.366 toneladas (Agrianual, 2008). Ainda, segundo a mesma fonte no ano de 2005, para o quinquênio 2000 – 2004, a participação percentual em função de engradados comercializados de alface americana foi de 19%, obtendo o segundo lugar no grupo das folhosas, ficando à frente do grupo lisa (18%) e romana (2%), perdendo apenas para o grupo crespa, líder no mercado que obteve uma participação de 61 % do total comercializado no CEAGESP-SP (Agrianual, 2005).

2.2 O cultivo em ambiente protegido

As culturas protegidas tornaram-se um sistema de produção muito difundido na agricultura devido à necessidade de fornecer produtos *in natura* e de boa qualidade ao longo do ano.

O cultivo de hortaliças em condições protegidas utilizando o próprio solo como substrato é a forma mais difundida no mundo, principalmente em países em desenvolvimento (Silva & Marouelli, 1998). Entre as hortaliças mais cultivadas nesse ambiente no Brasil destacam-se o pimentão, a alface, o tomate e o pepino (Vecchia & Koch, 1999).

A alface é uma hortaliça extremamente sensível a variações climáticas. Isso acarreta comprometimento na parte comercial da planta, devido à forças sazonais importantes, tais como temperaturas acima de 20 °C e fotoperíodo longo. As conseqüências dessas forças podem ser observadas em plantas com o ciclo reprodutivo precocemente acelerado (pendoamento e florescimento precoces) (Nagai & Lisbão, 1980), características extremamente indesejáveis, já que inutilizam a planta para o consumo.

Sob esse aspecto, o cultivo protegido vem apresentando crescente adoção pelos produtores de alface, em razão da possibilidade do controle parcial dos fatores ambientais adversos (Souza et al., 1994), da facilidade do manejo da cultura, da redução de riscos, da previsibilidade e da constância da produção.

No cultivo protegido as principais finalidades, quando sob estrutura de proteção, são anular os efeitos negativos das baixas temperaturas, da geada, do vento, do granizo, do excesso de chuva bem como encurtar o ciclo de produção, aumentar a produtividade e obter produtos de melhor qualidade (Sganzerla, 1995).

Neste sentido, Segovia et al. (1997) compararam as cultivares de alface Brasil 202, *White Boston* e Regina, no inverno, em Santa Maria (RS), dentro e fora de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno. Observaram maiores valores de área foliar, número de folhas por planta, massa fresca da parte aérea, matéria seca de folhas, do sistema radicular, do caule e total nas plantas cultivadas no interior da casa de vegetação. A relação parte aérea e sistema radicular também foi maior no interior. As plantas apresentaram maior taxa de crescimento no interior. Com base no exposto, eles afirmaram que é possível obter uma produção mais precoce e de melhor qualidade em ambiente protegido do que aquela obtida com o cultivo tradicional.

O uso dessa tecnologia, no entanto, apresenta algumas limitações. Uma delas é a exigência em irrigação, já que esta é a única forma de repor a água consumida pela cultura, isto é, entrada de água, deve ser pela irrigação.

O cultivo da alface sob estufa agrícola, além de permitir a utilização intensiva da terra e do capital, permite sua produção de maneira controlada, dependendo menos das condições climáticas e com melhor aproveitamento dos insumos. Possibilita também a distribuição da produção ao longo do ano, regularizando a oferta e proporcionando ao produtor a possibilidade de evitar épocas de menor preço (Rodrigues et al., 1997).

Zambolim et al. (1999) afirmam que a temperatura do ar e do solo e a umidade do ar são maiores em ambiente protegido. Scatolini (1996) relata um maior efeito da cobertura plástica sobre as temperaturas máximas com valores variando de 1,2 °C a 4,4 °C acima das observadas externamente. Esse pesquisador obteve uma diferença média de 4,3 °C entre a temperatura máxima interna e a externa, sendo maior no interior da casa de vegetação. O autor cita alguns trabalhos em que a temperatura média do ar é maior no interior da casa de vegetação e outros em que não houve diferenças significativas. Isso pode acontecer em função dos locais onde foram desenvolvidos os trabalhos e do

aspecto construtivo da casa de vegetação. Se houver possibilidade de manejar cortinas laterais ou se as laterais tiverem apenas tela antiafídica, provavelmente, as temperaturas tanto dentro quanto fora da casa de vegetação serão semelhantes.

Evangelista (1999) obteve ligeira diferença entre as temperaturas e umidade relativa do ar no interior e na parte externa de uma casa de vegetação em Lavras-MG. Tanto a temperatura máxima do ar quanto a média e a mínima foram maiores no interior da casa de vegetação. Porém, os valores de umidade relativa média e mínima foram inferiores no interior. Ele justificou essas diferenças como sendo devido à interrupção do processo convectivo pela cobertura plástica, o que impedia as trocas de ar com a parte externa da casa de vegetação. As laterais eram revestidas com tela plástica (clarite) fixa.

Gonçalves (2002), analisando o comportamento da alface em ambiente protegido, relatou que a absorção de água pelas plantas depende fundamentalmente da quantidade de água disponível no solo e da demanda atmosférica. A demanda atmosférica é condicionada principalmente pela radiação solar, velocidade do vento, temperatura e déficit de saturação do ar. Todos esses elementos sofrem alterações sob ambiente de proteção, resultando em diferença de consumo de água em relação ao ambiente externo.

2.3 Exigências climáticas

A alface adapta-se em diversas partes do mundo sendo apreciada por milhares de pessoas. Suas exigências maiores quanto ao clima são principalmente para temperatura e luminosidade. Resiste a baixas temperaturas e geadas leves. Normalmente, as temperaturas ótimas de crescimento encontram-se entre 15 e 20 °C, e temperaturas noturnas inferiores a 20°C favorecem a formação de cabeça. A fase reprodutiva é favorecida por dias longos e

temperaturas acima de 20°C, sendo acelerada à medida que a temperatura aumenta (Yuri, 2000).

Segundo Cermeño (1990) e Sganzerla (1995), analisando o comportamento da alface em relação à sua amplitude térmica, verificaram que a temperatura máxima não deve ultrapassar 30°C e a temperatura mínima 6°C, associadas a outras condições, como a umidade relativa do ar, a variedade e a forma de irrigação adotada.

O volume de produção da alface varia em função da época de cultivo ao longo do ano. Yuri (2000) trabalhou com cultivares de alface em Santo Antônio do Amparo, MG, em duas épocas do ano, referentes aos meses de setembro a dezembro (época 2) e fevereiro a maio (época 1). Obteve, para a cultivar *Raider*, peso médio da cabeça comercial significativamente maior (996,27 g) para o cultivo na época 1 em relação ao da época 2 (415,00g). Durante a condução do experimento foram registradas as temperaturas médias máximas e mínimas nas épocas de cultivo, respectivamente, 28,3°C e 15,4°C para a época 2 e 28,5°C e 13,9°C para a época 1. Além da temperatura, o fotoperíodo também afeta a planta, pois a alface exige dias curtos durante a fase vegetativa e dias longos para que ocorra o pendoamento. Segundo Conti (1994) o comprimento do dia não é problema para o cultivo de verão no Brasil, pois as cultivares européias importadas já estão adaptadas a dias mais longos do que os que ocorrem no país. A expansão da cultura está se transferindo para as áreas de latitudes menores, conseqüentemente, o fotoperíodo não é obstáculo. Entretanto, em condições de menores latitudes, verifica-se o aumento da temperatura. Nestas situações há a necessidade de se escolher áreas de elevadas altitudes. Portanto, a altitude do local é outro fator que deve ser levado em consideração, pois influencia diretamente na temperatura, sendo que regiões de menor altitude não são adequadas ao plantio de verão.

Cermeño (1990) afirma que a umidade relativa do ar necessária ao bom desenvolvimento vegetativo da alface deve ficar na faixa de 60% a 80%. No entanto, de acordo com seu estágio fisiológico, apresenta melhor desempenho com valores inferiores a 60%. Umidade relativa muito elevada favorece a incidência de doenças, fato que condiciona um dos fatores limitantes para cultura produzida em casa de vegetação.

2.4 Manejo da irrigação

A água é uns dos fatores determinantes para a produção de alimentos e, por isso, a sua falta ou excesso influencia diretamente a produtividade de uma cultura, tornando indispensável o seu manejo racional para se conseguir a maximização da produção (Reichardt, 1978).

Jensen (1983), citado por Monteiro (2004) conceitua o manejo da irrigação como sendo a forma de planejamento e tomada de decisão que o produtor deve adotar para se obter o máximo de rendimento da cultura. Para que uma atividade agrícola irrigada funcione de modo racional, dois aspectos devem ser levados em consideração: o retorno econômico da cultura irrigada e os custos de instalação, manutenção e operação do sistema, sendo a irrigação localizada a apropriada para condições de agricultura intensiva e de alto retorno econômico (Benami & Ofen, 1993, citados por Monteiro, 2004).

A alface é uma das hortaliças mais exigentes em água durante o seu período de desenvolvimento, o que influencia de forma decisiva a produtividade e a qualidade comercial da cabeça.

Na cultura da alface as irrigações devem ser freqüentes e abundantes, devido à ampla área foliar e a evapotranspiração intensiva, bem como ao sistema radicular delicado e superficial e à elevada capacidade de produção. Quando irrigadas adequadamente, as folhas são tenras e as cabeças grandes. Experimentos realizados com irrigação demonstram que, o peso da planta e a

produtividade aumentam linearmente com a quantidade de água aplicada, até se atingir o máximo de produção, a partir do qual há uma queda em função do excesso de umidade no solo (Filgueira, 2000).

Para a alface americana o sistema de irrigação mais utilizado é o gotejamento (Maluf, 1996). Diversos trabalhos procuram estabelecer para a cultura da alface uma lâmina de água condizente às condições edafoclimáticas de uma determinada região, ou mais especificamente de um local, baseando-se na porcentagem de evaporação do tanque Classe A (Gomes, 2001).

Gomes (2001) submeteu a cultura de alface americana *cv. Brown* a quatro diferentes lâminas evaporadas do Tanque Classe A (25, 50, 75 e 100%), por gotejamento, e verificou que as lâminas baseadas em 25 e 50% submeteram a cultura às condições de déficits hídricos, obtendo menores valores para os parâmetros de produtividade e de parte aérea. Os melhores resultados se deram quando se utilizou a reposição de lâmina igual a 100%.

Andrade Júnior (1994), avaliando o efeito de quatro lâminas de irrigação na alface (25; 50; 75 e 100 % da evaporação do tanque Classe A) sobre o comportamento fisiológico e produtivo de uma cultivar do tipo americana (Mesa 659), em cultivo protegido, obteve melhores resultados de número de folhas, área foliar e matéria seca durante o crescimento para os níveis de irrigação correspondentes a 50 e 75 % da evaporação do tanque Classe A (ECA). No final do ciclo os melhores resultados de número de folhas, área foliar, matéria seca e produtividade foram proporcionados pelo nível de 75 % da ECA. A eficiência no uso da água apresentou resposta linear e decrescente com o acréscimo dos níveis de irrigação aplicados.

Forero et al. (1979), citados por Andrade Júnior (1994), estudando o efeito de diferentes lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento na alface utilizando níveis de 60, 80 e 100% da evaporação do tanque Classe A,

verificaram que a maior produtividade ($52,05 \text{ t.ha}^{-1}$) foi obtida com a aplicação do fator de evaporação igual a 100% da ECA.

Hamada (1993) avaliando o efeito de quatro lâminas (60, 80, 100 e 120 % da evaporação diária, obtida do tanque Classe A) na cultura da alface tipo lisa, irrigada por gotejamento, obtendo maior valor de matéria seca total acumulada (13 g.planta^{-1}) com o fator de evaporação de 100% da ECA.

Para as variáveis produtividades total e comercial, os melhores resultados se deram na aplicação da lâmina de 120% da evaporação do Tanque Classe A. No entanto, a maior eficiência no uso da água foi obtida no tratamento com a menor lâmina aplicada (60% da ECA).

Trabalhando com tensão de água no solo, Frenz & Lechl (1981), citados por Andrade Júnior (1994) conduziram um experimento em casa de vegetação com o objetivo de determinar a tensão ideal de água no solo para um adequado desenvolvimento da cultura da alface. O sistema utilizado foi o gotejamento e os tratamentos de tensão foram 6, 14, 22 e 30 kPa. A tensão de 14 kPa proporcionou a maior quantidade de matéria fresca ($264 \text{ g.planta}^{-1}$) e produtividade (42 t.ha^{-1}), totalizando uma lâmina de 56 mm e frequência de 4 dias. Já Araki & Goto (1983), citados por Andrade Júnior (1994), observaram a faixa compreendida entre as tensões de 20 e 30 kPa como ótimas para o crescimento da cultura e obtenção de 'cabeças' com $1.430 \text{ g.planta}^{-1}$. A lâmina total aplicada nesse caso foi de 140 mm.

Santos (2002), avaliando o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o comportamento produtivo da alface americana cv. Raider em ambiente protegido, verificou que, para a obtenção de maiores produtividades (total e comercial), plantas mais altas, com maior número de folhas internas, maior peso de massa fresca da parte comercial e maior diâmetro de caule, as irrigações devem ser realizadas quando as tensões de água no solo a 0,15 m de profundidade estiverem em torno de 15 kPa. A produtividade da cultura reduziu-

se linearmente em função do aumento da tensão da água no solo no intervalo entre 15 e 89 kPa; o mesmo acontecendo com a altura de plantas, número de folhas internas, peso da massa fresca da parte comercial e diâmetro do caule.

Silva & Marouelli (1998) afirmam que, em geral, as tensões de água no solo devem ficar compreendidas entre 10 e 30 kPa, no caso do cultivo em ambiente protegido com irrigação por gotejamento, para a maioria das hortaliças.

O ideal no manejo da irrigação é a combinação de métodos. Na combinação do tensiômetro com o tanque Classe A, o tensiômetro é usado para determinar o momento da irrigação e checar as condições de umidade do solo e o tanque Classe A para determinar a lâmina de água de reposição (Carijo et al., 1999).

2.5 Instrumentos utilizados no manejo da irrigação

Para o manejo adequado da água de irrigação é necessário o controle diário da umidade do solo e/ou da evapotranspiração, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto, é indispensável o conhecimento de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima, para se determinar o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada. Isso pode ser baseado em critérios relacionados ao status da água no solo e nas plantas, na taxa de evapotranspiração da cultura ou na combinação de dois ou mais deles.

Dentre os vários equipamentos existentes no mercado para o manejo da irrigação destaca-se o tanque Classe A, em virtude do custo relativamente baixo e do fácil manejo. O tanque Classe A tem a vantagem de medir a evaporação de uma superfície de água livre, associada aos efeitos integrados da radiação solar, do vento, da temperatura e da umidade do ar (Bernardo et al., 2005).

O evaporímetro em questão consiste de um recipiente circular de aço galvanizado, com 121 cm de diâmetro interno e 25,5 cm de profundidade. O

tanque deve ser instalado sobre um estrado de madeira de 10 cm de altura e estar cheio de água, de modo que o nível máximo fique a 5 cm da borda superior. A oscilação máxima do nível de água dentro do tanque não deve ser superior a 2,5 cm (Marouelli et al., 1996). Esse tanque foi desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Norte Americano (U.S.W.B) e é de uso generalizado, inclusive no Brasil (Pereira et al., 1997).

Medeiros et al. (1997), comparando a evaporação medida em um tanque Classe A e em tanque evaporimétrico reduzido (minitanque), dentro e fora da casa de vegetação, verificaram que a evaporação do minitanque foi em média 15% maior do que a do tanque Classe A, enquanto que dentro da estufa correspondeu a 47% da evaporação medida na estação meteorológica.

O uso do minitanque no interior da casa de vegetação para a realização do manejo da irrigação apresenta as seguintes vantagens: é um instrumento de menor custo e de operação mais fácil, além de ocupar reduzido espaço.

O monitoramento da tensão de água no solo constitui em uma técnica fundamental para o manejo da irrigação. Figuerêdo (1998) recomendou o uso de tensiômetro para executar a medida do potencial mátrico do solo, em função da facilidade de aquisição, da simplicidade no manuseio e do baixo custo do equipamento.

Os tensiômetros são recomendados para a utilização no limite de precisão para medidas inferiores a 75 kPa (Bernardo et al., 2005). Porém, teoricamente se pode medir até 100 kPa, mas, na prática, acima de 80 kPa o ar começa a penetrar na cápsula porosa. No entanto, se o interesse do pesquisador for medir tensões acima da faixa de uso da tensiometria, podem-se utilizar blocos de resistência elétrica (Guerra et al., 1994; Figuerêdo, 1998; Oliveira et al., 1999).

Os blocos de resistência elétrica, em geral revestidos de gesso, são capazes de fornecer informações confiáveis quando a tensão da água no solo está

entre 100 e 1500 kPa. Porém, deve-se ter atenção com alguns fatores que influenciam negativamente as leituras, como a temperatura, a salinidade do solo, as características físicas do gesso utilizado na fabricação dos blocos e a dispersão de corrente elétrica no solo (Gornat & Silva, 1990).

Os blocos disponíveis no mercado são feitos de diversos materiais porosos que vão desde o tecido de nylon e fibra-de-vidro até aos blocos de gesso-resinado, moldados em diferentes formas. Os blocos possuem no seu interior um sistema de eletrodos que basicamente consiste de dois fios elétricos finos ligados, cada um, a uma pequena tela de aço inox (Gomide, 1998).

Shock et al. (2002), citados por Santos (2002), fizeram uma comparação entre tensiômetros e blocos de resistência elétrica (*Watermark[®] sensor model 200SS*) e obtiveram boa correlação entre esses sensores, na medição da tensão de água no solo, para a faixa de alcance dos tensiômetros em diversos ciclos de molhamento e secagem do solo.

2.6 Função de produção

Define-se uma função de produção como sendo as relações técnicas entre um conjunto específico de fatores envolvidos num processo produtivo qualquer e a produção física possível de se obter com a tecnologia existente (Ferguson, 1988).

Dos fatores de produção, a água e os fertilizantes são aqueles que mais limitam os rendimentos com maior frequência. Desse modo, o controle da irrigação e da fertilidade do solo constitui critério preponderante para o êxito da agricultura. A utilização das funções de produção permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e dos fertilizantes na agricultura ou na previsão de rendimentos culturais (Frizzone, 1986).

Oliveira (1993) mencionou que muitos trabalhos de pesquisa envolvendo irrigação e fertilizantes apontam recomendações genéricas que objetivam a

obtenção de produtividades físicas máximas, sem qualquer preocupação com a economicidade. Resultados de pesquisas que embasam essas informações poderão torná-los inviáveis do ponto de vista econômico, pois a máxima produtividade biológica, geralmente, não corresponde com o ponto ótimo econômico.

Dentre os modelos matemáticos comumente empregados para representar a função de produção “água-cultura” destaca-se: o tipo linear, o potencial e o exponencial (Bernardo, 1998). No entanto, quando se trabalha com lâmina total aplicada, normalmente, usa-se um modelo polinomial do segundo grau (Frizzone, 1987; Oliveira, 1993; Carvalho, 1995; Pereira, 2005), o qual na maioria dos trabalhos foi o que melhor representou a estimativa de produção, sendo justificado pela máxima eficiência econômica, com o uso da produtividade máxima ou do lucro máximo.

Vilas-Boas (2006), trabalhando com a cultura da alface na região de Lavras-MG, avaliando diferentes lâminas de irrigação, obteve uma produtividade máxima de 33.225 kg ha⁻¹ aplicando uma lâmina de 244,9 mm. Já a lâmina de maior retorno econômico foi 244,2 mm, resultando uma produtividade de 33.224 kg ha⁻¹.

Carvalho (1995), trabalhando com a cultura da cenoura, observou que o ponto de maior produtividade comercial foi estimado em 36.000 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação de 443 mm e o ponto correspondente ao maior retorno econômico foi estimado em 438 mm, com uma produtividade de 35.900 kg ha⁻¹, tendo o custo variável tido pouca influência na determinação da lâmina de máximo retorno econômico.

A produtividade de uma cultura depende de vários fatores de produção. De uma maneira geral, a função de produção “água-cultura” pode ser expressa conforme a Equação 1, a seguir:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

em que:

Y = produção do cultivo;

x_n = fator variável que afeta a produção do cultivo.

Estas funções de produção são obtidas empiricamente e ajustadas pela análise de regressão, fixando a variável dependente (produtividade) e variando a ou as variáveis independentes (lâmina de água, doses de fertilizantes...).

Frizzone (1986) mencionou que as variáveis da função de produção água-cultura podem ser expressas de diferentes maneiras. A variável independente água pode ser representada pela transpiração, evapotranspiração, lâmina de água aplicada durante o ciclo etc. Ao usuário da irrigação é mais interessante utilizar como variável independente a lâmina de água aplicada à parcela, mesmo que apenas parte dela seja usada no processo de evapotranspiração. Em geral, a variável dependente refere-se à produtividade agrícola comercial de grãos, frutos, matéria verde ou seca, etc. Por fim, as funções de produção água-cultura são particularmente importantes para as análises de produção agrícola quando a água é escassa. Para o processo de planejamento, essas funções constituem o elemento básico de decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente à operação de projetos de irrigação, permitem tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica com base na água disponível.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação situada nas dependências da área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, no período compreendido entre os meses de março a maio de 2008. A UFLA situa-se no município de Lavras, região sul de Minas Gerais, que está numa altitude média de 910 metros e coordenadas geográficas 21°14'S, Latitude Sul e 45°00'W, Longitude Oeste.

As casas de vegetação foram construídas utilizando-se pilares de madeira (eucalipto tratado) e teto tipo arco de material metálico, apresentando 2,5 m de pé-direito, 4,0 m de altura no ponto mais alto, 13 m de comprimento e 7,0 m de largura, cobertas com filme de polietileno de baixa densidade transparente, aditivado anti-UV com espessura de 150 micras e as laterais fechadas com tela antiafídeo (Figura1).



FIGURA 1 Vista geral do experimento no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

3.1.1 Clima

De acordo com a classificação de Köppen (Dantas et al., 2007), a região apresenta um clima Cwa, ou seja, clima temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e superior a 3°C; o verão apresenta temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Lavras apresenta temperatura do ar média anual de 19,4 °C, umidade relativa do ar média de 76,2% e tem uma precipitação média anual de 1529,7mm, bem como uma evaporação média anual de 1034,3 mm (Brasil, 1992).

Os dados meteorológicos no interior do ambiente, foram obtidos de uma estação portátil e automática, marca DAVIS, modelo VANTAGE PRO 2, instalada dentro da casa de vegetação, com monitoramento diário da temperatura e da umidade relativa do ar.

3.1.2 Solo

O solo da área experimental foi originalmente classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, segundo a Embrapa (1999).

Para a determinação da curva característica de água no solo, amostras de solo foram coletadas na camada de 0 a 25 cm e levadas ao Laboratório do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

As amostras de solo com estrutura deformada (terra fina seca ao ar) foram colocadas em cilindros de PVC e, depois de saturadas, foram levadas para uma bancada dotada de funil de Haines para determinação dos pontos de baixa tensão (0, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa) e para o extrator de Richards para os pontos de maiores tensões (33, 100, 500 e 1500 kPa).

Empregando o modelo computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1995), foi gerada a Equação 2, ajustada segundo modelo desenvolvido por Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão. A partir da equação e dos valores observados foi gerada a curva de retenção de água no solo para a camada em estudo, apresentada na Figura 2.

$$\theta = 0,263 + \frac{(0,458)}{\left[1 + (0,686 \times \Psi)^{1,528}\right]^{0,345}} \quad r^2 = 0,9971 \quad (2)$$

em que:

θ = umidade atual ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

Ψ = tensão de água no solo (kPa).

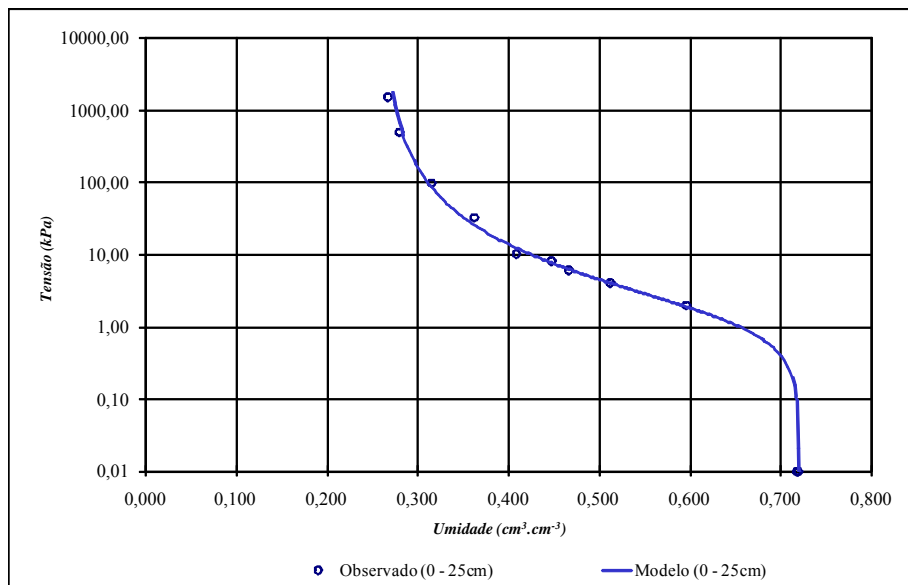


FIGURA 2 Curva característica de água no solo obtida utilizando o modelo descrito por Genuchten (1980). UFLA, Lavras, MG, 2008.

Partindo da equação ajustada para descrever a curva de retenção e considerando uma tensão de água no solo correspondente a 10 kPa (Carvalho et al., 1996) foi encontrado o valor correspondente à umidade na capacidade de campo de $\theta_{cc} = 0,4258 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ para a camada de 0 a 0,25 m.

Os resultados das análises químicas e físicas das amostras de solo coletadas na área experimental encontram-se na Tabela 1. De acordo com Gomes et al. (1999) e com os resultados da análise do solo não foi preciso realizar a correção da acidez do solo, pois, o índice de saturação por bases (V) foi superior ao recomendado para a cultura da alface (70%).

TABELA 1 Análise química e física de amostras de solo coletadas na área experimental. UFLA, Lavras, MG, 2008.*

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	AMOSTRAS**
			0 a 0,25m
pH	Em água (1:2,5)	-	6,4(AF)
P	Fósforo (Mehlich 1)	mg/dm ³	41,7(MB)
K	Potássio	mg/dm ³	52 (M)
Ca	Cálcio	Cmol/dm ³	4,4 (MB)
Mg	Magnésio	Cmol/dm ³	0,3 (b)
Al	Alumínio	Cmol/dm ³	0 (mb)
H+Al	Ac. Potencial	Cmol/dm ³	1,2 (b)
SB	Soma bases	Cmol/dm ³	4,7 (B)
(t)	CTC efetiva	Cmol/dm ³	4,7 (B)
(T)	CTC a pH 7,0	Cmol/dm ³	6 (M)
V	Sat. Bases	%	80 (B)
m	Sat. Alumínio	%	0 (mb)
MO	Mat. Orgânica	dag/kg	2,3 (M)
P-rem	Fósforo remanescente	mg/l	8,4 (B)
Zn	Zinco	mg/dm ³	7,4 (A)
Fe	Ferro	mg/dm ³	41(B)
Mn	Manganês	mg/dm ³	63,7 (A)
Cu	Cobre	mg/dm ³	4,0 (A)
B	Boro	mg/dm ³	0,6 (M)
S	Enxofre	mg/dm ³	49,2 (MB)
Areia	-	dag/kg	14
Silte	-	dag/kg	35
Argila	-	dag/kg	51
Textura	Classe textural	-	A
Ms	Massa específica solo	g/cm ³	1,09

*Realizadas no DCS/UFLA.

**A = alto; B = bom; MB = muito bom; b = baixo; M = médio; mb = muito baixo.

AM= acidez fraca.

(Alvarez et al., 1999). A = argilosa.

Quanto ao preparo do solo para o plantio, foram realizados dois revolvimentos do solo com uso de uma enxada rotativa, com o objetivo de descompactar e promover a aeração do solo, visando o bom desenvolvimento do sistema radicular da cultura.

Os canteiros foram construídos manualmente e, aproveitando a mesma operação, foi efetuada a incorporação da adubação de plantio. A adubação de plantio foi feita sete dias antes do transplantio das mudas, baseada nos resultados obtidos na análise química de solo (Tabela 1) e informações obtidas junto ao Engenheiro Agrônomo e Consultor Dr. Jony Eishi Yuri*. Para este procedimento foi utilizado o fertilizante Nutrisafra 2 B Plus na quantidade de 1500 kg.ha⁻¹ ou 150 g.m⁻² de canteiro. Esse fertilizante contém em sua fórmula 4% de N; 12% de P₂O₅; 8% de K₂O; 5% de Ca; 0,05% de B; 10% de Torta de Mamona e 10% de Termofosfato.

Devido aos valores de matéria orgânica, obtidos na análise de solo, e à presença de torta de mamona no fertilizante utilizado para a adubação de plantio, optou-se em não utilizar outras fontes de matéria orgânica durante a condução do experimento. As quantidades de nutrientes fornecidas pela adubação de plantio e transformadas em kg.ha⁻¹ foram: 60 para N; 79,2 para P; 99,6 para K; 75 para Ca e 0,75 para B.

*Comunicação pessoal. YURI, J. E. 2008. Universidade Vale do Rio Verde, UNINCOR, Av. Castelo Branco, 82, Centro, 37410-000 Três Corações-MG.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foi empregado o delineamento em blocos casualizados (DBC), tendo sido utilizados cinco tratamentos e quatro repetições, perfazendo um total de 20 parcelas. Os tratamentos constituíram-se de cinco lâminas de água com base na evaporação do minitanque, sendo:

W1 – lâmina de irrigação referente a 30% da evaporação do minitanque;

W2 - lâmina de irrigação referente a 60% da evaporação do minitanque;

W3 - lâmina de irrigação referente a 90% da evaporação do minitanque;

W4 - lâmina de irrigação referente a 120% da evaporação do minitanque;

W5 - lâmina de irrigação referente a 150% da evaporação do minitanque.

O minitanque tem a forma circular, construído em chapa galvanizada com 60,5 cm de diâmetro (50% do diâmetro do tanque Classe A), 25,4 cm de profundidade, e apoiado sobre estrado de madeira, este com altura de 15 cm acima do solo. O minitanque foi instalado no centro de uma das casas de vegetação, conforme Figura 3.



FIGURA 3 Minitanque evaporimétrico utilizado no experimento. UFLA, Lavras, MG, 2008.

As parcelas experimentais tiveram as dimensões de 1,20m de largura e 2,40 m de comprimento ($2,88 \text{ m}^2$). Foram utilizadas quatro linhas de plantas espaçadas de 0,30 m e 0,30 m entre plantas, perfazendo-se um total de 32 por parcela. Foram consideradas úteis as plantas das linhas centrais, sendo descartadas nestas linhas duas plantas no início e duas no final (parcela útil com $0,72 \text{ m}^2$ e 8 plantas), conforme esquema ilustrativo na Figura 4.

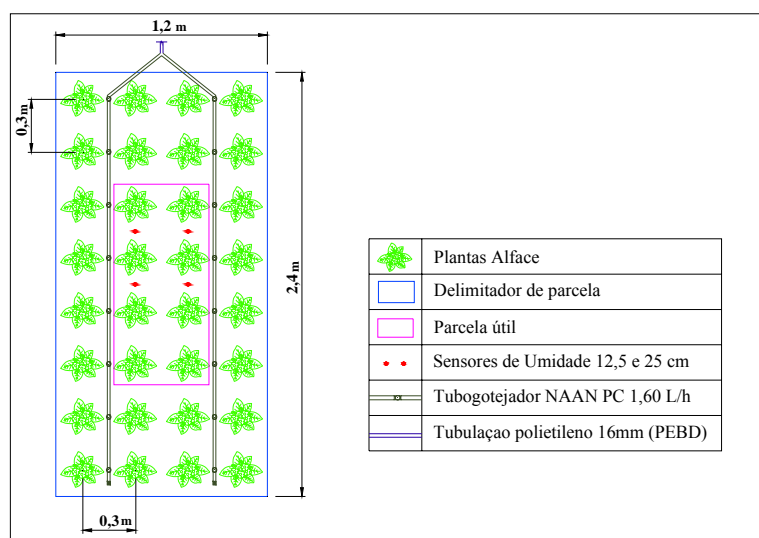


FIGURA 4 Esquema de uma parcela experimental com o sistema de irrigação implantado e os sensores de umidade. UFLA, Lavras, MG, 2008.

3.3 Sistema e manejo da irrigação

Para aplicação dos tratamentos utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento, sendo os emissores do tipo *in-line* inseridos no tubo no momento da extrusão (auto-compensantes e não-drenantes) e distanciados entre si de 0,30 m. Os gotejadores modelo NAAN PC foram testados e resultou em uma vazão média de $1,76 \text{ L.h}^{-1}$ para uma pressão de serviço em torno de 180 kPa. O tubogotejador (DN 16 mm) foi posicionado na parcela, de forma a atender duas fileiras de plantas, conforme mostrado na Figura 4.

A fim de mensurar a vazão nominal do gotejador e do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CU) do sistema de irrigação, foram realizados testes utilizando o procedimento recomendado por Merriam & Keller (1978), citados por Cabello (1996), em que se escolhe uma subunidade e nela se selecionam quatro laterais: a primeira, a situada a 1/3 do início, a situada a 2/3 e a última. Em cada lateral, selecionam-se quatro emissores, o primeiro, o situado

a 1/3, o situado a 2/3 e o último, sendo coletadas vazões destes emissores e, a partir da Equação 3, calcula-se o coeficiente de uniformidade.

No caso do sistema de irrigação em questão foram sorteados os tratamentos W1 e W4 e foram avaliados todos os emissores das quatro repetições dos respectivos tratamentos.

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} \quad (3)$$

em que:

CU = coeficiente de uniformidade de distribuição;

q_{25} = média das 25% menores vazões coletadas ($L.h^{-1}$);

q_a = média das vazões coletadas ($L.h^{-1}$).

Além do coeficiente de uniformidade foi determinado também o coeficiente de variação total de vazão, conforme metodologia apresentada por Bralts & Kesner (1978), citados por Cabello (1996). O coeficiente de variação total (CVt) é a relação entre o desvio padrão das vazões e a vazão média. Indica como está a uniformidade da vazão na subunidade estudada. Cabello (1996) apresentou uma classificação da uniformidade de distribuição de água de acordo com o valor do CVt. Se o CVt for maior que 0,4 a uniformidade é inaceitável; de 0,4 a 0,3 é baixa; de 0,3 a 0,2 é aceitável; de 0,2 a 0,1 é muito boa e de 0,1 a 0 é excelente.

As linhas laterais foram conectadas às linhas de derivação de polietileno (PEBD DN 16 mm); estas, por sua vez, foram conectadas às linhas principais (PVC DN 35 mm; PN 40) que tinham, no seu início, válvulas de comando elétrico (solenóides) localizadas na saída do cabeçal de controle. Foi utilizada uma válvula para cada tratamento; tais válvulas eram acionadas por meio de um controlador programável (TOTAL CONTROL 12 STATIONS), previamente

programado, em cada irrigação, para funcionar o tempo necessário visando repor a lâmina de água referente à evaporação medida através do minitanque. A instalação, leitura e manejo do tanque foram realizados conforme recomendações de Marouelli et al. (1986), Volpe & Churata-Masca (1988) e Bernardo et al. (2005).

A lâmina de água aplicada, com uma frequência de dois dias, foi calculada considerando-se a porcentagem da evaporação (K) medida no período previsto entre duas irrigações (2 dias), de acordo com cada tratamento e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação, conforme a Equação 4.

$$LI = \frac{Evm.K}{Ei} \quad (4)$$

em que:

LI = lâmina de irrigação a ser aplicada em cada tratamento (mm);

Evm = evaporação do minitanque medida no período (mm);

Ei = eficiência de aplicação de água do sistema (0,90);

K = fração da evaporação de cada tratamento.

As diferentes lâminas de irrigação, para cada tratamento, foram obtidas mediante diferentes tempos de funcionamento das linhas de gotejadores. Esse tempo foi obtido a partir da vazão média dos gotejadores, do espaçamento entre plantas e entre linhas de plantio, apresentado na Equação 5.

$$Ti = \frac{LI.Sp.Slp}{e.q} \quad (5)$$

em que:

Ti = tempo de irrigação para cada tratamento (h);

LI = lâmina de irrigação a ser aplicada no tratamento (mm);

Sp = espaçamento entre plantas (0,30 m);

Slp = espaçamento entre linhas de plantas (0,30 m);

e = número de emissores por planta (0,5);

q= vazão média do gotejador (1,76 L.h⁻¹).

O monitoramento da umidade do solo foi efetuado por meio de tensiômetros (tratamentos W3, W4 e W5). Nos demais tratamentos (W1 e W2) a umidade do solo foi monitorada por sensores do tipo GMS (*Grain Matrix Sensor - Watermark®*) fabricados pela *Irrrometer, Inc.* Para isso, foi instalada uma bateria de quatro tensiômetros digitais (dois a 12,5 cm e dois a 25,0 cm de profundidade) para monitorar as tensões, sorteada entre as parcelas de cada tratamento. Os tensiômetros foram instalados no alinhamento da cultura, entre duas plantas e ficaram 10 cm distanciados entre si em cada bateria.

As leituras das tensões foram realizadas diariamente no intervalo das 8:00 às 9:00 horas, com tensímetro digital de punção com precisão de $\pm 0,03\%$ e leitor digital GMS. Os valores de tensão foram utilizados para monitorar a umidade do solo em cada tratamento.

3.4 Condução do experimento

No trabalho foi utilizada a alface americana cv. *Raider-Plus*, por ser de grande aceitabilidade pelos produtores de Lavras e região e por apresentar elevada demanda pelas empresas de *fast foods* e consumidores.

As mudas foram doadas por um produtor do município de Três Pontas, MG, as quais foram semeadas em bandejas de isopor de 288 células preenchidas com o substrato comercial Plantmax HT, específico para o cultivo da alface. Após 30 dias da semeadura, ocasião em que as mudas já se encontravam com quatro folhas definitivas, foi efetuado o transplântio para os canteiros.

Do transplântio, ocorrido em 9 de abril de 2008, até o início da diferenciação dos tratamentos (14/04) foram realizadas, por quatro dias,

irrigações em todos os cinco tratamentos, totalizando uma lâmina de 24 mm. Este procedimento teve como objetivo proporcionar um melhor “pegamento” e a uniformização no desenvolvimento inicial das mudas.

Toda a adubação de cobertura foi feita via fertirrigação e seguindo as recomendações da 5ª aproximação (Gomes et al., 1999) e também as considerações do engenheiro agrônomo e consultor Dr. Jony Eishi Yuri. Os adubos utilizados foram: Nitrato de Potássio, Nitrato de Cálcio e Sulfato de Magnésio, em função das suas solubilidades altas, com índices de salinidade relativamente baixos. As adubações de cobertura forneceram durante todo o ciclo da cultura as quantidades em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de 55,34 de N; 0,0 de P_2O_5 , sendo que todo o P foi fornecido pela adubação de plantio; 74,16 de K_2O ; 40,46 de Ca; 12,21 de Mg e 15,6 de S.

Foi utilizada para a realização das fertirrigações uma bomba de injeção de fertilizante marca AMIAD modelo TMB WP – 10 com capacidade máxima de injeção de $60 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ de fertilizante.

O total de nutrientes fornecidos para a cultura corresponde à soma da adubação de plantio com a de cobertura totalizou a quantidade em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de: 115,34 de N; 79,20 de P_2O_5 ; 173,76 de K_2O ; 115,46 de Ca; 12,20 de Mg e 15,60 de S.

Com o objetivo de prevenir sintomas de deficiências nutricionais que poderiam aparecer durante desenvolvimento da cultura, foram feitas três aplicações de fertilizante foliar (Nitrofoska A) durante todo o ciclo da alfaca: a primeira com 12 dias após o transplante (DAT); a segunda com 26 DAT; e a terceira com 35 DAT. O fertilizante foliar Nitrofoska A possui em sua fórmula as seguintes concentrações de nutrientes: 10% de N; 4% de P_2O_5 ; 7% de K_2O ; 0,02% de B; 0,05% de Cu; 0,02% de Mn.

Para o controle das plantas invasoras foi feita a aplicação do herbicida Roundup®, para eliminação das mais resistentes à capina manual, antes da

sistematização do solo com uso da enxada rotativa. Durante a condução do experimento, as plantas invasoras, que eventualmente ocorriam, foram eliminadas através de capinas manuais. O controle fitossanitário foi realizado através de inspeções periódicas na área experimental, não sendo detectada a presença significativa de pragas e doenças durante o período de realização do experimento.

3.5 Características vegetativas e produtivas

A colheita foi realizada no dia 30 de maio de 2008, quando as plantas atingiram seu máximo desenvolvimento vegetativo, ponto este caracterizado quando a cabeça da alface americana apresentou-se bem enfolhada e compacta. Imediatamente depois da colheita, procedeu-se às avaliações das parcelas úteis, sendo todas as repetições colhidas e avaliadas no mesmo dia.

3.5.1 Altura de plantas

A altura das plantas foram coletadas com o auxílio de duas réguas. A medida foi feita desde a superfície do solo, ficando uma régua perpendicular à outra formando um ângulo de 90°; os resultados foram expressos em cm, representados pela média de oito plantas.

3.5.2 Massa fresca total

Depois de colhidas e as raízes cortadas, foram realizadas as pesagens das plantas de cada parcela, em balança digital com precisão de 5 g, e os resultados foram expressos em gramas, representados pela média de oito plantas.

3.5.3 Massa fresca da cabeça comercial

Após a retirada das folhas externas obteve-se a parte comercial para a indústria (cabeça comercial). A cabeça comercial geralmente apresenta-se compacta, de coloração creme ou branca e com nervuras salientes (Mota, 1999).

3.5.4 Circunferência da cabeça comercial

A circunferência da cabeça comercial foi medida com o auxílio de uma fita métrica no ponto mediano de oito plantas, para a obtenção do valor médio.

3.5.5 Número de folhas internas

Após a medida da circunferência da cabeça comercial efetuou-se a retirada das folhas internas da cabeça comercial, que foram contadas e o resultado da contagem foi representado pela média de oito plantas.

3.5.6 Massa fresca dos talos

Posteriormente à retirada e a contagem de todas as folhas internas da cabeça comercial, o restante, ou a sobra, é classificado como sendo talo. Os talos das oito plantas de cada parcela foram pesados em balança digital com precisão de 0,01 g e os resultados foram expressos em gramas, média de oito plantas.

3.5.7 Massa fresca do sistema radicular

Efetuoou-se a pesagem do sistema radicular de cada planta, e para isso foi retirado o solo com auxílio de água corrente, que em seguida foi colocado dentro de uma estufa por 60 minutos à temperatura de 30°C.

3.5.8 Produtividade total e comercial

Com base nas dimensões das parcelas e considerando o espaço entre elas estimou-se a população de plantas por hectare. O valor encontrado foi de 79.262 plantas por hectare e a partir das médias de massa fresca, tanto da parte total quanto da comercial, estimou-se a produtividade total e comercial, respectivamente.

3.5.9 Eficiência no uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água foi determinada pela relação entre os valores da produtividade total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e as respectivas quantidades de água consumidas em cada tratamento durante o cultivo, sendo os resultados expressos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$.

3.6 Análise estatística

A obtenção da análise de variância pelo teste F e as análises de regressão, ambas ao nível mínimo 5% e 1% de probabilidade, foram efetuadas com o auxílio do software SISVAR para Windows, versão 4.0 (Ferreira, 2000).

O modelo estatístico é dado por: $y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$, em que: y_{ij} é o valor da variável dependente no j-ésimo bloco que recebeu a i-ésima lâmina de irrigação, μ é uma constante inerente a cada observação; t_i é o efeito da i-ésima lâmina de irrigação, com $i = 1, \dots, 5$; b_j é o efeito do j-ésimo bloco, com $j = 1, \dots, 4$; ε_{ij} é o erro experimental associado ao valor da variável dependente no j-ésimo bloco que recebeu a i-ésima lâmina de irrigação, normalmente distribuído com média zero e variância σ^2 .

3.7 Função de produção e análise econômica

Para obtenção da função de produção foi utilizada a análise de regressão entre a variável dependente (produtividade comercial) e a variável independente (lâmina de água). O modelo empregado foi o polinomial do segundo grau, conforme a Equação 6.

$$Y = a + b.w + c.w^2 \quad (6)$$

em que:

Y = produtividade comercial ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

w = lâmina total de água aplicada (mm);

a , b e c = parâmetros da equação, tendo como hipóteses que $b > 0$ e $c < 0$.

A lâmina de água a ser aplicada para obtenção da máxima produtividade física é dada por:

$$W(\text{max}) = \frac{b}{2c} \quad (7)$$

A lâmina de água de maior retorno econômico a ser aplicada deve corresponder a uma produtividade que traduza uma receita líquida máxima ou um lucro máximo. A função do lucro é dada pela diferença da receita bruta com os custos do fator água e fixos, expressa pela Equação 8.

$$L(w) = P_y \cdot Y - P_w \cdot w - C \quad (8)$$

em que:

$L(w)$ = lucro ($\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1}$);

P_w = preço do fator água ($\text{R\$} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$);

P_y = preço do produto ($\text{R\$} \cdot \text{kg}^{-1}$)

C = custo dos fatores fixos ($\text{R\$} \cdot \text{ha}^{-1}$).

O preço do produto (P_y) representa o preço na indústria por quilo de alface americana comercial. As indústrias de processamento de alface no sul de

Minas Gerais adquiriram o quilo da alface ao preço de R\$0,90.kg⁻¹ (cotação de junho/2008), sendo o custo de produção estimado por planta de R\$ 0,20, para cada 20.000 plantas produzidas. Esse preço foi considerado para efeito de análise econômica no presente estudo.

O preço do fator água (Pw) foi estimado pelos custos da energia para o bombeamento e os custos de manutenção e operação do sistema de irrigação. Devido à presença constante de variação dos fatores estimadores do preço do fator água, tornando os custos do mesmo de difícil quantificação, justificou-se a fixação de alguns parâmetros, tais como:

- método de irrigação: localizada por gotejamento com acionamento automático;
- área: 10.000 m² ;
- número de plantas por hectare: 79.262;
- altura manométrica total: 300 kPa (30 mca);
- vazão da motobomba: 11,63 m³.h⁻¹;
- eficiência do conjunto motobomba: 50%;
- vida útil do sistema de irrigação: 10 anos;
- utilização: 4 ciclos de cultura por ano.

Nessas condições o custo do sistema de irrigação foi de R\$ 7.172,23, incluído a bomba e o motor monofásico, o tubogotejador, o injetor de fertilizante, o controlador com 6 estações, a chave de partida, válvulas solenóides, a tubulação de sucção e recalque além das conexões.

No cálculo da depreciação do sistema (fator de recuperação de capital), consideraram-se a taxa de juros anual de 10% e a vida útil do equipamento de 10 anos, chegando-se a um fator de 0,1627 que, multiplicado ao custo do sistema de

irrigação, gerou-se o custo de amortização dos fatores mantidos constantes de R\$ 1.167,23.

O custo de manutenção e operação do sistema de irrigação foi considerado sobre 2% do seu valor de aquisição (Zocoler, 2001), o que equivale a R\$ 143,45.ha⁻¹ ano⁻¹ ou R\$ 35,86.ha⁻¹ por ciclo da cultura ao ano.

Para obtenção do custo da energia elétrica de bombeamento da água foram considerados os seguintes itens: motobomba de 3 cv, irrigação diária de duas horas e seis minutos, com 52 dias de cultivo. O valor do kWh, fornecido pela concessionária de energia elétrica CEMIG para o mês de junho de 2008, foi de R\$ 0,29. O custo total de energia elétrica para o bombeamento foi estimado em R\$ 85,86.ha⁻¹.

Nesta análise, não se considerou o efeito dos fatores mantidos constantes no experimento (custeio agrícola). Logo, foi considerada apenas a influência do custo operacional efetivo, ou seja, o custo de manutenção do sistema de irrigação e o custo da energia consumida no bombeamento de cada tratamento para o cálculo do preço do fator água.

Desta forma, o custo operacional efetivo foi calculado somando-se o custo de manutenção e operação do sistema e o custo da energia consumida no bombeamento referente ao tratamento W3; assim, chegou-se ao valor de R\$ 121,72.ha⁻¹.ciclo da cultura⁻¹.

O custo de R\$ 0,67 mm⁻¹.ha⁻¹ de água aplicada foi calculado, dividindo-se o custo operacional efetivo pela lâmina total aplicada ao tratamento W3, tomado como referencial para esta análise econômica.

Sob a hipótese de que L(W) tem um máximo e que a água é o único fator variável tem-se a expressão 9:

$$\frac{\partial L(w)}{\partial w} = P_y \frac{\partial y}{\partial w} - P_w = 0 \quad (9)$$

em que:

$$\frac{\partial y}{\partial w} \cdot P_y = \text{valor da produtividade física marginal do fator água (w);}$$

$$\frac{\partial y}{\partial w} = \text{produtividade física marginal do fator água (w).}$$

A produtividade física marginal (PFMa) do fator variável é o aumento no produto físico total decorrente do emprego de uma unidade adicional do fator variável. Graficamente, o PFMa representa a declividade do produto total ou da função de produção em um determinado nível do fator variável e é o indicador das eficiências técnica e econômica do experimento.

Da expressão (9), obtém-se o indicador de eficiência econômica, conforme a expressão 10.

$$\frac{\partial y}{\partial w} = \frac{P_w}{P_y} \quad (10)$$

A expressão (10) mostra que o lucro se maximiza (considerando a água como único fator variável) se a derivada primeira da produtividade em relação à lâmina total de água (produto físico marginal da água) for igual à relação entre os preços do fator e da alface.

Portanto, da Equação 6, obtém-se a Equação 11:

$$\frac{\partial y}{\partial w} = b - 2.c.w = \frac{P}{Py} \quad (11)$$

Da Equação 11, obteve-se a lâmina de irrigação ótima econômica para as condições desse trabalho, considerando como fator variável o total de lâmina de água aplicada com os demais insumos utilizados no experimento constantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados gerais do experimento

4.1.1 Parâmetros climáticos na casa de vegetação

Para caracterização das condições climáticas do interior da casa de vegetação durante a condução do experimento foram confeccionados gráficos com dados relativos à temperatura e à umidade relativa máxima, média e mínima do ar, apresentados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

Observa-se na Figura 5 que, a média das temperaturas médias ocorrida no interior da casa de vegetação foi 20,3 °C, as máximas variaram entre 21,7 °C e 31,7°C e as mínimas ficaram entre 7,8 a 18,9 °C.

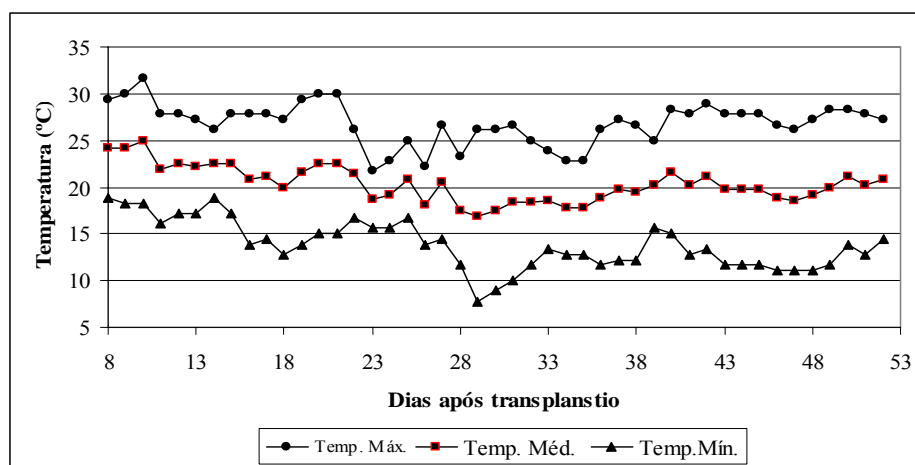


FIGURA 5 Temperatura (°C) mínima, média e máxima do ar ocorrida no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

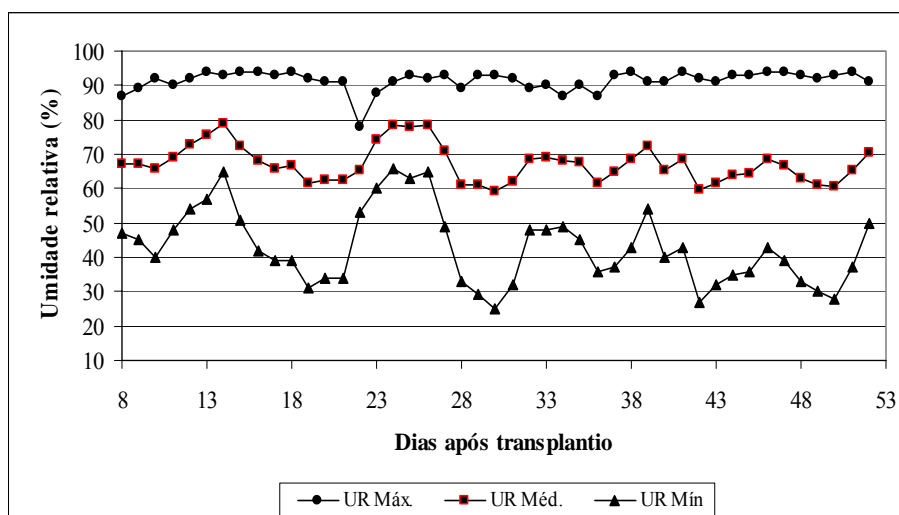


FIGURA 6 Umidade relativa (%) mínima, média e máxima ocorrida no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

A média das umidades relativas médias do ar mensurada na estação foi 67,2 %, sendo que a umidade relativa máxima variou entre 78 e 95% e a mínima variou entre 25 e 66% (Figura 6).

A temperatura do ar favorável ao crescimento da alface fica em torno de 30°C e a mínima situa-se em torno de 6°C, para a maioria das cultivares, enquanto a umidade relativa do ar mais adequada ao bom desenvolvimento da alface varia de 60% a 80% (Cermeño, 1990; Sganzerla, 1995). Verificou-se, nesse estudo, que a média da temperatura e da umidade relativa do ar se encontram dentro da faixa ótima recomendada pelos autores citados.

Na última semana do período experimental houve a incidência de focos localizados do fungo denominado oídio (*Oidium spp.*), que tem sua ocorrência facilitada por temperaturas amenas em conjunto com baixos índices de umidade relativa do ar. No entanto, não foi realizado o controle do mesmo, em virtude do baixo índice de incidência, demonstrando não comprometimento nos resultados das variáveis analisadas.

A evaporação do minitanque, coletada diariamente entre as 8 e 9 horas durante o período de condução do experimento e aplicação dos tratamentos, está apresentada na Figura 7. A evaporação máxima diária foi de 5,02 mm, a mínima de 1,09 mm e a média resultou em 3,10 mm. Verifica-se que no período de 23 a 26 DAT os valores da EV foram reduzidos devido a uma queda na temperatura e um aumento na umidade relativa do ar (Figura 5 e 6).

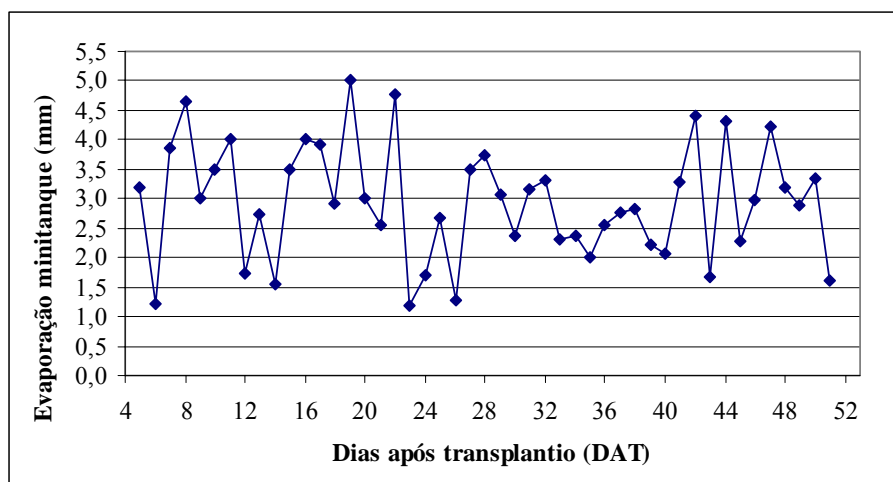


FIGURA 7 Evaporação diária do minitanque, ocorrida no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

4.1.2 Avaliação do sistema de irrigação

Como os gotejadores tinham uma faixa de compensação de vazão compreendida entre as pressões de 60 a 410 kPa, procurou-se manter a pressão de funcionamento no final das linhas laterais próxima a 180 kPa, por meio de uma válvula reguladora de pressão instalada no cabeçal de controle.

As parcelas correspondentes aos tratamentos de W1 e W3 foram submetidas ao teste de uniformidade de vazão. A vazão média dos gotejadores foi de 1,73 L.h⁻¹, um pouco acima do valor indicado pelo fabricante (1,6 L.h⁻¹).

O coeficiente de uniformidade de distribuição de água encontrado foi de 98,13%, significando que a água foi uniformemente distribuída nas parcelas em qualquer nível de irrigação, não se constituindo em uma fonte de variação adicional no ensaio, além da prevista pela aplicação dos diferentes coeficientes de evaporação atribuídos aos tratamentos.

Calculou-se também o coeficiente de variação total de vazão (CVt), que foi de 0,0184, confirmando a boa uniformidade de vazão nos tratamentos. O CVt é um dos parâmetros usados para diagnosticar problemas provenientes de um projeto inadequado, falta de reguladores de pressão ou mesmo desajuste dos mesmos (Cabello, 1996).

4.1.3 Lâminas de irrigação e tensão de água no solo

Com o objetivo de uniformizar o estabelecimento da cultura foram realizadas irrigações diárias, por meio de um sistema de microaspersão, até 4 dias após transplântio (DAT), totalizando 24 mm de lâmina aplicada em cada tratamento. Para a análise estatística das características físicas e produtivas da alface americana foi considerada a soma das irrigações feitas antes e após o início dos tratamentos.

Os valores acumulados das lâminas aplicadas após a diferenciação dos tratamentos encontram-se na Figura 8 obtidos a partir da adoção dos coeficientes 0,30 (W1), 0,60 (W2), 0,90 (W3), 1,20 (W4) e 1,50 (W5) sobre a evaporação do minitanque (EVm). Observa-se na fase inicial do experimento uma pequena diferenciação entre as lâminas de irrigação. Essa diferença foi acentuando-se durante o experimento e, no final do ciclo da cultura, aos 52 DAT, as lâminas de irrigação aplicadas após a diferenciação foram de 50,5;

104,6; 157; 209,4 e 261,7 mm nos tratamentos W1, W2, W3, W4 e W5, respectivamente. A lâmina aplicada no tratamento W5 foi cinco vezes superior à lâmina aplicada no tratamento W1, evidenciando ter ocorrido uma ampla variação no teor de água no solo para o desenvolvimento da alface.

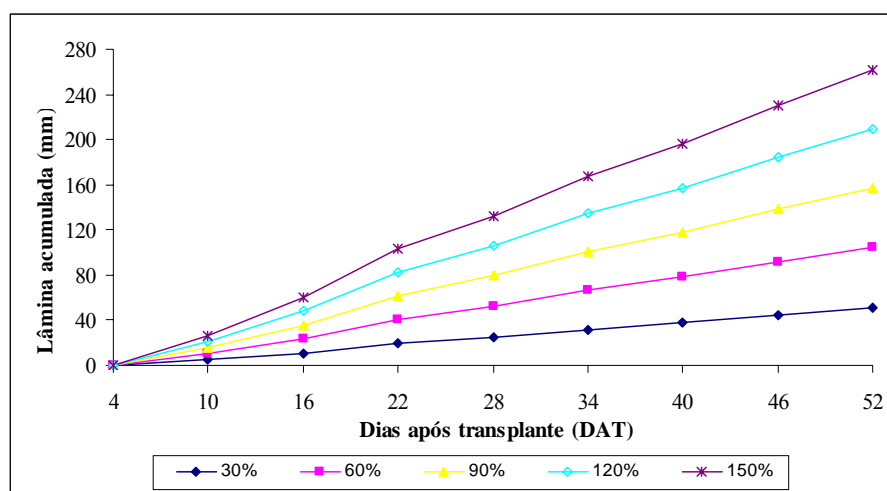


FIGURA 8 Lâmina de irrigação acumulada aplicada nos tratamentos W1, W2, W3, W4 e W5 ao longo do ciclo da cultura. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Para a análise estatística das características físicas e produtivas da alface americana foi considerada a soma das irrigações feitas antes e após o início dos tratamentos, denominada de lâmina total, conforme Tabela 2.

TABELA 2 Valores de lâminas de água aplicadas (mm) nos tratamentos ao longo do ciclo da cultura da alface americana. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Dia da Irrigação	Lâmina Bruta Aplicada (mm)				
	Tratamentos				
	0,30 (W1)	0,60 (W2)	0,90 (W3)	1,20 (W4)	1,50 (W5)
15/abr	1,66	3,49	5,23	6,97	8,72
17/abr	3,04	6,24	9,36	12,48	15,60
19/abr	2,36	4,89	7,34	9,78	12,23
21/abr	2,10	4,37	6,56	8,75	10,93
23/abr	1,64	3,43	5,15	6,87	8,58
25/abr	2,71	5,57	8,36	11,15	13,93
27/abr	2,48	5,12	7,68	10,24	12,80
29/abr	3,18	6,52	9,78	13,04	16,30
1/mai	2,64	5,44	8,16	10,88	13,60
3/mai	1,16	2,48	3,72	4,96	6,20
5/mai	1,51	3,18	4,77	6,36	7,95
7/mai	2,61	5,37	8,06	10,75	13,43
9/mai	2,01	4,17	6,26	8,35	10,43
11/mai	2,35	4,87	7,30	9,73	12,17
13/mai	1,75	3,67	5,50	7,33	9,17
15/mai	1,72	3,60	5,40	7,20	9,00
17/mai	2,07	4,29	6,44	8,59	10,73
19/mai	1,63	3,42	5,13	6,84	8,55
21/mai	2,77	5,70	8,55	11,40	14,25
23/mai	2,17	4,53	6,80	9,07	11,33
25/mai	1,96	4,07	6,11	8,15	10,18
27/mai	2,68	5,51	8,27	11,03	13,78
29/mai	2,28	4,72	7,08	9,47	11,80
Sub-total	50,53	104,63	157,02	209,37	261,67
Lâmina média	2,20	4,55	6,83	9,10	11,38
Tempo médio de irrigação (h)	0,22	0,47	0,70	0,93	1,16
Lâmina inicial	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Lâmina total	74,53	128,63	181,02	233,37	285,67

Os dados referentes ao monitoramento da umidade do solo encontram-se na Tabela 3, contendo os valores mínimos, máximos e médios de tensões de água no solo para cada tratamento durante o período experimental, nas diferentes profundidades de instalação dos sensores de umidade do solo. As leituras foram realizadas momentos antes de se iniciar as irrigações.

TABELA 3 Valores mínimos, máximos e médios da tensão (kPa) de água no solo em função dos níveis de irrigação. UFLA, Lavras MG, 2008.

Tratamento	Prof. (m)	Mínimo (kPa)	Máximo (kPa)	Médio (kPa)
0,30 (W1)	0,125	21,0	116,0	42,9
	0,25	13,0	114,0	35,5
0,60 (W2)	0,125	11,0	43,0	21,8
	0,25	12,0	36,0	23,6
0,90 (W3)	0,125	6,8	35,8	13,2
	0,25	5,5	23,5	11,4
1,20 (W4)	0,125	5,8	16,8	10,6
	0,25	4,5	14,5	8,9
1,50 (W5)	0,125	5,8	15,8	9,7
	0,25	4,5	13,5	8,3

Observa-se na Tabela 3, que os valores das tensões no tratamento W1 mantiveram-se acima dos limites adequados para a maioria das hortaliças, conforme vários autores citados por Pires et al. (2001). De um modo geral, os tratamentos W3 e W4, as tensões médias permaneceram entre 13,2 e 10,6 kPa, sendo este intervalo abaixo do considerado ótimo por Santos (2002), que obteve maior produtividade da alface americana realizando o manejo da irrigação com a tensão de 15 kPa na profundidade de 0,15 m.

Devido à demanda crescente de água pela cultura nos diferentes estágios fenológicos da planta, as médias das tensões dos tratamentos aumentaram ao longo do experimento provavelmente, apresentado déficit

hídrico no solo crescente nos tratamentos W1 e W2, justificando pelo aumento do consumo de água em virtude do aumento da área foliar durante a condução do período experimental.

Nota-se que o nível de irrigação de W4 e W5 a tensão mínima ocorrida foi de 5,8 kPa, indicando que a umidade do solo ficou abaixo do teor correspondente à capacidade de campo, resultando provavelmente numa diminuição do arejamento do solo e lixiviação de nutrientes, prejudicando a produção da alface, conforme será visto mais adiante.

Observa-se que as tensões médias dos tratamentos W2, W3 e W4 encontraram-se dentro da faixa limite compreendida entre 10 e 30 kPa, esta considerada ótima segundo Silva & Marouelli (1998).

No entanto, a análise posterior dos parâmetros vegetativos e produtivos da alface, em função da aplicação de diferentes lâminas de água, permitirá definir qual o valor adequado da tensão de água no solo.

4.2 Avaliação da massa fresca total e comercial

De acordo com a análise de variância, as lâminas de irrigação empregadas no experimento exerceram influência na massa fresca total (MFT) e massa fresca da cabeça comercial (MFCC), pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente (Tabela 4). Observa-se ainda que, para as variáveis em estudo, o DBC, a 5% de probabilidade, não foi significativo, não justificando, portanto, o controle local, devido à área experimental apresentar um grau satisfatório de homogeneidade; logo, o delineamento neste caso poderia ser o inteiramente casualizado.

TABELA 4 Resumo das análises de variância e de regressão para massa fresca total (MFT) e da cabeça comercial (MFCC), em função de lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Fonte de Variação	G.L.	Q.M.	
		MFT	MFCC
Lâmina	4	49844,33 *	26020,8 **
Bloco	3	3766,69 ^{ns}	3687,56 ^{ns}
Resíduo	12	10638,20	3413,62
Média	-	726,53	375,51
C.V. (%)	-	14,20	15,56
Linear	1	67648,14 *	33457,68 **
Quadrática	1	120400,43 **	57768,79 **
Desvios	2	5664,37 ^{ns}	6428,37 ^{ns}
Resíduo	12	10638,20	3413,62

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, * e ** – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Observa-se, na Figura 9, que as variáveis em estudo foram influenciadas pelas lâminas de água repostas ao solo.

Os resultados da análise de variância para massa fresca total e comercial mostraram que estas características podem ser explicadas por uma regressão linear simples ou quadrática, com nível de significância de 5%, tendo a segunda opção apresentado maior coeficiente de determinação (R^2), como pode ser visto na Figura 9. Esse efeito quadrático indica haver um acréscimo na massa fresca total e comercial, à medida que se aumentaram as lâminas de irrigação até os valores de 203,6 mm e 204,0 mm, correspondente a 101,2% e 101,4% de reposição de água ao solo, respectivamente. Sendo os valores médios encontrados de 726,53 g e 375,51 g para a massa fresca total e comercial, respectivamente.

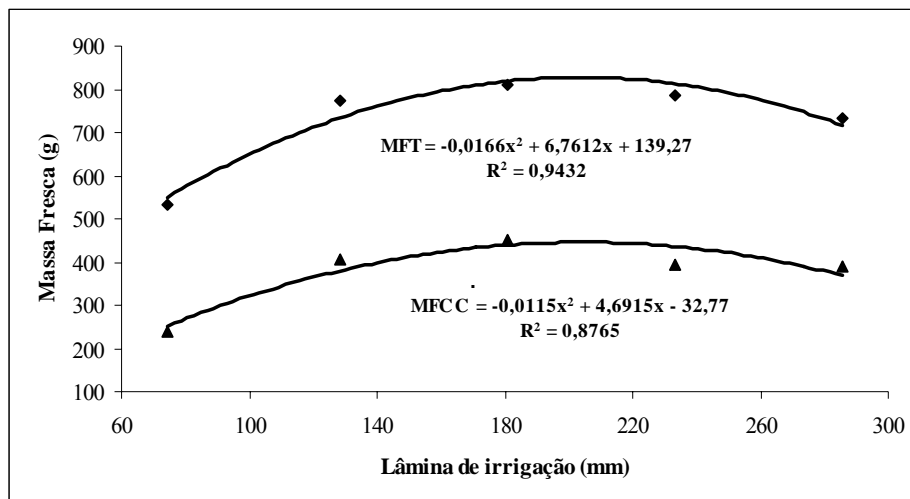


FIGURA 9 Valores médios, observados e estimados, de massa fresca total (MFT) e massa fresca da cabeça comercial (MFCC) de alface americana, em função das lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Esses resultados apresentam certa aproximação com os obtidos por Andrade Júnior & Klar (1997) que, estudando o efeito de quatro níveis de irrigação, baseado na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,25; 0,50; 0,75; e 1,00), utilizando irrigação por gotejamento na cultura da alface tipo americana, obtiveram valor máximo para massa fresca por planta de 818,7 g, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA.

Da mesma forma, Hamada (1993) observou comportamento quadrático semelhante, testando o efeito de quatro lâminas, 60, 80, 100 e 120 % da evaporação diária, obtida do tanque Classe A na cultura da alface tipo lisa, irrigada por gotejamento, e obteve maior valor de matéria fresca total de 224 g.planta⁻¹ com o nível de evaporação 120%, contabilizando uma lâmina total de 226 mm de água.

Lima (2007), analisando o desempenho da cultivar Regina em sistema de produção orgânico, sob influência de diferentes lâminas de irrigação, baseado

na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,25; 0,50; 0,80; 1,00 e 1,15), aplicados por aspersão convencional, obteve resposta quadrática para massa fresca total com uma lâmina de 146,7 mm, equivalente a 115% da lâmina evaporada do Tanque Classe A, tendo alcançado valor máximo de 368 g.planta⁻¹.

Comportamento semelhante foi encontrado por Andrade Júnior et al. (1992), avaliando o efeito de quatro níveis de evaporação, baseado na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,5; 0,75; 1,0; e 1,25), aplicados por microaspersão em alface, obtiveram resposta quadrática para massa fresca da cabeça comercial, tendo obtido valor máximo de 184 g, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA.

Observa-se pela curva que houve redução na MFT e MFCC com a aplicação da lâmina de 285,63 mm, correspondente ao tratamento de 1,5 da lâmina evaporada (W5). Esse fato deve, possivelmente, ter ocorrido devido ao excesso de umidade em torno do sistema radicular da planta, dificultando o arejamento, provocando assim, anomalias de origem fisiológicas, bem como a lixiviação de nutrientes. Desta forma, onera a cultura, sem nenhum benefício, representando também um desperdício de água e energia, dois sérios problemas no mundo atual (Filgueira, 2003).

4.3 Avaliação da altura de plantas e número de folhas internas

A análise de variância (Tabela 5) indica que as lâminas de irrigação influenciaram os resultados das características altura de plantas e número de folhas internas da cabeça comercial com significância de 5% de probabilidade pelo teste F.

TABELA 5 Resumo das análises de variância e de regressão quanto à altura de plantas (AP) e número de folhas internas (NFI), em função diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Fonte de Variação	G.L.	Q.M.	
		AP	NFI
Lâmina	4	3,9676 *	9,5174 *
Bloco	3	0,2777 ^{ns}	1,0208 ^{ns}
Resíduo	12	0,9913	2,8704
Média	-	17,34	13,56
C.V. (%)	-	5,75	12,50
Linear	1	8,7591 *	4,9503 ^{ns}
Quadrática	1	6,0397 *	28,4644 *
Desvios	2	0,8318 ^{ns}	0,0173 ^{ns}
Resíduo	12	0,9913	2,8704

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, * e ** – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Observa-se, na Tabela 5, que a variação da altura de plantas pode ser explicada por uma regressão linear simples ou quadrática, com o nível de significância de 5%, tendo a segunda opção apresentado maior coeficiente de determinação (R^2), como pode ser visto na Figura 10. O efeito quadrático da aplicação de água no solo apresentou um acréscimo no comprimento vertical da planta de alface, à medida que se aumentaram as quantidades de água aplicadas, até a lâmina de 213,5 mm, que equivale a 106% da lâmina de reposição. Essa lâmina proporcionou a maior altura de planta 18 cm, em que 93,25% das variações ocorridas na altura em função das lâminas de água são explicadas pela regressão quadrática. Assim, a umidade no solo favoreceu, de forma direta, o desenvolvimento vegetativo dessa cultura, até certo ponto, e a partir daí o acréscimo da lâmina de irrigação reduziu a altura de planta.

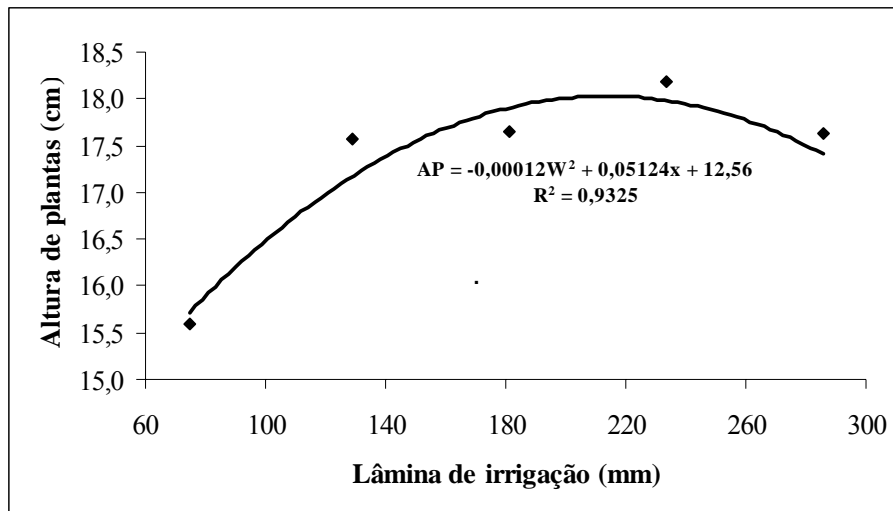


FIGURA 10 Valores médios, observados e estimados, da altura de plantas (AP), em função de lâminas de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Comportamento semelhante foi encontrado por Silva (2005) que, avaliando o efeito de quatro lâminas de irrigação (35, 70, 100 e 135 % da evaporação diária, obtida de um minitanque) na cultura da alface americana, irrigada por gotejamento, obteve um efeito quadrático para altura de plantas em função das diferentes lâminas, sendo o maior valor de altura de plantas 22,51 cm, alcançado com uma lâmina de 184,75 mm, equivalendo a 99,15% da lâmina de reposição. Observa-se que o fator de reposição está bem próximo do obtido nesse trabalho para a altura de plantas.

Santos (2002) conclui que a absorção e o transporte de íons estão diretamente relacionados com o teor de umidade do solo, influenciando diretamente na produção e acúmulo de fotoassimilados. Logo, solos com déficit de água (redução da absorção de nitrogênio) ou excesso de umidade (diminuição dos espaços porosos do solo), resultam em menor desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, menor altura de plantas. Possivelmente, o excesso de

umidade proporcionado por uma lâmina superior a 213,5 mm pode ter influenciado na diminuição da altura de plantas.

A variável número de folhas internas da cabeça comercial apresentou uma resposta quadrática em relação às lâminas de irrigação, sendo que 87,77% das variações ocorridas no número de folhas são explicadas pela regressão quadrática, apresentada na Figura 11. Houve um acréscimo no número de folhas internas, à medida que se aumentaram as quantidades de água aplicadas, até a lâmina de 197,2 mm, equivalente a 98% da lâmina de reposição. Para esta lâmina, o número máximo de folhas foi de 15, sendo a média 13 folhas por planta.

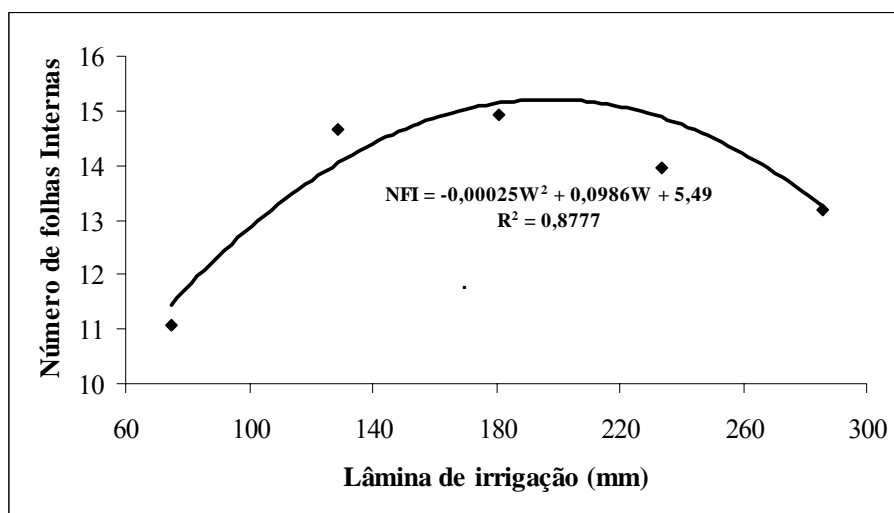


FIGURA 11 Valores médios, observados e estimados, do número de folhas internas (NFI), em função de lâminas de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Lima (2007), analisando o desempenho da cultivar Regina em sistema de produção orgânico, sob influência de diferentes lâminas de irrigação, baseado na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,25; 0,50; 0,80; 1,00 e 1,15),

aplicados por aspersão convencional, obteve melhores resultados em número de folhas para os níveis de 80 e 100%, concluindo que o nível de 100% de reposição foi parcialmente superior, apresentando uma lâmina total de 134,7 mm.

Santos (2002), estudando o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o comportamento produtivo da alface americana, cv. *Raider*, em ambiente protegido, encontrou o máximo de 22,25 folhas internas por planta para a tensão de 15 kPa com uma lâmina de água aplicada de 152,7 mm.

Mota (1999) comenta que se a cabeça da alface americana estiver compacta, o aumento no número das folhas internas é uma característica desejável para a indústria, pois favorece o tamanho da cabeça comercial, bem como o aumento de sua massa.

O comportamento quadrático do número de folhas, atingindo seu ponto máximo, na influência de quantidades crescentes de aplicação água, sendo que a partir deste o valor começa a diminuir. No entanto, esse ápice é variável, dependendo da cultivar e das condições edafoclimáticas de cada região.

4.4 Circunferência da cabeça comercial, massa fresca do talo e massa do sistema radicular da planta

As lâminas de irrigação exerceram influencia significativa a 5% para as variáveis circunferência da cabeça comercial e massa fresca do talo, pelo teste F, enquanto que a massa fresca do sistema radicular refletiu significância a 1%, como pode ser observado na Tabela 6.

TABELA 6 Resumo das análises de variância e de regressão quanto à circunferência da cabeça comercial (CCC), massa fresca do talo (MFTa) e massa fresca do sistema radicular (MFSR), em função de diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Fonte de Variação	G.L.	Q.M.		
		CCC	MFTa	MFSR
Lâmina	4	65,5899 *	137,1062 *	29,4720 **
Bloco	3	31,9393 ^{ns}	16,1072 ^{ns}	0,5173 ^{ns}
Resíduo	12	17,2666	36,8832	2,2573
Média	-	51,83	33,56	11,24
C.V. (%)	-	8,02	18,10	13,37
Linear	1	12,9633 ^{ns}	230,6895 *	56,4755 **
Quadrática	1	237,36866 **	222,2056 *	54,2351 **
Desvios	2	6,0139 ^{ns}	47,7648 ^{ns}	3,5886 ^{ns}
Resíduo	12	17,2666	36,8832	2,2573

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, * e ** – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

De acordo com os resultados da análise de variância, a circunferência da cabeça comercial apresentou uma resposta quadrática em relação às lâminas de irrigação, sendo que 95,42% das variações ocorridas na circunferência da cabeça em função das lâminas de irrigação são explicadas pela regressão quadrática, apresentada na Figura 12. Houve um acréscimo na circunferência da cabeça à medida que se aumentaram as quantidades de água aplicadas, até a lâmina de 197,4 mm, equivalente a 98% da lâmina de reposição. Para esta lâmina, o valor máximo da circunferência foi de 57,35 cm, sendo a média 51,83 cm.

A circunferência da cabeça comercial é uma das principais características da indústria de beneficiamento para obter elevados rendimentos no processamento; logo, esta característica serve como parâmetro de seleção no momento de aquisição do produto pelos fornecedores. Esta mesma característica é uma importante para a cultura da alface americana, principalmente quando se refere à preferência do consumidor para a aquisição do produto (Bueno, 1998).

Silva (2005) obteve o mesmo efeito quadrático para circunferência da cabeça comercial da alface americana, cujo valor máximo de circunferência foi de 44,94 cm, com uma lâmina total de água de 170,81 mm, correspondente a 91,66% da lâmina de reposição.

Yuri (2000) obteve 46,6 e 49,1cm como sendo as circunferências médias da cabeça comercial da cultivar *Raider* em dois locais do sul de Minas (Santo Antônio do Amparo e Boa Esperança), cultivadas em campo, a céu aberto, no período compreendido entre os meses de março e maio.

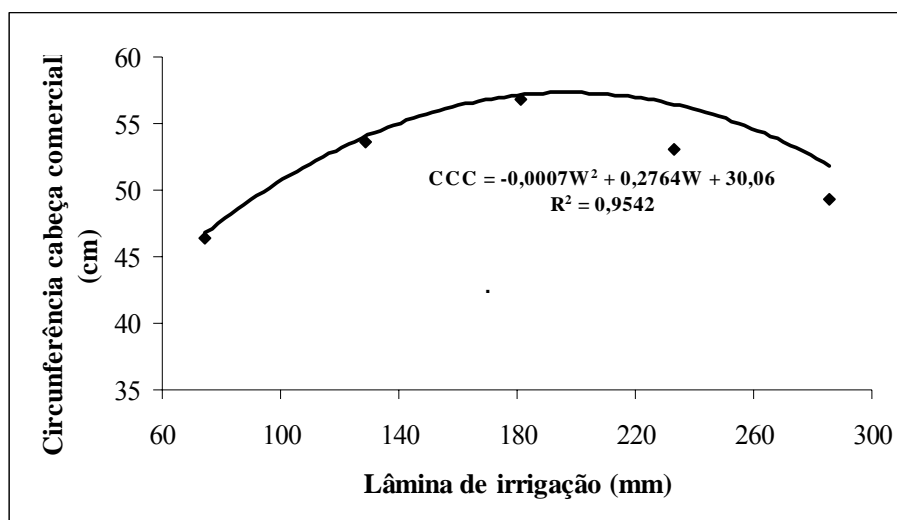


FIGURA 12 Valores médios, observados e estimados, da circunferência da cabeça comercial (CCC), em função de diferentes lâminas de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Verifica-se pela análise de variância que a massa fresca do talo pode ser explicada por uma regressão linear simples ou quadrática, com o nível de significância de 5%, tendo a segunda opção apresentado maior coeficiente de determinação (R^2), como pode ser visto na Figura 13. A resposta quadrática da aplicação de água apresentou um acréscimo na massa fresca do talo da planta de

alface, à medida que se aumentaram as quantidades de água aplicadas, até a lâmina de 216,1 mm, que equivale a 107,77% da lâmina de reposição. O valor médio de massa fresca de do talo foi de 18,10 g.

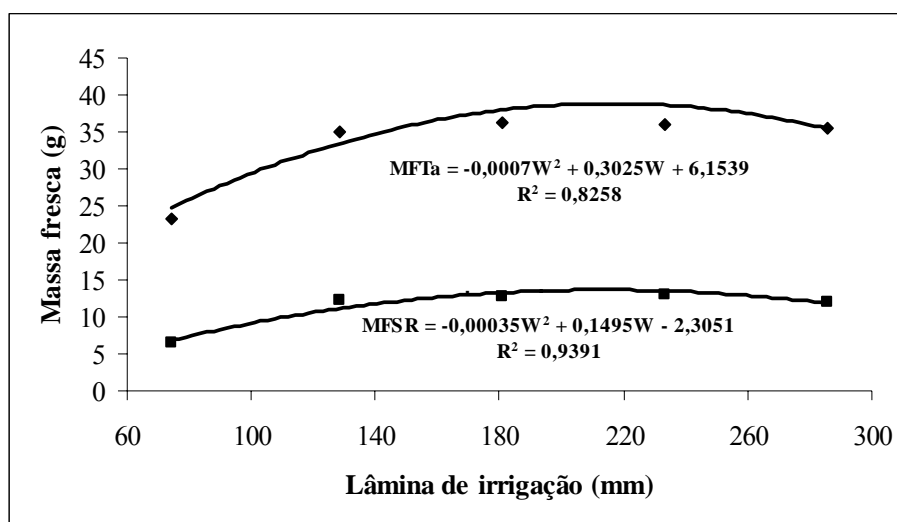


FIGURA 13 Valores médios, observados e estimados, de massa fresca talo (MFTa) e massa fresca do sistema radicular (MFSR) de alface americana, em função das lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

A massa fresca do sistema radicular pode ser explicada por ajuste de regressão linear simples ou quadrática, com o nível de significância de 1%, tendo a segunda opção apresentado maior coeficiente de determinação (R^2), como pode ser visto na Figura 13. É possível perceber que houve um acréscimo na massa fresca do sistema radicular, à medida que se aumentaram as quantidades de água aplicadas, até a lâmina de 213,6 mm, que equivale a 106,20% da lâmina de reposição. O valor médio de massa fresca do sistema radicular foi de 11,24 g.

Observa-se pelos resultados das características analisadas anteriormente, que o comportamento quadrático do sistema radicular foi semelhante à medida que se aumentava a lâmina de reposição, sendo o desempenho deste parâmetro essencial para suprir a parte aérea da planta de água e nutrientes; logo, a lâmina de 213,6 mm proporcionou condições ótimas de arejamento e umidade de solo ao bom desenvolvimento dessa característica.

4.5 Produtividade total e comercial

A produtividade total e comercial foram significativamente afetadas pelo efeito das lâminas de água aplicadas no solo, a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F (Tabela 7), respectivamente.

TABELA 7 Resumo das análises de variância e de regressão quanto à produtividade total (PT) e da cabeça comercial (PCC), em função de diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Fonte de Variação	G.L.	Q.M.	
		PT	PCC
Lâmina	4	313149255,3 *	163470154,6 **
Bloco	3	23664591,6 ^{ns}	23168628,2 ^{ns}
Resíduo	12	66829804,2	21445637,3
Média	-	57586,40	29763,55
C.V. (%)	-	14,20	15,56
Linear	1	422880600,8 *	209439328,4 **
Quadrática	1	757393674,1 **	362367828,5 **
Desvios	2	36161373,2 ^{ns}	41036730,8 ^{ns}
Resíduo	12	66829804,2	21445637,3

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, * e ** – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

No caso da produtividade total e comercial, as variações ocorridas podem ser explicadas por uma regressão linear simples ou quadrática, tendo a segunda opção apresentado maior coeficiente de determinação (R^2) para as duas variáveis, como pode ser visto na Figura 14. A resposta quadrática indica que

houve um acréscimo na produtividade total e comercial da cabeça, à medida que se aumentaram as lâminas de irrigação. O ponto máximo para a produtividade total foi estimado com uma lâmina de 203,9 mm, equivalente a uma produtividade para esta variável de 65.578 kg.ha⁻¹. Já para a produtividade da cabeça comercial, o ponto máximo foi atingido com a aplicação da lâmina de irrigação de 204,3 mm, resultando em uma produtividade para este parâmetro de 35.308 kg.ha⁻¹.

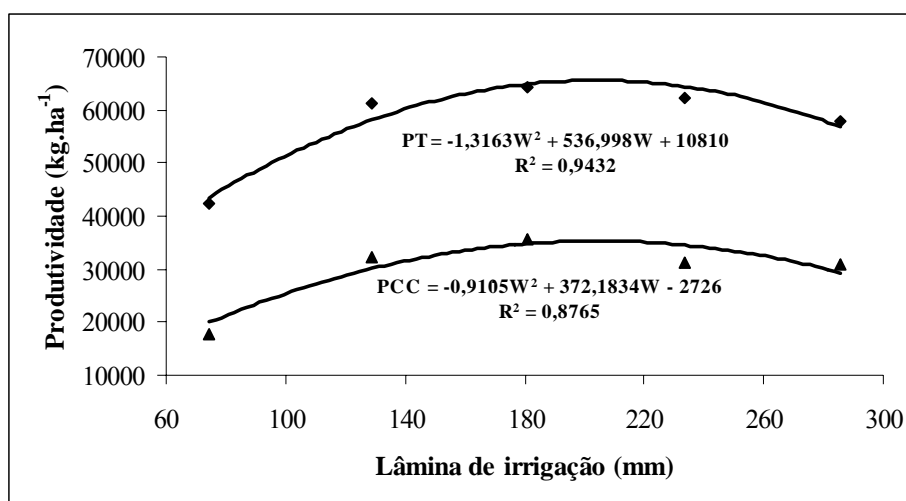


FIGURA 13 Valores médios, observados e estimados, da produtividade total (PT) e da cabeça comercial (PCC) de alface americana, em função das lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Nota-se que o comportamento da produtividade total e comercial foi semelhante ao observado para massa fresca total e comercial, apresentando resposta quadrática, à medida que se aumentaram os níveis de água aplicados. Isto ocorre porque a produtividade é a relação entre a massa fresca e a área ocupada pela cultura.

Os resultados encontrados neste trabalho estão abaixo do encontrado por Santos (2002) que obteve, para produtividade total e comercial, valores máximos

de 71.180 e 49.380 kg.ha⁻¹, irrigando-se quando a tensão de água no solo, a 15 cm de profundidade, estava em torno de 15 kPa. A lâmina total de irrigação fornecida foi de 152,7 mm.

Vilas-Boas (2006) encontrou valores máximos de produtividade total e comercial em experimento com alface crespa, irrigado por gotejamento, de 36.484 e 33.225 kg.ha⁻¹, com aplicação das lâminas 249,1 e 244,9 mm para produtividade total e comercial, respectivamente.

Andrade Júnior & Klar (1997) encontraram valor máximo 90 t.ha⁻¹, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA. Esse resultado foi superior ao encontrado neste trabalho, podendo ser justificado pela cultivar utilizada pelos autores e também pela variação ambiental da região onde foi realizado o experimento.

Hamada (1993), testando o efeito de quatro lâminas (60, 80, 100 e 120 % da evaporação diária, obtida do tanque Classe A) na cultura da alface, cultivar Floresta, irrigada por gotejo, obteve maior valor de produtividade total 3.582,6 g.m⁻² com o nível de evaporação de 120%.

Pelúzio (1992), citado por Andrade Júnior & Klar (1997), comenta que a aplicação do nível máximo testado de 1,4 da ECA não proporcionou a ocorrência do efeito negativo por excesso de água devido, provavelmente, às características físicas do solo, que por ser de textura arenosa permitiu a perda de água por percolação profunda, além de reter pouca água disponível.

4.6 Eficiência no uso da água

O consumo intensivo de água pelas olerícolas, neste caso a alface, que é uma planta extremamente sensível às variações de umidade de solo, motivo explicado através de sua ampla área fotossintetizante, é essencial para obtenção de altos índices produtivos. Diante disso, e levando em consideração a

viabilidade econômica da produção, o planejamento da irrigação é fundamental, principalmente em lugares onde este recurso é um fator limitante.

É importante saber se a água aplicada está sendo utilizada pela planta, caso contrário, o fornecimento a mais de água estará sendo desnecessário, somente aumentando os custos da produção, quando se leva em consideração o custo da água no processo produtivo (Marques, 2003).

Pelo resultado da análise de variância (Tabela 8), a eficiência no uso da água foi influenciada significativamente pelas lâminas de irrigação aplicadas, pelo teste F a 1% de probabilidade.

TABELA 8 Resumo da análise de variância e de regressão para eficiência no uso da água (EUA), sob diferentes lâminas de irrigação na cultura da alface. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Fonte de Variação	G.L.	Q.M.
		EUA
Lâmina	4	88955,4 **
Bloco	3	2863,78 ^{ns}
Resíduo	12	5516,6500
Média	-	373,55
C.V. (%)	-	19,88
Linear	1	352042,17 **
Quadrática	1	1991,43 ^{ns}
Desvios	2	894,04 ^{ns}
Resíduo	12	5516,6500

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, * e ** – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

De acordo com a Figura 15, verifica-se que a eficiência no uso da água apresentou efeito linear decrescente com as lâminas de irrigação aplicadas a 1% de significância. À medida que os níveis de irrigação aumentaram, ocorreu uma diminuição na eficiência no uso da água. Ainda pode-se observar que 98,94% das variações ocorridas, na eficiência no uso da água em função das lâminas de irrigação aplicadas, são explicadas pela regressão linear simples.

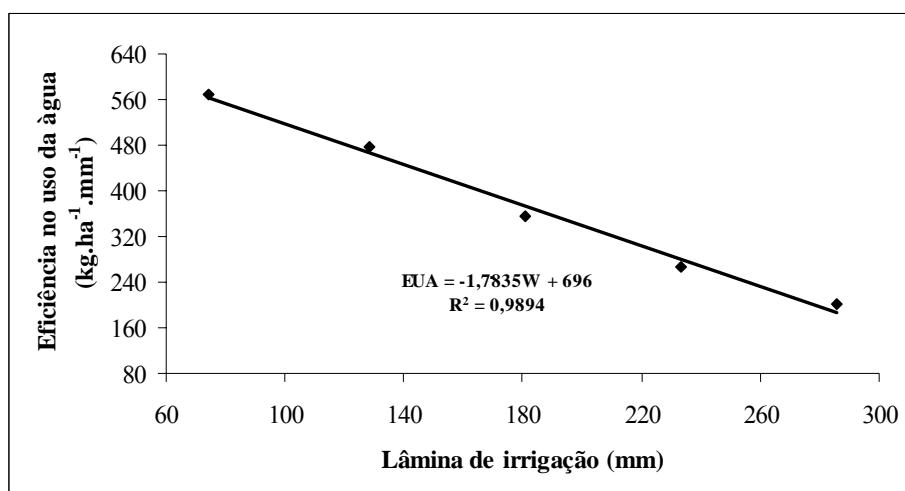


FIGURA 15 Valores médios, observados e estimados, da eficiência no uso da água (EUA), em função das lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2008.

O mesmo comportamento foi verificado na cultura da alface por Andrade Júnior et al. (1992), Andrade Júnior & Klar (1997) e Vilas-Boas (2006), quando da utilização de lâminas maiores a eficiência tende a decrescer até seu ponto mínimo, atingido seu máximo com lâminas menores.

Sá (2004), trabalhando com tensões de água no solo em ambiente protegido, cultivado com tomate, observou que a EUA apresentou resposta linear crescente, com o aumento dos valores de tensão.

Os valores de eficiência no uso da água variaram de 563,07 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ a 186,51 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, com as lâminas de irrigação de 74,53 mm e 285,65 mm, respectivamente. Observa-se ainda que, para a lâmina de 181,02 mm, correspondente a 90% da lâmina de reposição, obteve um rendimento de 373,15 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, esta última considerada como ponto médio dentro do intervalo válido para essas observações.

4.7 Lâmina ótima de irrigação

Considerando a hipótese básica de que $L(w)$ possui um valor máximo, de acordo com a Equação 8, e que a água é o único fator variável, foram obtidos os produtos físicos marginais da água para o cultivo de alface.

Isso foi possível derivando-se a função de produtividade comercial, obtendo, assim, o produto físico marginal (PFMa) e, em seguida, igualando-se este indicador econômico à relação de preços entre fator lâmina de água e alface, como descrito na Equação 12.

$$\text{➤ } Y = PCC = -0,9105W^2 + 372,1834W - 2726$$

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = -1,821W + 372,1834 = \frac{P_W}{P_Y} \quad (12)$$

Observa-se, na Tabela 9, que o PFMa é inicialmente positivo e decresce à medida que se aumenta a lâmina total de irrigação aplicada ao solo.

TABELA 9 Produto físico marginal da água (PFMa) para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Lâminas de irrigação (mm)	Produto Físico Marginal da água (PFMa)
74,53	236,464
128,63	137,948
181,02	42,546
233,37	-52,783
285,65	-147,985

Quando o valor do PFMa atinge o valor zero, significa que a lâmina de irrigação aplicada proporcionou a produtividade física máxima. Sendo obtida igualando-se a primeira derivada a zero (PFMa = 0), representando 35.308

kg.ha⁻¹, aplicando uma lâmina de irrigação de 204,3 mm. A partir do ponto em que o PFMa apresentou valor nulo, a aplicação de maior lâmina de irrigação conduziu ao valor de produto físico marginal negativo, indicando ser antieconômico o uso dessa quantidade de água, para as condições tecnológicas utilizadas neste experimento.

A lâmina ótima de irrigação, foi calculada igualando a expressão do PFMa à relação de preços do fator variável (P_w) e do produto (P_y), como expresso na Equação 12, obtendo-se, desta forma, a máxima eficiência econômica.

Na Figura 16 obteve-se o custo e o valor da produção da alface americana, para o mês de junho de 2008. Para esse mesmo mês, a lâmina com que se obteve maior retorno econômico ou lucro foi de 203,9 mm (101,4% de reposição de água), resultando em uma produtividade de 35.308 kg.ha⁻¹.

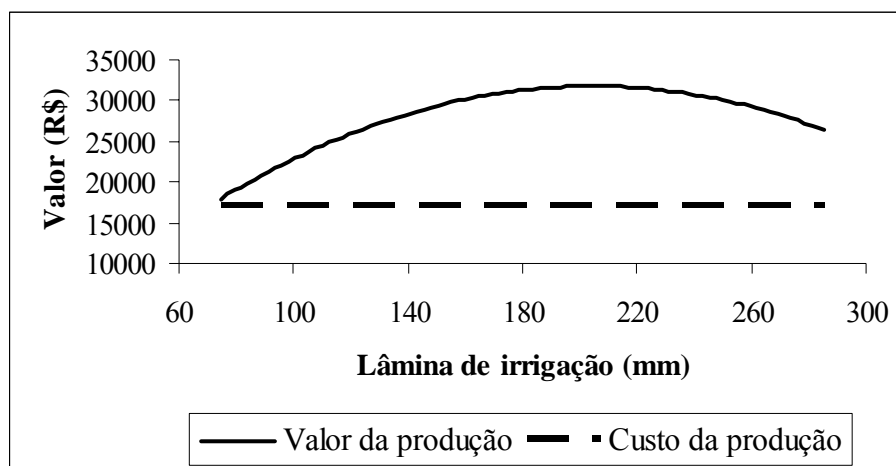


FIGURA 16 Custo e valor da produção da alface americana em função da lâmina de irrigação para o mês de junho de 2008. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Fazendo uma análise comparativa entre a lâmina ótima e a que gera a produtividade física máxima, observam-se valores aproximadamente iguais; logo, ao aplicar uma lâmina de água que proporcione a máxima produção física será suficiente para alcançar uma produção economicamente viável. Essa aproximação se deve principalmente ao tipo de sistema de irrigação que está sendo utilizado, pois como se trata de um sistema de irrigação localizado que se caracteriza por trabalhar com baixa pressão e vazão, possivelmente, irá proporcionar valores reduzidos do preço da água. Ainda, esse resultado indica que a irrigação deve ser feita de forma a garantir o máximo desenvolvimento vegetativo da cultura, sob ótimas condições de umidade de solo.

Visando atender diferentes relações P_w/P_y , foi confeccionado um gráfico dos valores de lâmina total de água ótima em função da relação de preços entre fator água e da alface (P_w/P_y), (Figura 17). Verifica-se que a lâmina ótima decresce à medida que se aumenta a relação entre preços (P_w/P_y). Assim, considerando essa tendência, variando o preço da água e mantendo fixo o da alface, a lâmina econômica total de irrigação a aplicar deve ser menor, para que o produtor obtenha o lucro máximo na atividade.

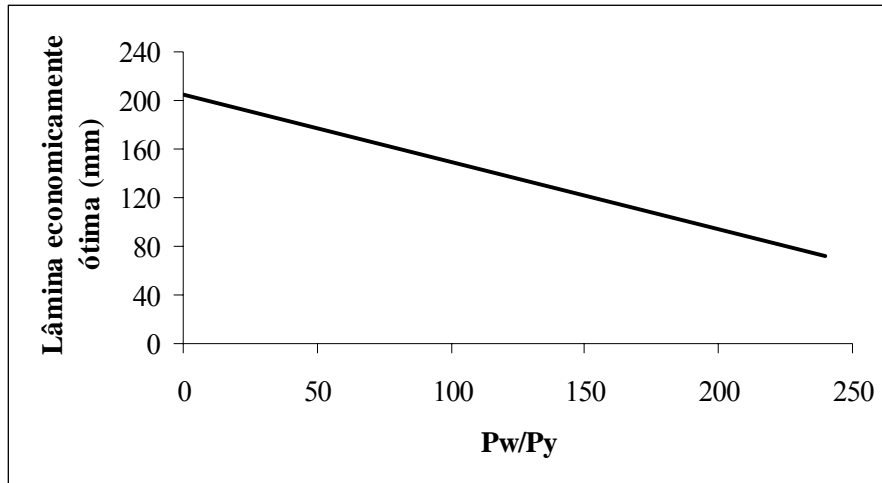


FIGURA 17 Lâmina total de água economicamente ótima em função da relação entre o preço da água e o preço da alface para a produtividade comercial da alface americana. UFLA, Lavras, MG, 2008.

5 CONCLUSÕES

Diante das condições em que o experimento foi desenvolvido e dos resultados obtidos para a cultura da alface americana pode-se concluir que:

- a) a maior eficiência no uso da água ($563,07 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) ocorreu com a aplicação da lâmina de irrigação de 74,53 mm, correspondente ao fator de reposição de água de 30%;
- b) a máxima produtividade comercial, $35.308 \text{ kg.ha}^{-1}$, foi estimada com a aplicação da lâmina de 204,3 mm, correspondente ao fator de reposição de 101%;
- c) considerando o preço do fator água ($\text{R\$ } 0,67 \text{ mm}^{-1}$) e o preço da alface americana ($\text{R\$ } 0,90 \text{ kg}^{-1}$), a lâmina economicamente ótima foi 203,9 mm, resultando em uma produtividade comercial praticamente igual à máxima física.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**: alface. São Paulo: FNP, 2005. 178 p.
- AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**: alface. São Paulo: FNP, 2008. 345 p.
- 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 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 25-32.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A**. 1994. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; DUARTE, R. L. R.; RIBEIRO, V. Q. **Níveis de irrigação na cultura da alface**. Teresina: Embrapa-UEPAE, 1992. 16 p. (Boletim de pesquisa, 13).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; KLAR, A. E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 31-38, jan./ago. 1997.
- BERNARDO, S. Irrigação e produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 117-132.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normas climatológicas 1965-1990**. Brasília, DF, 1992. 84 p.

BUENO, C. R. **Adubação nitrogenada em cobertura via fertirrigação por gotejamento para a alface americana em ambiente protegido**. 1998. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, micro aspersión, exudación**. 3. ed. Madrid: Mundi, 1996. 511 p.

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

CARVALHO, J. A. **Coefficientes de cultura, avaliação econômica da produção e análise do crescimento da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada**. 1995. 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARVALHO, L. G. de; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. M. da. Determinação da umidade na capacidade de campo *in situ* de um Latossolo Roxo Distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 7, n. 1, p. 1-97, dez. 1996.

CERMEÑO, Z. S. **Estufas: instalações e manejo**. Lisboa: Litexa, 1990. 355 p.

CONTI, J. H. **Caracterização de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adaptadas aos cultivos de inverno e verão**. 1994. 107 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPANS, J. W.; PARLANGE, M. B. **Programa SWRC: soil-water retention curve**. Version 1.00. Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995. Software.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, RJ, 1999. 412 p.

EVANGELISTA, A. W. P. **Avaliação de métodos de determinação da evapotranspiração, no interior de casa de vegetação, em Lavras-MG.** 1999. 79 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FERGUSON, C. E. **Microeconomia.** 13. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1988. 610 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: Sociedade Internacional de Biometria, 2000. p. 255-258.

FIGUERÊDO, S. F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão de água no solo para a cultura do feijoeiro.** 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

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

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 412 p.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação.** 1986. 133 f. Tese (Doutorado Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

FRIZONE, J. A. Funções de resposta do feijoeiro ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 1987. p. 123-133.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, p. 288-291, 1980.

GOMES, E. P. **Cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes lâminas de água aplicadas através de irrigação por gotejamento superficial e**

subsuperficial. 2001. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

GOMES, L. A. A.; SILVA, E. C. da; FAQUIN, V. Recomendações de adubação para cultivos em ambiente protegido. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 99-110.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M. A. **Manejo de irrigação**. Lavras: UFLA, 1998. p. 133-238.

GONÇALVES, A. O. **Efeitos da cobertura do solo com filme de polietileno colorido no crescimento e no consumo de água da cultura da alface (*Lactuca sativa*, L.) cultivada em estufa**. 2002. 62 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

GORNAT, B.; SILVA, W. L. V. Sistemas de controle e automação da irrigação. **ITEM**, Brasília, v. 41, p. 20-24, abr. 1990.

GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. de. Tensão de água no solo: um critério viável para a irrigação do trigo na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 631-636, abr. 1994.

HAMADA, E. **Desenvolvimento e produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.), submetida a diferentes lâminas de irrigação, através da irrigação por gotejamento**. 1993. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação da alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. da. (Ed.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 141-148.

LIMA, M. E. de. **Avaliação do desempenho da cultura da alface (*Lactuca Sativa*) cultivada em sistema orgânico de produção, sob diferentes lâminas de irrigação e coberturas do solo**. 2007. 92 p. Dissertação (Mestrado em fitotecnica) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

MALUF, W. R. **Produção de hortaliças I**. Lavras: UFLA, 1996. 58 p.

MALUF, W. R. **Produção de hortaliças I**. Lavras: UFLA. 2001. 70 p. Apostila.

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

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa/CNPH, 1986. 12 p. (Circular técnica, 2).

MARQUES, D. C. **Produção da berinjela (*Solanum melongena* L.) irrigada com diferentes lâminas e concentrações de sais na água**. 2003. 55 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, F. A. C.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, A. R.; VILLA-NOVA, N. A. Comparação entre a evaporação em tanque Classe A padrão e em minitanque, instalados em estufa e estação meteorológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: ESALQ-USP, 1997. p. 228-230.

MONTEIRO, R. O. C. **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no vale do Curu, CE**. 2004. 87 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

MOTA, J. H. **Efeito do Cloreto de Potássio via fertirrigação na produção de alface americana em cultivo protegido**. 1999. 46 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NAGAI, H.; LISBÃO, R. S. Observação sobre resistência ao calor em alface (*Lactuca sativa* L.). **Revista de Olericultura**, Campinas, v. 18, p. 7-13, 1980.

OLIVEIRA, F. A.; CAMPOS, T. G. da; OLIVEIRA, B. C. Efeito de tensões de água no solo sobre o rendimento do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1905-1911, out. 1999.

OLIVEIRA, S. L. **Funções de resposta do milho doce ao uso de irrigação e nitrogênio**. 1993. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PEREIRA, A. R.; VILLA-NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, J. R. D. **Variabilidade técnica e econômica das aplicações de água e nitrogênio no cultivo de gladiolo (*Gladiolus x grandiflorus* L.)**. 2005. 80 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FOLEGATI, M. V. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, p. 121-194.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw-hill do Brasil, 1978. 119 p.

RODRIGUES, A. B.; MARTINS, M. I. E. G.; ARAÚJO, J. C. C. Avaliação econômica da produção de alface em estufa. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 27-33, 1997.

SÁ, N. S. A. **Cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo**. 2004. 71 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SANTOS, S. R. **Alface americana cultivada em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo**. 2002. 79 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCATOLINI, M. E. **Estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos**. 1996. 71 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 37-41, 1997.

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

SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição**: fator de saúde e desenvolvimento. Campinas: Unicamp, 1987. 387 p.

SILVA, P. A. M. **Análise técnica e econômica da aplicação de água e nitrogênio na cultura da alface americana**. 2005. 93 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poço de Caldas, MG. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

SOUZA, J. A. de; SOUZA, R. J. de; COLLICCHIO, E.; GOMES, L. A. A.; SANTOS, H. S. **Instruções práticas para construção de estufas “modelo Ana Dias”**. Lavras: UFLA, 1994. 22 p. (Circular técnica, 17).

VECCHIA, P. T. D.; KOCH, P. S. História e perspectivas da produção de hortaliças em ambiente protegido no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 5-10, set./dez. 1999.

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

VOLPE, C. A.; CHURATA-MASCA, M. G. C. **Manejo da irrigação em hortaliças**: método do tanque Classe A. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 19 p.

YURI, J. E. **Avaliação de cultivares de alface americana em duas épocas de plantio em dois locais do Sul de Minas Gerais**. 2000. 51 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

YURI, J. E.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J.; RESENDE, G. M.; FREITAS, S. A. C.; RODRÍGUEZ JÚNIOR, J. C. **Alface americana**: cultivo comercial. Lavras: UFLA, 2002. 51 p. (Textos acadêmicos – Olericultura).

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; LOPES, C. A.; VALE, F. X. R. do. Doenças de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 114-125, set./dez. 1999.

ZOCOLER, J. L. Análise econômica de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, p. 121-194.