

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FREQÜÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO
HIDROPÔNICO DA ALFACE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gean Lopes da Luz

SANTA MARIA, RS, BRASIL

2008

FREQÜÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO HIDROPÔNICO DA ALFACE

por

Gean Lopes da Luz

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Sandro Luís Petter Medeiros

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

FREQÜÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO HIDROPÔNICO DA ALFACE

elaborada por
Gean Lopes da Luz

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Sandro Luís Petter Medeiros, Dr.
(Presidente/Orientador)

José Domingos Jacques Leão, Dr. (UNICRUZ)

Paulo Augusto Manfron, Dr./Pós (UFSM)

Santa Maria, 21 de fevereiro de 2008.

À Deus por iluminar a minha vida em todos os momentos.

OFEREÇO

Aos meus pais Cezar Rodrigues da Luz e Maria O. Lopes da Luz e à minha irmã Vanessa Lopes da Luz, por serem alicerces na minha vida, pelo apoio, carinho e incentivo.

À minha noiva Katiane Laura Balzan, pela força, companheirismo, amor, dedicação e compreensão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de realização do curso.

Ao curso de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade a mim concedida.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Dr. Sandro Luís Petter Medeiros pela orientação, ensinamentos, companheirismo e contribuição na minha formação acadêmica.

Aos professores Dr. Paulo Augusto Manfron e Dr. Jerônimo Luiz Andriolo pela co-orientação, amizade e incentivo.

À parceira de batalha Elis Borcioni, pela amizade e pelo auxílio incansável na condução dos experimentos.

Aos meus amigos Cleber José Tonetto, Edgar César Durante, Evandro Binotto Fagan, João Colpo, Liziany Müller Medeiros, Paulo de Tarso, e outros que involuntariamente foram omitidos, obrigado pelo auxílio nos experimentos e análises, pela amizade e companheirismo.

Aos bolsistas e amigos Alan Dischkaln do Amaral, Andrieli Hedlund Bandeira, Bruno Lago, Getúlio Pilecco, Katiule Pereira de Moraes, Lenise Mentges, Mike Guzmán Torres, Ticiane François, Fernanda Mugnol e Nadiesca Amaral pelo auxílio na realização dos experimentos, amizade e pelos momentos de descontração proporcionados.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, pela amizade, momentos de descontração e colaboração na realização do trabalho.

A todos que de alguma forma auxiliaram na realização deste trabalho.

À Deus que vem iluminando meu caminho em todos os momentos.

*"Se os seus pensamentos são positivos, tudo em
sua volta será radiante como o sol."*

(Reimivaldo Ramos)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

FREQÜÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO HIDROPÔNICO DA ALFACE

AUTOR: GEAN LOPES DA LUZ

ORIENTADOR: SANDRO LUÍS PETTER MEDEIROS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 21 de fevereiro de 2008.

O objetivo do trabalho foi verificar a influência de quatro intervalos entre irrigações sobre a produção de alface em hidroponia e a retenção de solução nutritiva, além de determinar o intervalo entre irrigações mais adequado em cada época de cultivo. Foram realizados experimentos em quatro épocas durante um ano, conduzidos em hidroponia no sistema de fluxo laminar de nutrientes (NFT), sob estufa plástica. Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4, constituído por quatro intervalos entre irrigações (T15 - 15 min de irrigação a intervalos de 15 min; T30 - 15 min de irrigação a intervalos de 30 min; T45 - 15 min de irrigação a intervalos de 45 min e T60 - 15 min de irrigação a intervalos de 60 min) e quatro épocas de cultivo (primavera, verão, outono e inverno). Foram realizadas análises de fitomassa seca de folhas (FMSF), caule (FMSC), raízes (FMSR) e total (FMST), índice de área foliar (IAF), volume do sistema radicular (VR) e retenção de solução nutritiva pelo sistema radicular (RET). Também foram determinadas a temperatura do ar e a radiação global incidente no interior da estufa, bem como o consumo de energia elétrica em cada tratamento. Observaram-se diferenças significativas entre tratamentos ($P < 0,05$) apenas para FMSR e VR. Entre as épocas de cultivo foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) em todas as variáveis analisadas, as quais são atribuídas às condições meteorológicas distintas de cada cultivo. Não houve interação entre os fatores para nenhuma variável avaliada. A produção de FMSF e de área foliar da alface não foi prejudicada pela ampliação do intervalo entre irrigações desde 15 até 60 min. Ocorreu incremento da FMSR e do VR das plantas com a ampliação do intervalo entre irrigações, promovendo retenção da solução nutritiva. Essa retenção permitiu a ampliação do intervalo entre irrigações sem a ocorrência de deficiência hídrica. Em todas as épocas, o tratamento T60 foi o mais adequado, por permitir uma economia de energia elétrica de até 53,57% sem prejuízos à produtividade da cultura.

Palavras-chave: irrigação, hidroponia, sistema radicular, *Lactuca sativa* L.

ABSTRACT

Master Dissertation

Agronomy Post-Graduation Program

Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

FREQÜÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO HIDROPÔNICO DA ALFACE

AUTHOR: GEAN LOPES DA LUZ

ADVISER: SANDRO LUÍS PETTER MEDEIROS

Date of Defense's Place: Santa Maria, February 21st, 2008.

The objective of the work was to verify the influence of four intervals between the irrigations on the production of lettuce in hydroponics system and the retention of nutrient solution, besides more determining the best interval between irrigation at each time of cultivation. The experiments were carried out at four times during one year, in the nutrient film technique (NFT), inside a polyethylene greenhouse. The experimental designer was randomized complete blocks in a factorial scheme 4x4, consisted of four intervals between irrigations (T15 - 15 min of irrigation at intervals of 15 min; T30 - 15 min of irrigation at intervals of 30 min; T45 - 15 min of irrigation at intervals of 45 min and T60 - 15 min of 60 irrigation at intervals of min) and four times of cultivation (spring, summer, autumn and winter). Had been determined the temperature and the incident global radiation inside of the greenhouse, as well as the electric energy consumption in each treatment. There were no interaction between times of cultivation and irrigation regimes for the variables dry biomass of leaves (FMSF), of steam (FMSC), of roots (FMSR) and total (FMST), leaf area index (IAF), volume of the roots (VR) and retention of nutrient solution in the roots (RET). There were significant differences among intervals between irrigations just for FMSR and VR. To times of cultivation there were significant differences for all the variables, which are attributed to the distinct meteorological conditions of each time. The FMSF and IAF were not reduced by the magnification of the interval between irrigation since 15 up to 60 min. The FMSR and the VR enlarged with the magnification of the interval between irrigation, causing retention of the nutritional solution. This retention allowed the magnification of the interval between irrigation without the incidence of water deficit. In all the times of cultivation, the T60 treatment was adjusted, showing a decrease of 53.57% in electric consumption compared to T15, without reduction in productivity.

Key words: irrigation, hydroponics system, roots, *Lactuca sativa* L.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - Variações de temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima (T_{min}) do ar e da radiação solar global incidente durante a época de primavera em alface cultivada em hidroponia..... | 33 |
| FIGURA 2 - Variações de temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima (T_{min}) do ar e da radiação solar global incidente durante a época de verão em alface cultivada em hidroponia..... | 34 |
| FIGURA 3 - Variações de temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima (T_{min}) do ar e da radiação solar global incidente durante a época de outono em alface cultivada em hidroponia..... | 35 |
| FIGURA 4 - Variações de temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima (T_{min}) do ar e da radiação solar global incidente durante a época de inverno em alface cultivada em hidroponia..... | 36 |
| FIGURA 5 - Fitomassa seca de raízes da alface cultivada em hidroponia com quatro intervalos entre irrigações (15; 30; 45 e 60 min) durante as épocas de primavera, verão, outono e inverno..... | 43 |
| FIGURA 6 - Volume de raízes da alface cultivada em hidroponia com quatro intervalos entre irrigações (15; 30; 45 e 60 min) durante as épocas de primavera, verão, outono e inverno..... | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 - Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) do quadro de análise da variância para as variáveis fitomassa seca de folhas (FMSF), índice de área foliar (IAF), fitomassa seca de caule (FMSC), fitomassa seca de raiz (FMSR), volume de raízes (VR) e retenção de solução nutritiva pelo sistema radicular (RET) de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações (15; 30; 45 e 60min), em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... | 37 |
| TABELA 2 - Valores médios de fitomassa seca de folhas (FMSF) de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... | 39 |
| TABELA 3 - Valores médios de fitomassa seca total (FMST) de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... | 39 |
| TABELA 4 - Valores médios do índice de área foliar (IAF) da alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... | 41 |
| TABELA 5 - Valores médios de fitomassa seca de caule (FMSC) de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... | 42 |
| TABELA 6 - Valores médios de fitomassa seca de raiz (FMSR) de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... | 44 |
| TABELA 7 - Valores médios do volume do sistema radicular (VR) de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... | 46 |

TABELA 8 - Valores médios de retenção de solução nutritiva (RET) por alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... 47

TABELA 9 - Valores de consumo diário de energia elétrica (Cons diário), consumo total de energia elétrica durante o período de cultivo (Cons total), custo diário da energia elétrica (CustD), custo total da energia elétrica durante o período de cultivo (CustT) e custo de energia elétrica por planta do sistema (CustP), da produção de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, 15 min (T15), 30 min (T30), 45 min (T45) e 60 min (T60), nas em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno..... 48

SIMBOLOS E ABREVIACOES

| | |
|-------------|--|
| AD | Área do disco (cm ²) |
| AF | Área folhar (cm ²) |
| CE | Condutividade elétrica (mS/cm) |
| Cons diário | Consumo diário de energia elétrica (KWh) |
| Cons total | Consumo total de energia elétrica (KWh) |
| CustD | Custo diário de energia elétrica (R\$) |
| CustT | Custo total de energia elétrica (R\$) |
| CustP | Custo de energia elétrica por planta no sistema (R\$) |
| DAT | Dias após o transplante |
| DFT | Deep film technique ou Floating |
| ETo | Evapotranspiração de Referência (mm d ⁻¹) |
| FMSC | Fitomassa seca de caule (g) |
| FMSD | Fitomassa seca de discos (g) |
| FMSF | Fitomassa seca de folhas (g) |
| FMSR | Fitomassa seca de raiz (g) |
| FMST | Fitomassa seca total (g) |
| GL | Graus de liberdade |
| IAF | Índice de área foliar |
| ND | Número de discos |
| NFT | Técnica do fluxo laminar de nutrientes |
| PAR | Radiação fotossinteticamente ativa (umol. m ⁻² .s ⁻¹) |
| pH | Potencial de hidrogênio |
| QM | Quadrado Médio |
| RET | Retenção de solução nutritiva pelo sistema radicular (ml) |
| Rg | Radiação solar global incidente |
| S | Área de domínio da planta (cm ²) |
| T15 | Tratamento com 15 min de irrigação a intervalos de 15 min |
| T30 | Tratamento com 15 min de irrigação a intervalos de 30 min |
| T45 | Tratamento com 15 min de irrigação a intervalos de 45 min |
| T60 | Tratamento com 15 min de irrigação a intervalos de 60 min |

| | |
|------|--|
| Tmáx | Temperatura máxima do ar (°C) |
| Tmín | Temperatura mínima do ar (°C) |
| VR | Volume do sistema radicular (mm ³) |

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| INTRODUÇÃO | 11 |
| REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| CONCLUSÃO | 50 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |
| ANEXOS | 59 |

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma espécie mundialmente conhecida e considerada a mais importante hortaliça folhosa. Consumida em todo o Brasil, a alface é considerada de relevante importância, tanto do ponto de vista econômico, ocupando a sexta posição dentro das hortaliças, como de consumo, pois, em termos de volume de comercialização, ocupa a oitava posição (GOTO, 1998). Além disso, é uma espécie de ciclo curto e fácil manejo, que adaptou-se bem ao cultivo hidropônico, pois alia produtividade a um rápido retorno do capital investido pelo produtor.

A hidroponia é uma técnica de cultivo vegetal que dispensa a utilização do solo ou outro substrato, na qual os elementos minerais essenciais para o crescimento e o desenvolvimento da planta são fornecidos através de solução nutritiva. A hidroponia deve ser desenvolvida no interior de um ambiente protegido como estufas plásticas e, freqüentemente, emprega-se a técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT) para aplicação da solução nutritiva. O conjunto hidropônico é constituído basicamente por moto-bomba, recipiente para solução nutritiva, programador horário-eletromecânico e canais de circulação da solução, dos quais fazem parte os canais de cultivo. As plantas são depositadas nos canais de cultivo por onde a solução nutritiva circula, geralmente por períodos de 15 min, alternados com intervalos de 15 min durante o período diurno e de duas horas no período noturno.

O alto custo do sistema hidropônico tem estimulado o surgimento de novas pesquisas a fim de reduzir investimentos, especialmente em custos variáveis do sistema como energia elétrica e solução nutritiva (CARRASCO et al., 1999). Aita; Londero (2000) destacam que o gasto com energia elétrica alcança aproximadamente 20% do total dos custos variáveis da produção de alface em hidroponia.

Existe também a preocupação com a redução do desperdício de energia elétrica, que tem sua importância difundida, atualmente, por diversas campanhas nacionais. Se o intervalo entre as irrigações do sistema hidropônico de produção de alface puder ser ampliado, o intervalo utilizado atualmente se caracteriza como um desperdício de energia elétrica.

Em trabalho realizado no Núcleo de Ecofisiologia e Hidroponia do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Pilau (2002) não verificou diferença significativa na produção de fitomassa seca e fresca da alface hidropônica com a alteração do intervalo entre irrigações de 15min para 30min, porém observou redução de 28,3% no consumo de energia elétrica. A partir desse trabalho, buscou-se uma hipótese para fundamentar o aumento do intervalo entre irrigações sem ocasionar redução significativa na produção da alface hidropônica.

No cultivo em solo ou em substrato, as raízes das plantas encontram-se em um sistema onde existe um agente atuando como armazenador de água para o sistema radicular ao longo do dia. Diferentemente, na hidroponia não existe esse agente que proporcione o armazenamento contínuo de água. Nesse caso, as próprias raízes atuam como um agente armazenador temporário, pois desempenham um papel de obstrução, fazendo uma barreira para o escoamento da solução nutritiva. Esse efeito de barreira ou retenção aumenta o tempo de disponibilidade para absorção da água e dos nutrientes pelo sistema radicular. Porém, o efeito depende, principalmente, do crescimento do sistema radicular e da frequência de irrigações.

No decorrer do período de cultivo da alface, observa-se que o crescimento do sistema radicular favorece o efeito de barreira e, assim, a retenção da solução nutritiva. Dessa forma, concomitantemente com o aumento da demanda da cultura, ocorre aumento na retenção da solução nutritiva pelas raízes, podendo-se modificar o regime de irrigação (frequência). Portanto, o aumento da retenção da solução nutritiva, decorrente do acréscimo da massa e volume radicular, possibilitaria a manutenção de maiores intervalos entre as irrigações sem a ocorrência de deficiência hídrica na cultura.

Em função disso, o objetivo do trabalho foi verificar a influência de quatro intervalos entre irrigações sobre a produção de fitomassa seca e de área foliar de plantas de alface, bem como, sobre o volume do sistema radicular e a capacidade de retenção de solução nutritiva do mesmo. Dessa forma, será determinado qual o intervalo entre irrigações mais adequado para as quatro estações do ano, analisando-se o consumo de energia elétrica de cada intervalo aplicado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma Asterácea (composta) originária de espécies silvestres ainda encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental. A planta é herbácea, delicada, com caule diminuto, ao qual se prendem as folhas. Estas são amplas e crescem em roseta, em volta do caule, podendo ser lisas ou crespas, formando ou não uma “cabeça”, com coloração em vários tons de verde ou roxa, conforme a cultivar (FILGUEIRA, 2000).

A alface é consumida principalmente na forma de saladas cruas, sendo considerada uma espécie de grande importância na alimentação e na saúde humana, é fonte de vitaminas e de sais minerais. Apresenta ainda como principal vantagem o baixo valor energético, razão pela qual é freqüentemente indicada na dieta alimentar de convalescentes e idosos na forma de salada (OHSE, 2000).

Consumida em todo o Brasil, a alface é considerada de relevante importância, tanto do ponto de vista econômico, ocupando a sexta posição dentro das hortaliças, como de consumo, pois, em termos de volume de comercialização, ocupa a oitava posição (GOTO, 1998). No Brasil, a alface é a hortaliça folhosa de maior aceitação pelo consumidor (YURI et al., 2002).

Além disso, é uma espécie de fácil manejo, que adaptou-se bem ao cultivo hidropônico, apresentando redução de ciclo e proporcionando um rápido retorno do capital investido pelo produtor.

No Brasil, diversas cultivares comerciais de alface são utilizadas, no entanto, não existem cultivares específicas para o cultivo sem solo, apenas algumas cultivares mais adaptadas ao meio hidropônico. Portanto, a escolha de cultivares em hidroponia requer certos cuidados, devendo-se considerar o tipo mais aceito pelo mercado consumidor, a capacidade de adaptação às condições locais de clima, produtividade, qualidade, manejo da cultura, ciclo, resistência às doenças, pragas e ao pendoamento precoce (SCHMIDT, 1999).

As cultivares mais utilizadas para o cultivo hidropônico são Aurora, Lívia, Brisa, Mimosa e Verônica (SCHMIDT, 1999); Elisa, Marisa, Lucy Brown e Tainá (MONDIN, 1996); Deisy e Regina (LONDERO, 2000).

A cultivar Regina, do tipo lisa, é uma das mais indicadas para a hidroponia, pois apresenta tamanho grande, resistência ao pendoamento precoce, o que permite cultivo o ano inteiro, resistência ao ataque do vírus do mosaico da alface, além de apresentar alta resistência ao transporte (SCHMIDT; SANTOS, 2000).

2.2 Exigências da cultura da alface

Por ser originária de regiões de clima temperado, a alface sempre foi considerada adaptada a temperaturas do ar amenas, por volta dos 20°C, porém, já existem cultivares adaptadas aos climas subtropical e tropical, também apropriadas para cultivos protegidos, como é o caso da cultivar Regina.

2.2.1 Exigências Térmicas

A ação da temperatura do ar tem grande influência na produção final das culturas, pois afeta as fases e os processos fisiológicos como germinação, crescimento, floração, frutificação, e os processos de fotossíntese, respiração, transpiração, atividades enzimáticas, permeabilidade das membranas celulares, absorção de água e de nutrientes e a própria velocidade das reações químicas, podendo induzir precocidade ou retardar a produção final (LUCCHESI, 1987).

Conforme Silva et al. (1999), a planta apresenta uma faixa de temperatura ótima com pontos extremos, sendo que valores inferiores ou acima desta faixa de temperatura, podem cessar ou reduzir a taxa de crescimento das plantas. Estes pontos extremos de temperatura são denominados de "temperatura cardeais". Madariaga; Knott (1951) e Slack et al. (1994) sugerem os valores de 4,4°C e 21,1 °C, como as temperaturas cardeais da alface. Já para Cermeño (1977), as temperaturas cardeais para a espécie são iguais a 6°C e 30°C. Seginer et al. (1991), citam que a temperatura recomendada para a cultura não deve nunca ser superior a 24,1 °C.

Segundo Reisser Jr. (1991), as temperaturas ótimas de crescimento da alface encontram-se entre 15°C e 20°C, sendo que as temperaturas noturnas inferiores a 15°C são importantes durante o estágio de “formação de cabeça”. Diferentemente, Oda; Aoki (1988) observaram que o maior acúmulo de fitomassa fresca em plantas de alface foi verificado quando a temperatura do ar ficou na faixa de 25°C a 30°C, em função da taxa fotossintética ser ótima neste intervalo de temperatura, com déficit de pressão de vapor do ar de 0,4 KPa e sob várias intensidades de luz.

Destaca-se que, em condições de temperatura do ar superior a 30°C, a alface responde antecipando a emissão da haste floral, comprometendo o crescimento vegetativo e desqualificando o produto com acúmulo de látex excessivo (DELISTOIANOV, 1997). Tal condição ocorre principalmente no interior de estufas, onde os valores de temperatura do ar são maiores do que aqueles verificados no ambiente externo (em se tratando de dias claros e sem nuvens), pois há pouca perda de calor pela redução do movimento de ar dentro das mesmas (MARTINS; GONZALES, 1995).

Além do efeito direto da temperatura do ar sobre o crescimento da cultura, Jeannequin (1987) relata que ao circular pelas canalizações onde estão as raízes das plantas, a temperatura da solução nutritiva tende a entrar em equilíbrio com a temperatura do ar. Quando os cultivos são realizados em ambientes sem controle da temperatura do ar, fortes variações térmicas ocorrem durante o nictêmero. Essas variações fazem oscilar a temperatura da solução nutritiva, que pode atingir níveis prejudiciais ao crescimento das plantas. O problema toma-se mais sério nos períodos quentes do ano, pois as canalizações podem funcionar como coletores solares, elevando a temperatura da solução a valores superiores a 40°C, considerados limitantes à atividade das raízes.

2.2.2 Necessidades radiativas

A radiação de onda curta influencia o crescimento da planta em dois aspectos: a radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm) é necessária para fotossíntese, processo básico para o crescimento da planta (McCREE, 1972), enquanto que o total de energia é o principal fator que afeta a transpiração (CUNHA et al., 2001).

A quantidade e a qualidade da radiação solar global incidente que atinge o dossel vegetativo podem limitar o acúmulo de fitomassa. De acordo com a FAO (1990), valores abaixo de $8,4 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ são considerados como limitantes para o crescimento das hortaliças de verão.

Alem disso, a reflexão e a absorção promovidas pela cobertura plástica diminuem a incidência de radiação solar no interior de ambientes protegidos (SENTELHAS et al., 1997). Todavia, a alface apresenta baixo ponto de saturação lumínica, correspondendo a $800 \mu\text{mol S}^{-1} \text{ m}^{-2}$, e permitindo que a cultura fotossintetize em condições de baixa luminosidade (SANCHES et al., 1989). Já, Oda; Aoki (1988) avaliando a taxa de crescimento da alface em resposta ao ambiente, determinaram que com déficit de pressão de vapor de 0,4 KPa, a taxa fotossintética foi saturada a $1300 \mu\text{mol S}^{-1} \text{ m}^{-2}$.

Experimentos com sombreamento conduzidos a campo por Glenn (1984), indicaram que a fotossíntese da alface é saturada por níveis relativamente baixos de radiação solar, aproximadamente $250 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, ao passo que níveis de $450 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, ou maiores, inibem o crescimento. Em trabalho semelhante desenvolvido por Gimenes et al. (1994), nas condições de verão em Santa Maria - RS, determinou-se que a atenuação de 30% da radiação solar, com a utilização de tela plástica de coloração preta, proporcionou maiores valores de massa seca total, massa seca de folhas e de caule, número de folhas e comprimento do caule das plantas de alface.

Em estufas, a atenuação da radiação solar, através dos processos de reflexão e absorção, quer seja em seu espectro total, como na fração fotossinteticamente ativa, e no próprio saldo de radiação, é dependente do tipo de material empregado. A transmissividade dos materiais varia com a idade e com a orientação geográfica da estufa, sendo que a orientação leste-oeste proporciona em média 9% a mais de transmissividade à radiação solar global do que a orientação norte-sul (SENTELHAS et al., 1999).

Portanto, a radiação solar no interior da estufa é inferior àquela verificada no exterior, correspondendo a um valor médio de 83% em relação aos valores externos. Porém, a radiação difusa ocorrida no interior das estufas, é em média 45% maior que a radiação solar global observada externamente, variando desde 31 a 100%, ao passo que externamente varia de 5 a 100%, com um valor médio de 24%. Isto demonstra o efeito dispersante dos filmes plásticos, aumentando a radiação difusa,

que é mais efetiva para a fotossíntese por ser multidirecional e penetrar melhor entre as plantas, o que pode compensar, em parte, a parcial opacidade do filme plástico à radiação solar (FARIAS et al., 1993).

2.2.3 Necessidades Hídricas

De acordo com Dantas (1997), a alface é uma hortaliça exigente em água, onde a quantidade e a qualidade da mesma influem na produtividade. Em relação aos turnos de irrigação, nota-se que há muitas diferenças entre os sistemas de produção. Da mesma forma, o ambiente de cultivo vai ser determinante no estabelecimento dos turnos de irrigação.

Andrade Júnior; Klar (1997), trabalhando com a cultura da alface e sua irrigação através da estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) com tanque Classe A no interior de estufas plásticas na região de Botucatu, SP, determinaram que a melhor lâmina d'água a ser aplicada à cultura é referente a 75% da ET_o, registrando o pico máximo de matéria fresca.

O mecanismo que os vegetais dispõem para se proteger da radiação excessiva, responsável pelas altas temperaturas do ar, é a transpiração, sendo que, quando o fluxo de transpiração é mais forte que o fluxo hídrico da planta, ocorre fechamento dos estômatos, a fim de reduzir as perdas de água para a atmosfera, reduzindo assim a entrada de CO₂ e a taxa fotossintética (ANDRIOLO, 1999). Da mesma forma que a temperatura, a umidade relativa do ar é citada por Filgueira (2000), como tendo influência sobre a transpiração.

Os principais aspectos avaliados na capacidade da planta em tolerar deficiência hídrica, segundo Brunini; Cardoso (1998), referem-se à sensibilidade estomática e à capacidade de manter alto teor hídrico na folha e suportar a desidratação imposta pelo ambiente adverso, caracterizada pelo déficit de pressão de vapor. O efeito da deficiência hídrica sobre o vegetal é muito variado e depende, principalmente, da intensidade do estresse a que a planta está submetida. Uma redução na condutância estomática afeta uma série de interações planta-ambiente, uma vez que os estômatos são os pontos de controle da perda de vapor d'água e do balanço de energia entre o vegetal e ambiente. Embora a redução na taxa de perda de água possa representar uma vantagem imediata para prevenir a desidratação do

tecido, essa pode também afetar diretamente o balanço de calor sensível sobre o vegetal e a absorção de CO_2 e, conseqüentemente, a taxa fotossintética (BRUNINI; CARDOSO, 1998).

As principais respostas das plantas à deficiência hídrica, segundo McCree; Fernández (1989) e Taiz; Zeiger (2004), consistem na redução no desenvolvimento das células, redução da expansão das folhas e, portanto, da área foliar, no fechamento dos estômatos e redução da transpiração, redução na translocação de assimilados e aceleração da senescência e da abscisão das folhas.

A água é um elemento essencial para a manutenção da turgescência celular, sendo, portanto necessária à expansão e à divisão das células. Experimentos de Páez et al. (1995) demonstraram que a expansão da célula foi o processo da planta mais sensível à deficiência hídrica. Para Petry (1991) a importância da manutenção do turgor nas células é permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese. Uma vez iniciado o primórdio foliar, o tamanho final atingido é determinado pelo índice de duração da divisão e expansão celular.

2.3 O sistema hidropônico

A alface é a hortaliça mais cultivada nos sistemas hidropônicos, por seu pioneirismo como cultura hidropônica, por possuir ciclo curto de produção (45-60 dias) e ter fácil aceitação no mercado consumidor. Mas existem outros tipos de vegetais que estão sendo cultivados nesses sistemas, tais como, feijão-vagem, repolho, couve, salsa, melão, agrião, pepino, beringela, pimentão, tomate, arroz, morango, forrageiras para alimentação animal, mudas de árvores, plantas ornamentais, entre outras espécies (RESH, 1997).

2.3.1 Características gerais

A hidroponia é um sistema de cultivo onde as plantas crescem fixadas em substrato ou colocadas em canais de cultivo por onde circula uma solução nutritiva que contém os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta e de acordo

com a necessidade de cada espécie vegetal. A solução nutritiva deve manter suas características físico-químicas, necessitando de um controle adequado do pH e da condutividade elétrica, a fim de manter suas características iniciais de balanceamento e permitir que as plantas cresçam sob as melhores condições possíveis.

Os primeiros trabalhos com cultivo em água datam de 1650 com Van Helmont (RESH, 2002; SANTOS, 1998a). Em 1804, Nicholas Théodore Sanssure usou soluções nutritivas de concentração inicial conhecida, preparada a partir de vários sais dissolvidos em água destilada (CARMELLO, 1998). O grande impulso da hidroponia como atividade comercial aconteceu a partir da publicação de "The Complete Guide to Soilless Gardening" por Willian F. Gericke da Universidade da Califórnia (USA) em 1936, inclusive instituindo a palavra "HIDROPONIA" (CARMELLO, 1998; SANTOS, 1998a; TEIXEIRA, 1996).

O cultivo hidropônico é uma atividade que deve ser praticada em ambiente protegido, denominado estufa ou casa de vegetação, para que se possa ter maior controle sobre o desenvolvimento das plantas, e também, da solução nutritiva (TEIXEIRA, 1996).

Em relação ao cultivo tradicional a campo, e mesmo ao cultivo protegido no solo, a hidroponia permite a obtenção de elevadas produtividades com o uso de pequenas áreas, cultivo durante todo o ano, produtos de boa qualidade e com melhores preços no mercado, exige pequeno uso de defensivos, possibilita um uso eficiente e econômico de água e de fertilizantes, o sistema é livre da salinização e da contaminação por patógenos - comuns em cultivo protegido em solo, dispensa a rotação de cultura e controle de plantas daninhas e, como o solo não é utilizado, o meio ambiente é preservado (FAQUIN; FURLANI, 1999).

Diversas técnicas de cultivo sem solo têm sido desenvolvidas: *nutrient film technique* (NFT) denominado de técnica do fluxo laminar de nutrientes; *deep film technique* (DFT) - também denominado de *floating*; em substrato e em aeroponia - sistema em que as raízes das plantas ficam suspensas recebendo água e nutrientes por atomizadores (FAQUIN; FURLANI, 1999). O principal sistema de cultivo hidropônico em uso no Brasil é o NFT, ou seja, a técnica do fluxo laminar de nutrientes.

Descoberta pelo inglês Alan Cooper, nos anos 70, a técnica NFT define-se como método de produção, no qual a planta desenvolve seu sistema radicular

parcialmente submerso em fluxo de água reciclada, com dissolução de todos os elementos necessários. O fluxo corrente de água não deve inundá-la por completo. Aproximadamente 2/3 das raízes devem estar submersas para absorver a água e os nutrientes, e 1/3 no ar, absorvendo oxigênio. Esse é o princípio básico do NFT (STAFF, 1998).

2.3.2 Estrutura de produção hidropônica

Para utilização da técnica NFT são necessárias bancadas de cultivo, formadas por canais nos quais passa a solução nutritiva na forma de uma lâmina, onde são colocadas as plantas. Segundo Furlani et al. (1999), as dimensões das bancadas normalmente obedecem a certos padrões, que podem variar de acordo com a espécie e com o tipo de canal utilizado.

Atualmente, os canais de cultivo não utilizam substratos e a sustentação das plantas é feita através de uma placa (isopor, lona plástica de dupla face e “tetrapack[®]”) com orifícios, que também previne contra a entrada de luz e aquecimento do sistema radicular das plantas (TEIXEIRA, 1996). Algumas empresas têm colocado no mercado canais de cultivo em forma de tubos de polipropileno achatados com orifícios para a colocação das plantas. Podem ser utilizadas como base telhas de fibra de vidro ou fibrocimento, ou ainda, tubos de polivinil clorídrico (PVC) de 75 ou 100mm (FAQUIN et al., 1996).

No que se refere à altura e à largura, a bancada deve ter: até 1,0m de altura e 2,0m de largura para mudas e plantas de ciclo curto (hortaliças folhosas). O comprimento da mesa de cultivo não deve exceder os 30m, para evitar variações de temperatura e nos níveis de oxigênio e de sais da solução nutritiva ao longo do canal de cultivo. Além disso, como normalmente há um desnível da mesa entre 2 e 4%, bancadas muito extensas instaladas em terreno plano ficam com sua parte final muito próxima ao solo, prejudicando o manejo e o escoamento da solução para o tanque de armazenamento e aumentando os riscos de contaminação via solo (FURLANI et al., 1999).

2.3.3 Solução nutritiva

Um dos aspectos mais importantes no cultivo de plantas em hidroponia é a solução nutritiva. Esta deve ser formulada de acordo com o requerimento da espécie que se deseja produzir, ou seja, conter, em proporções adequadas, todos os nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento (SCHMIDT, 1999).

As diversas variedades de espécies vegetais requerem diferentes quantidades de nutrientes em suas soluções nutritivas, particularmente fósforo e potássio. Destaca-se que a alface e outros vegetais folhosos requerem maiores doses de nitrogênio que tomates e pepinos, enquanto estes requerem maiores doses de fósforo, potássio e cálcio que as folhosas (RESH 1997).

Além da adequação à espécie, composição da solução nutritiva pode variar de acordo com o crescimento da planta, e a amplitude de variação depende da relação entre o seu crescimento e o volume de solução empregado, sendo que, o crescimento das plantas não causa apenas decréscimo nas quantidades de sais disponíveis para as raízes, mas também, alterações qualitativas na solução, uma vez que nem todos os elementos são absorvidos nas mesmas proporções (MARTINEZ, 1999).

Porém, a composição ideal de uma solução nutritiva depende não somente das concentrações dos nutrientes, mas também de outros fatores ligados ao cultivo, incluindo-se o tipo ou sistema hidropônico, as condições meteorológicas (luminosidade, temperatura e umidade do ar), a época do ano, a idade das plantas, a espécie vegetal e a cultivar em produção (FURLANI, 1995).

Existem diversos sais que podem ser utilizados no preparo das soluções nutritivas. Os aspectos importantes nesta escolha, considerando-se que todos apresentam qualidade incontestável, são a solubilidade e o custo unitário. Deve-se levar em consideração que na adição de íons à solução nutritiva, de nada adiantaria se o produto escolhido não apresentasse boa solubilidade (MORAES, 1997).

Para o cultivo da alface no sistema NFT o volume de solução no tanque não deve ser inferior a 1 litro por planta. Quanto maior o volume, menores serão as alterações na concentração dos nutrientes na solução. O volume de água evapotranspirada deve ser repostado diariamente, bem como efetuado o monitoramento do pH e CE (FAQUIN et al., 1996).

Experimentos conduzidos por Santos (1998b), comparando diferentes soluções nutritivas para o cultivo da alface, em vasos, no período de maio a julho de 1995, determinaram que a solução sugerida por Castellane; Araújo (1995) apresentou produção superior às demais – Hoagland; Amon (1950); Jensen; Collins (1985); Ueda (1990); Castellane; Araújo modificada.

Segundo Alberoni (1998), existem alguns fatores que devem ser controlados para o completo e perfeito desenvolvimento da planta e aproveitando máximo da solução nutritiva:

pH - o pH da solução nutritiva é tão importante quanto a condutividade elétrica, pois as plantas não conseguem sobreviver com valores abaixo de 3,5. Os seus efeitos podem ser diretos, quando houver efeitos de íons hidrogênio sobre as células; ou indiretos, quando afetam a disponibilidade de íons essenciais para o desenvolvimento da planta. Segundo Faquin; Furlani (1999), o acompanhamento da solução deve ser feito diariamente através de um "peagâmetro portátil", mantendo seu valor na faixa de 5,5 a 6,5. Em valores acima de 7,0, geralmente ocorre a precipitação de micronutrientes catiônicos na solução, induzindo deficiências nas plantas.

Condutividade elétrica (CE) - esse controle é de grande importância, pois determina quanto há de nutrientes na solução (quantidade de íons). Quanto mais íon tiver na solução, maior será a condutividade elétrica, e vice-versa. Utilizando-se a solução nutritiva recomendada por Castellane; Araújo (1995) (Anexo 1) a CE deve situar-se em torno de $2,8\text{mS cm}^{-1}$.

A oxigenação da solução nutritiva é importante para a respiração das raízes. Quando a solução nutritiva apresenta baixos níveis de oxigênio (O_2), ocorre a morte dos meristemas radiculares, pequena ramificação das raízes e baixa absorção de água e nutrientes. O conteúdo de O_2 na solução nutritiva não deve ser inferior a 5ppm, sendo que o aumento do nível pode ser obtido pela turbulência da solução nutritiva no reservatório, através do retorno da solução sob pressão da bomba, ou através de borbulhamento com ar comprimido (FAQUIN; FURLANI, 1999).

2.4 Freqüência de irrigação

O sistema hidráulico de um conjunto hidropônico NFT é fechado, ou seja, a solução nutritiva é bombeada de um reservatório, passa pelas raízes das plantas nos canais das bancadas e volta por gravidade ao reservatório (FAQUIN; FURLANI, 1999).

O conjunto moto-bomba é responsável pela sucção e recalque da solução nutritiva no reservatório. Fornece a vazão e a pressão necessárias para vencer o desnível entre o reservatório e a bancada de cultivo, além de vencer também as perdas de carga na tubulação que conduz a solução nutritiva (BLISKA Jr.; HONÓRIO, 1996).

A circulação da solução nutritiva é comandada por um sistema regulador de tempo, geralmente um programador horário-eletromecânico. Esse equipamento permite que o tempo de irrigação e drenagem ocorra de acordo com a programação que se deseja (FURLANI et al., 1999).

A freqüência dos ciclos de irrigação depende da natureza e do estágio de desenvolvimento das plantas, das condições meteorológicas (estufas) – particularmente a densidade de fluxo da radiação solar global incidente, a temperatura do ar e do meio de cultivo e do déficit de pressão de vapor. As plantas mais suculentas, com abundância de folhas, requerem uma irrigação mais freqüente, pois perdem água rapidamente através da evapotranspiração. Quanto maior for a área foliar, maior será o consumo de água. Em condições de estufa com alta intensidade luminosa, geralmente acompanhada de temperaturas elevadas, especialmente durante os meses de verão, a evapotranspiração tem elevado incremento, resultando em maior absorção de água. A freqüência e a duração dos ciclos de irrigação são importantes. A freqüência dos ciclos tem que ser suficiente para impedir qualquer déficit de água nas plantas entre os ciclos, porém, esses têm que ser suficientemente espaçados para proporcionar adequada drenagem do meio, de forma que haja apropriada oxigenação das raízes das plantas (RESH, 1997).

De acordo com Moraes (1997), existe diferença entre os turnos de irrigações entre cada sistema e principalmente em um mesmo sistema, sendo que o ambiente de cultivo constitui outro fator determinante no estabelecimento dos turnos de irrigação.

Normalmente a circulação da solução nutritiva pelos canais das bancadas é intermitente, controlada por um programador horário eletro-mecânico, utilizando-se períodos de 15 a 20 minutos de circulação e de 10 a 15 minutos de descanso durante o dia (6:00 às 18:00 horas), e a noite (18:00 às 6:00 horas), 15 minutos ligado e 3 a 4 horas desligado (FAQUIN; FURLANI, 1999). Entretanto, Resh (1997) recomenda intervalos de 15 minutos entre irrigações durante o dia. No período noturno dependendo do clima, pode-se deixar o sistema desligado ou programar para funcionar 2-3 vezes em intervalos espaçados. Da mesma forma, Bliska Jr.; Honório (1996) recomendam, de modo geral, uma frequência de 15 minutos de irrigação, com 15 minutos de intervalo.

Destaca-se que os gastos com a energia elétrica e solução nutritiva, podem chegar a 42% do total dos custos variáveis (CARRASCO et al., 1999). Aita; Londero (2000) estimaram o custo da energia elétrica e da solução nutritiva em 19,7% e 9,2% do custo variável total, respectivamente. De acordo com SINERGIA (2004), no período de 1999 a 2003, a tarifa de energia elétrica aumentou 136%. Vale ressaltar que a variação do preço da energia elétrica de julho de 1994 a dezembro de 2003 foi de 221%, enquanto que a inflação foi de 138,4%. Portanto, o aumento desse insumo tem sido um fator negativo para a expansão da hidroponia, visto que o sistema de irrigação é automático e totalmente depende da eletricidade.

Em experimento com regimes de recirculação intermitente e solução nutritiva para o cultivo de alface em NFT, Carrasco et al., (1999) mostraram que é possível a utilização de regimes de recirculação intermitente em NFT, como um caminho para redução dos custos totais na produção de alface na primavera.

Em trabalho semelhante, Pilau (2002) realizou um experimento para determinar o melhor esquema de manejo da irrigação para a alface hidropônica para a região de Santa Maria. Foram testados dois intervalos entre irrigações no período diurno (T15/15 – período de irrigação de 15 minutos a cada 15 minutos e T15/30 – período de irrigação de 15 minutos a cada 30 minutos) constando que o intervalo entre irrigações não apresentou diferença significativa na produção de fitomassa seca e fresca. No entanto o intervalo T15/30 foi o mais adequado por promover uma redução de 28,3% no custo em energia elétrica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

Os ensaios foram conduzidos na área experimental do Núcleo de Pesquisa em Ecofisiologia (NUPEC), no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizado em Santa Maria – RS, com coordenadas geográficas: latitude de 29°43'S; longitude de 53°43'W e altitude de 95m. O clima do local segundo a classificação de Köppen pertence ao tipo “Cfa” – clima subtropical úmido com verões quentes (MORENO, 1961). A precipitação média anual é de 1769mm, a temperatura média anual é de 19,2°C e a umidade relativa do ar média é de 78,4% (MOTA et al., 1971).

3.2 Cultura

Utilizou-se a cultivar de alface Regina. Segundo Schmidt et al., (2000), esta cultivar pertence ao grupo das soltas lisas, sendo indicada para plantio durante o ano todo, principalmente no período de verão. As folhas são lisas, soltas, de coloração verde clara e com tamanho grande. Apresenta alta resistência ao pendoamento precoce e ao ataque do vírus do mosaico da alface. É uma das cultivares mais produzidas no Brasil devido a sua alta rusticidade de cultivo e resistência ao transporte pós-colheita.

3.3 Ambiente protegido

Os experimentos foram conduzidos em estufa plástica do tipo arco pampeano, disposta no sentido Norte-Sul, de 250m² de área (10m x 25m) e 3m de pé direito. A estufa possui colunas e piso de concreto, e as tesouras em madeira. O filme plástico utilizado para cobertura e fechamento das laterais e portas é do tipo polivinilclorídrico (PVC), com 200µm de espessura. No perímetro da estufa há uma saia em alvenaria de 0,78m de altura.

3.4 Produção de mudas

A produção de mudas foi realizada, de forma individualizada em placas de espuma fenólica. Após a semeadura as espumas foram colocadas em um sistema denominado bancada de germinação, constituído de telha de fibra de vidro, com dimensões de 1mx3m, e canais de 3 cm de profundidade, apoiada sobre cavaletes metálicos que proporcionaram declividade de aproximadamente 2%. A solução nutritiva utilizada na bancada de germinação foi a recomendada por Castellane e Araújo (1995) (Anexo 1), preparada e diluída para 25% de sua concentração em reservatório de fibra de vidro contendo 200 litros de solução.

As mudas foram transplantadas para o berçário quando atingiram 5 folhas definitivas. A etapa de berçário é necessária para que as plantas adaptem-se aos perfis hidropônicos, e ganhem em parte aérea e sistema radicular para uma melhor sustentação. O berçário foi constituído por perfis hidropônicos com canais de 3 cm de profundidade, espaçados de 7 cm, com distância de 10 cm entre plantas nos canais apoiados sobre cavaletes metálicos com declividade aproximada de 2%. As mudas permaneceram no berçário por aproximadamente 15 dias, até apresentarem tamanho para sustentarem-se nos perfis da bancada de produção final. A solução nutritiva utilizada na fase de berçário foi a adaptada de Castellane; Araújo (1995) (Anexo 1) preparada e diluída para 50% de sua concentração em reservatório de fibra de vidro, contendo 400 litros de solução.

A irrigação nas etapas de bancada de germinação e berçário foram realizadas em intervalos de 15 minutos a cada 15 minutos no período diurno (06:00 – 19:00h), e 15 minutos a cada intervalo de duas horas no período noturno (19:00 – 06:00h).

O controle do pH e da condutividade elétrica da solução nutritiva foi realizado a cada dois dias, medindo-se o pH através de um peagâmetro digital e a condutividade elétrica através de um condutivímetro. O pH da solução nutritiva foi mantido próximo de 6,0 ($\pm 0,2$), utilizando-se ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 10% de concentração ou hidróxido de sódio (NaOH) 2,0N para correção. Sempre que a leitura de condutividade elétrica da solução nutritiva atingiu 50% da concentração inicial, foi efetuada a reposição de 50% dos nutrientes.

3.5 Produção final

Após a etapa de berçário realizou-se o transplante para as bancadas de produção final. Nessa etapa, as bancadas foram formadas por oito perfis hidropônicos de seis metros de comprimento, 0,10m de largura e 0,05m de profundidade. Espaçamento de 0,25m entre plantas nos canais e 0,20m entre plantas de canais distintos. Cada sistema foi formado por duas bancadas (totalizando 16 perfis), alimentadas por uma motobomba de 0,5 HP e um reservatório de fibra de vidro com capacidade para 1000 litros. As bancadas foram sustentadas por cavaletes de metal, de aproximadamente um metro de altura, dando uma declividade de 2%. A solução nutritiva utilizada foi a recomendada por Castellane; Araújo (1995) (Anexo 1), na quantidade de 800 litros, correspondendo a um volume de solução nutritiva de $2,17 \text{ litros planta}^{-1}$.

A solução nutritiva foi distribuída nos canais de cultivo através do conjunto motobomba e recolhida no final das bancadas de cultivo através de calhas coletoras, retornando ao reservatório, caracterizando um sistema fechado.

Para acompanhamento da condutividade elétrica e controle do pH da solução nutritiva, foram adotados procedimentos similares àqueles utilizados nas etapas de piscina e berçário.

3.6 Tratamentos

Os tratamentos avaliados foram freqüências de irrigação aplicadas na etapa de produção final do cultivo hidropônico da alface em quatro épocas de cultivo, distribuídas uma em cada estação do ano. Os tratamentos de freqüência de irrigação consistiram em quatro diferentes intervalos de irrigações, no período diurno, aplicados um dia após o transplante para a bancada de produção final, e foram estabelecidos de acordo com os tratamentos:

Testemunha – Intervalos de 15 min (**T15**) – período de irrigação de 15 minutos a cada intervalo de 15 minutos no período diurno (06:00 – 19:00h).

Tratamento 1 – Intervalos de 30 min (**T30**) – período de irrigação de 15 minutos a cada intervalo de 30 minutos no período diurno (06:00 – 19:00h).

Tratamento 2 – Intervalos de 45 min (**T45**) – período de irrigação de 15 minutos a cada intervalo de 45 minutos no período diurno (06:00 – 19:00h).

Tratamento 3 – Intervalos de 60 min (**T60**) – período de irrigação de 15 minutos a cada intervalo de 60 minutos no período diurno (06:00 – 19:00h).

Em todos os tratamentos, durante o período noturno (19:00 – 06:00) ocorreram 15 min de irrigação a cada 2 horas. As irrigações foram controladas por temporizadores analógicos, convencionalmente utilizados em cultivos hidropônicos. Esses temporizadores permitem a aplicação de intervalos ou períodos de irrigação de no mínimo 15 min, sendo esse o período de irrigação adotado em todos os tratamentos.

As épocas de cultivo foram distribuídas de outubro de 2006 até setembro de 2007, realizando-se um cultivo por estação do ano, com a finalidade de avaliar o desempenho dos tratamentos de intervalos entre irrigações nas diferentes condições meteorológicas, observadas ao longo das estações.

Para cada tratamento de intervalos entre irrigações utilizaram-se duas bancadas de produção final, contando-se seis dos oito canais de cada bancada como área útil e excetuando-se ainda as plantas das extremidades dos canais, resultando em 264 plantas úteis por tratamento divididas em três blocos (88 plantas por bloco) e 104 plantas de bordadura, totalizando 368 plantas.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 4x4 (quatro intervalos entre irrigações e quatro épocas de cultivo), totalizando 16 tratamentos, com 3 repetições (blocos). Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) ou submetidas ao ajuste de modelos de regressão linear, conforme o caso.

3.7 Medidas fenométricas

Para avaliações e análises de crescimento as medidas fenométricas foram realizadas conforme Benincasa (1988). Foram coletadas três plantas por bloco, de maneira aleatória, ao final dos períodos de cultivo. Determinou-se como data de colheita 30 dias após o transplante para a bancada de produção final ou 200 g planta⁻¹ de massa fresca da parte aérea, o que ocorrer primeiro. Esses valores foram

adotados como parâmetros em experimentos anteriores, resultando em plantas com bom tamanho comercial ao final dos cultivos.

3.7.1 Determinação da fitomassa seca das plantas

As plantas coletadas tiveram seus órgãos separados em caule, folhas e raiz. Os órgãos foram colocados em sacos de papel individualizados, posteriormente levados a uma estufa de secagem de ventilação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante, para a determinação da fitomassa seca. As pesagens foram realizadas em balança digital com precisão de 0,001 grama.

3.7.2 Determinação da área foliar

A área foliar foi determinada através do método da pesagem dos discos, que consiste na retirada de discos foliares em posições aleatórias do limbo foliar com auxílio de um vazador. Por regra de três simples, relacionando a fitomassa seca de folhas com a massa seca de discos e a área dos discos determinou-se a área foliar, através da equação:

$$AF = (ND \times AD \times FMSF) / FMSD$$

Onde:

AF = Área foliar da planta (cm²)

ND = Número de discos amostrados por planta

AD = Área do disco (2,01cm²)

FMSF = Fitomassa seca de folhas da planta (g)

FMSD = Fitomassa seca dos discos foliares amostrados (g)

3.7.3 Determinação do índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi determinado através da relação:

$$IAF = AF / S$$

Onde:

AF = área foliar da planta (cm²)

S = Área de domínio de cada planta amostrada no leito de cultivo utilizado na etapa de produção final (500cm²).

3.7.4 Determinação do volume do sistema radicular

Nas três plantas por bloco coletadas para análise de crescimento, também efetuada a quantificação do volume do sistema radicular. Para isso, o sistema radicular foi destacado das plantas com um corte na base do caule e depositado sobre um funil para o escoamento da solução nutritiva. Após, o sistema radicular foi introduzido em provetas de vidro graduadas com capacidade de um litro, e preenchidas com 0,5L de água. O volume do sistema radicular correspondeu ao volume de água deslocado dentro da proveta após sua imersão.

3.8 Determinação da retenção da solução nutritiva pelo sistema radicular

A retenção da solução nutritiva foi determinada ao final do cultivo, juntamente com as determinações fenométricas. Para realização da medida foi retirada uma planta por tratamento em cada bloco, ao final do intervalo entre irrigações. Assim, as plantas foram retiradas aos 15, aos 30, aos 45, e aos 60 minutos após cessada a irrigação para os intervalos T15, T30, T45 e T60, respectivamente. As determinações foram realizadas para quantificar o volume de solução nutritiva que estava retida no sistema radicular ao final de cada intervalo. Para isso as plantas coletadas permaneceram sobre funis por 20 minutos, período em que toda a solução nutritiva que estava retida no sistema radicular foi coletada em um recipiente. Posteriormente, o volume da solução coletada foi medido em proveta graduada com capacidade para 0,1L.

3.9 Determinação do consumo de energia elétrica

Através de um contador de energia elétrica, determinou-se o consumo do tratamento T15. Com base nesse valor e no tempo de funcionamento diário da motobomba dos demais tratamentos, calculou-se o gasto diário de energia elétrica de todos os intervalos empregados.

3.10 Observações meteorológicas

Os valores de temperatura do ar foram obtidos de um termógrafo instalado em abrigo meteorológico no centro da estufa a 1,5m de altura. Os dados de radiação solar global diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) foram obtidos com auxílio de um piranômetro acoplado a um armazenador de dados ("data logger").

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis meteorológicas

As espécies de interesse agrícola têm na temperatura do ar um dos principais elementos do ambiente que determinam sua taxa de crescimento e desenvolvimento.

Apesar de a alface ser considerada hortaliça de inverno, já existem variedades adaptadas às outras estações do ano. As temperaturas ótimas de crescimento da cultura encontram-se entre 15°C e 20°C (REISSER, Jr. 1991). Segundo Filgueira (2000) a alface é mais suscetível a temperaturas do ar elevadas.

As temperaturas do ar máximas diárias registradas durante as quatro épocas de cultivo (Figuras 1 a 4), apresentaram-se superiores aos valores ótimos de 21,1°C citado por Madariaga e Knott (1951) e Slack et al. (1994), bem como ao valor de 24,1°C citado por Seginer (1991).

Verificou-se que os valores diários de temperatura máxima do ar geralmente foram superiores a 30°C, o qual seria, de acordo com Cermeño (1977), o valor de temperatura máxima do ar para o crescimento da alface. Observou-se que, na época de primavera, as temperaturas máximas diárias permaneceram acima dos 30°C durante todo o período de cultivo (Figuras 1 a 4).

Durante a época de inverno e de outono observou-se que ocorreram dias com valores de temperatura do ar abaixo de 10°C (Figuras 3 e 4). Já nos cultivos de primavera e de verão as temperaturas mínimas permaneceram sempre acima dos 18°C (Figuras 1 e 2). Brunini et al. (1976) citam o valor de 10°C como valor mínimo de temperatura do ar para cultura, para a cultivar “White Boston”. Já Cermeño (1977) menciona o valor de 6°C.

Na primavera as temperaturas máximas foram elevadas, alcançando 47°C aos 8DAT (Figura 1), sendo que a média das temperaturas máximas foi de 38,9°C e a média das temperaturas mínimas foi de 22,7°C. Os valores elevados de temperatura do ar encontrados na primavera possivelmente resultam da alta radiação global incidente, que chegou a 15,29 MJ m⁻² dia⁻¹ aos 5DAT (Figura 1), quando a temperatura do ar alcançou 40°C.

A ocorrência de valores de radiação solar e da temperatura do ar fora dos limites cardeais tem como principal efeito sobre as plantas, respectivamente, a alteração do desenvolvimento, através da fenologia, e do crescimento, através da taxa fotossintética.

Pode-se inferir que os valores de temperaturas cardeais citados para a cultura da alface podem não ser adequados às novas cultivares, uma vez que, apesar da ocorrência de temperaturas do ar acima de 30°C na época de primavera, as plantas atingiram o ponto de colheita em um período de 16DAT, enquanto no inverno, com temperaturas mais próximas às ideais, o período foi de 29DAT. Portanto, são necessárias pesquisas para determinar as temperaturas cardeais para as novas cultivares de alface.

Em experimentos com sombreamento conduzidos a campo, Glenn (1984) cita que a fotossíntese da alface é saturada por níveis de radiação solar relativamente baixos, aproximadamente $250 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ($10,46 \text{ MJ m}^{-2}$), ao passo que níveis superiores a $450 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ($18,82 \text{ MJ m}^{-2}$) inibem o crescimento. Geralmente, os valores de radiação global incidente na época de primavera foram maiores que o nível de saturação, porém não alcançando o valor correspondente ao nível prejudicial durante o período de cultivo (Figura 1).

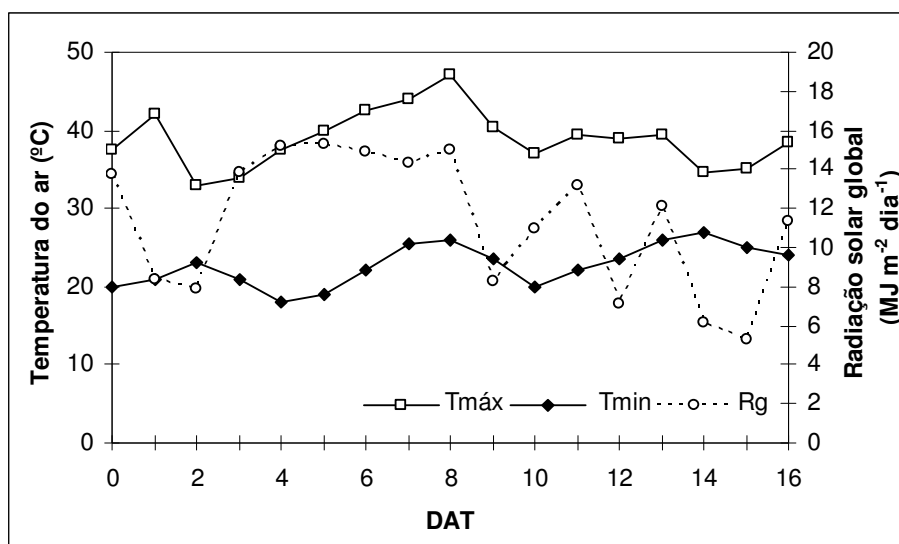


Figura 1. Variações de temperatura máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) do ar e da radiação solar global incidente durante a época de primavera em alface cultivada em hidroponia. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

No verão, as temperaturas máximas do ar alcançaram 42°C aos 12DAT, sendo que a média das temperaturas máximas foi de 33,9°C e a média das temperaturas mínimas foi de 23,6°C. A radiação solar também foi elevada no verão, com alguns dias apresentando valores acima do nível de saturação da fotossíntese.

Os valores de temperatura do ar ocorridos no outono foram menores do que nos dois primeiros cultivos, com máximas alcançando 35,4 e 35,8°C aos 9 e 10DAT, respectivamente (Figura 3). A média das temperaturas máximas foi de 26,3°C e a média das temperaturas mínimas foi de 14,7°C. Nessa época de cultivo, apenas cinco dias tiveram valores de temperatura do ar maiores do que 30°C, apresentado como limite superior para o crescimento da cultura. Também, observa-se que houve seis dias com valores de temperatura do ar abaixo do valor de 10°C (Figura 3), considerado como limite inferior para a cultura.

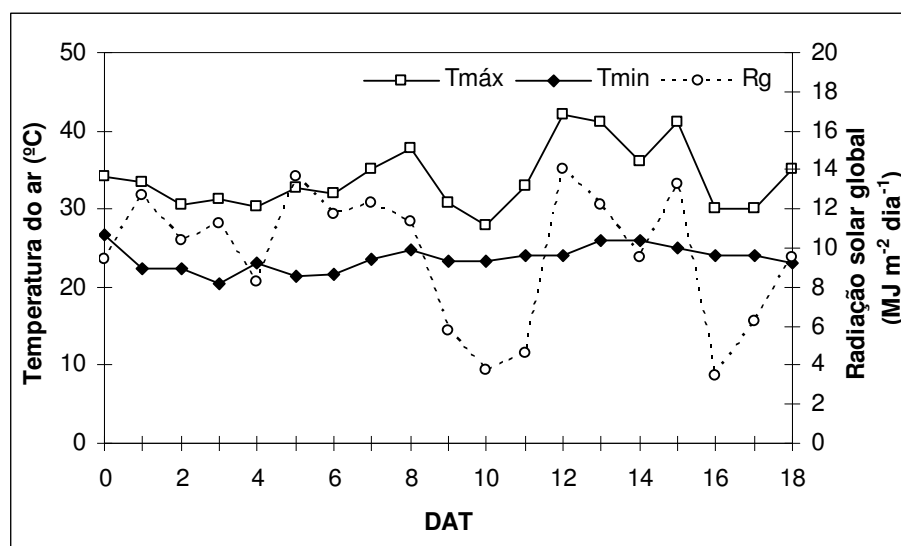


Figura 2. Variações de temperatura máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) do ar e da radiação solar global incidente durante a época do verão em alface cultivada em hidroponia. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

Em geral, no outono os valores de temperatura do ar apresentaram-se dentro da faixa de 15 a 20°C, considerado como temperatura ótima para a cultura conforme a bibliografia, com média geral de 17,1°C. Porém, a radiação solar global incidente durante 12 dias do ciclo teve valor abaixo de 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹ (equivalente a 200 cal

$\text{cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$), considerado o nível trófico de radiação para hortaliças de verão (FAO, 1990). Em oitos dias os valores ficaram abaixo de $5 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ (Figura 3).

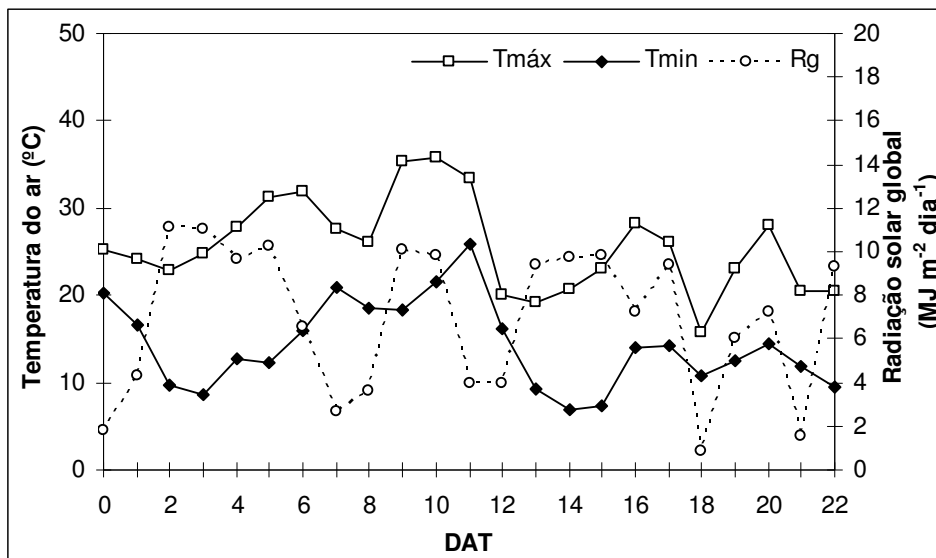


Figura 3. Variações de temperatura máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) do ar e da radiação solar global incidente durante a época do outono em alface cultivada em hidroponia. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

No inverno (Figura 4), ocorreu menor disponibilidade térmica, com a ocorrência de valores de temperatura do ar abaixo dos 6°C . Em termos médios, os valores das temperaturas máximas e mínimas foram $28,8$ e $17,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente, sendo superiores às médias verificadas no outono. A disponibilidade de radiação solar global incidente no inverno também foi baixa, com valores igualmente abaixo do nível trófico (Figura 4).

As médias das temperaturas máximas, das temperaturas mínimas e da radiação global incidente nos períodos de cultivo de todas as épocas, foram maiores que as médias que representam as respectivas estações do ano, de acordo com as normais climatológicas de Santa Maria-RS (Anexo 2). Como o ciclo de produção da alface (somente vegetativo) é curto, a ocorrência dias com valores de variáveis meteorológicas não característicos da estação do ano acaba interferindo no desempenho da cultura. Porém isso não invalida o trabalho, uma vez que as condições de temperatura e radiação elevadas tendem a aumentar a demanda atmosférica, acentuando o efeito dos tratamentos.

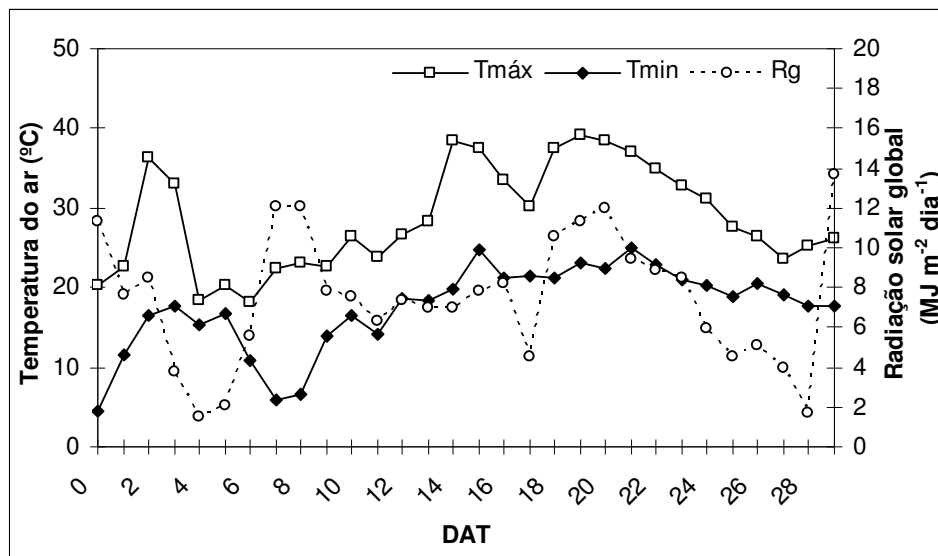


Figura 4. Variações de temperatura máxima (Tmáx) e mínima (Tmin) do ar e da radiação solar global incidente durante a época do inverno em alface cultivada em hidroponia. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

4.2 Determinações fenométricas

A análise de crescimento se baseia fundamentalmente no fato de que cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resulta da atividade fotossintética. O restante, da absorção de nutrientes minerais (BENINCASA, 1988). Assim, a análise fenométrica pode ser utilizada para demonstrar de que forma os tratamentos aplicados influenciam o crescimento da cultura, restringindo ou não o processo fotossintético.

De modo geral, observou-se que o fator intervalo entre irrigações não prejudicou a atividade fotossintética das plantas, destacando resposta semelhante para os diferentes intervalos durante as épocas de cultivo. Foram observadas diferenças significativas (Tabela 1) entre os intervalos entre irrigações ($P < 0,05$) apenas para fitomassa seca de raízes (FMSR) e volume de raízes (VR). Já para as épocas de cultivo (Tabela 1), foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) em todas as determinações realizadas, destacadas pelas diferenças meteorológicas observadas em cada período de cultivo (Figuras 1 a 4). Não houve interação entre os fatores, portanto, a resposta das plantas aos diferentes intervalos foi semelhante em todas as épocas de cultivo.

Tabela 1. Graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) do quadro de Análise da variância das variáveis fitomassa seca de folhas (FMSF), índice de área foliar (IAF), fitomassa seca de caule (FMSC), fitomassa seca de raiz (FMSR), volume de raízes (VR) e retenção de solução nutritiva pelo sistema radicular (RET) de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações (15; 30; 45 e 60min), em quatro épocas de cultivo (primavera, verão, outono e inverno). UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| Fonte de variação | GL | QM | | | | | | |
|-----------------------------|----|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | FMSF | IAF | FMSC | FMSR | FMST | VR | RET |
| Épocas de cultivo | 3 | 1,95* | 6,60* | 1,38* | 2,4831* | 14,47* | 813,44* | 193,51* |
| Intervalos entre irrigações | 3 | 0,35 ^{ns} | 1,99 ^{ns} | 0,026 ^{ns} | 0,0721* | 0,38 ^{ns} | 52,64* | 8,014 ^{ns} |
| Intervalos x Épocas | 9 | 0,32 ^{ns} | 5,16 ^{ns} | 0,025 ^{ns} | 0,021 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | 11,42 ^{ns} | 16,45 ^{ns} |
| CV% | | 7,181 | 11,976 | 12,197 | 8,472 | 7,154 | 8,953 | 33,61 |

* Probabilidade < 0,05; ^{ns} = não significativo.

4.2.1 Fitomassa seca de folhas e Fitomassa seca total

As folhas são órgãos de destino da maior parte dos assimilados produzidos pela planta de alface durante o período vegetativo, representando, portanto, a maior fração de fitomassa dentre as partes da planta.

Não se observou efeito significativo ($P \geq 0,05$) do fator intervalo entre irrigações sobre a fitomassa seca de folhas (FMSF), tampouco para fitomassa seca total, em nenhuma das épocas de cultivo (Tabela 1). Isso destaca que não houve limitação à produção de assimilados por possíveis efeitos de deficiência hídrica causada pelo aumento dos intervalos entre irrigações.

O estresse hídrico expressivo promove aumento na temperatura das folhas e fechamento dos estômatos, diminuindo assim o processo de fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004). Como consequência, ocorre redução da disponibilidade de assimilados e diminuição do acúmulo de fitomassa seca das plantas. Como não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para FMSF e FMST ao final dos cultivos (Tabela 1), ressalta-se que todos os intervalos entre irrigações

foram eficientes no suprimento hídrico das plantas, não interferindo no acúmulo de fitomassa seca nas folhas.

Já, entre as épocas de cultivo ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) na FMSF (Tabela 2). O valor de FMSF foi maior na primavera, com média de $7,78 \text{ g planta}^{-1}$. Entre os cultivos de verão, outono e inverno não houve diferenças significativas ($P \geq 0,05$). A diferença dos valores de FMSF entre as épocas de cultivo pode ser atribuída às diferentes condições meteorológicas ocorridas em cada época. Pesquisando a produtividade da alface cv. Regina sob malhas termo-refletoras e difusoras na primavera e no verão, Abaurre et al. (2003) e Abaurre et al. (2004a) encontraram valores médios de FMSF de $8,36$ e $7,56 \text{ g planta}^{-1}$, para a primavera e o verão, respectivamente. Esses valores estão próximos aos valores médios encontrados ao final de todas as épocas de cultivo (Tabela 2). Já quando comparado com o valor de FMSF apresentado por Radin et al. (2004) cultivando a cv. Regina em estufa plástica no outono, com FMSF média de $6,14 \text{ g planta}^{-1}$, observa-se que todas as épocas de cultivo apresentam acúmulo de FMSF superior (Tabela 2).

Como a fração da FMSF corresponde a maior parte da FMST, então a resposta da FMST entre as épocas de cultivo foi semelhante àquela da FMSF. Assim, destacou-se a época de primavera com maior valor de FMST (Tabela 3).

Ressalta-se que o ponto de colheita foi previamente estipulado, correspondendo a 200 g de fitomassa fresca da parte aérea. Assim, este também é um fator que contribuiu para que não houvesse diferenças estatísticas entre as épocas, exceto para a primavera, quando a fitomassa fresca ultrapassou o valor estipulado. Nesta época, a maior disponibilidade de radiação solar (Figura 1), possivelmente por haver menor nebulosidade do que na época de verão, resultaram em maior acúmulo de FMSF (Tabela 2), e em um menor período de cultivo (16DAT). Em experimentos conduzidos em câmaras de crescimento, Gaudreau et al (1994), observou que as condições de iluminação com alta intensidade de luz propiciaram um aumento no peso seco da alface e um aumento na sua velocidade de crescimento.

Tabela 2. Valores médios de fitomassa seca de folhas (FMSF) de alface (g planta⁻¹) em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| ÉPOCAS | FMSF (g) |
|----------------|----------|
| Primavera | 7,78 a |
| Outono | 7,13 b |
| Verão | 6,97 b |
| Inverno | 6,90 b |
| DMS (Tukey) 5% | 0,574 |

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

Tabela 3. Valores médios de fitomassa seca de total (FMST) de alface (g planta⁻¹) em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| ÉPOCAS | FMST (g) |
|----------------|----------|
| Primavera | 11,46 a |
| Outono | 9,89 b |
| Verão | 9,34 b |
| Inverno | 8,79 b |
| DMS (Tukey) 5% | 1,183 |

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

4.2.2 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) é a relação adimensional entre a superfície fotossintetizante da planta (área foliar) e a superfície de domínio da mesma (área definida pelo espaçamento). O IAF das plantas cresce até o ponto em que o incremento do processo de autossombreamento ocasiona diminuição da eficiência fotossintética das folhas inferiores, que passam de fonte para dreno e assim inicia-se o processo de senescência (BENINCASA, 1988).

De acordo com Taiz; Zeiger (2004), a expansão foliar é o primeiro fator visível a ser afetado em condições de deficiência hídrica, pois a expansão celular depende

diretamente da turgescência da célula, e essa, por sua vez, dependente do estado de hidratação da planta, o qual está diretamente relacionado com a disponibilidade hídrica. Dessa forma, o IAF seria a primeira variável a demonstrar a ocorrência de estresse hídrico prejudicial à planta. Como não houve diferença entre os tratamentos de intervalos entre irrigações ($P \geq 0,05$) para o IAF (Tabela 1), confirma-se que todos os tratamentos de intervalos entre irrigações foram eficientes em suprir a demanda hídrica das plantas. Ressalta-se que mesmo na primavera e no verão, quando houve vários dias com temperaturas acima de 40°C (Figuras 1 e 2), não ocorreu deficiência hídrica prejudicial ao IAF, mesmo nos tratamentos de maior intervalo entre irrigações (T45 e T60).

Entre as épocas de cultivo, observou-se significância ($P < 0,05$) para os valores de IAF (Tabela 4). O cultivo de inverno destacou-se pelo maior valor de IAF dentre todas as épocas. Entretanto, observa-se na Tabela 2, que o cultivo de inverno apresentou a menor FMSF. O acúmulo de FMSF é dependente da disponibilidade de radiação solar para a realização da fotossíntese. A época de inverno foi a que apresentou menor disponibilidade de radiação solar (Figura 4). Assim, como forma de maximizar a captação da radiação solar disponível, as plantas aumentaram a área foliar, resultando nas diferenças apresentadas entre as épocas para essa variável. Esses dados corroboram com os encontrados por Abaurre et al. (2003) e Abaurre et al. (2004b) que em cultivos de alface cv. Regina observaram valores maiores de área foliar no inverno do que no verão.

Os valores de IAF, nas quatro épocas de cultivo variaram entre 12 e 14 (Tabela 4). Comparando-se os valores de IAF obtidos, com os citados por Segóvia (1991), que avaliando a influência do ambiente protegido sobre o crescimento da alface cv. Regina, apresentou um IAF de 6,7 no momento da colheita, verifica-se que os IAF das quatro épocas foram bem superiores. Já quando comparados com os valores de IAF obtidos por Medeiros (1999), para a alface cv. Regina conduzida em ambiente protegido, com substrato e fertirrigação, que encontrou valores de IAF de 11,67 aos 43 DAT no outono e 10,89 as 51DAT no inverno, observa-se que os valores foram próximos aos verificados para os quatro cultivos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios do índice de área foliar (IAF) da alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| ÉPOCAS | IAF |
|----------------|----------|
| Inverno | 13,92 a |
| Verão | 12,81 ab |
| Primavera | 12,68 ab |
| Outono | 12,15 b |
| DMS (Tukey) 5% | 1,716 |

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

4.2.3 Fitomassa seca de caule

O caule da alface é um órgão de reserva de assimilados, disponibilizados em momentos necessários, como, por exemplo, nos processos de floração e de emissão de folhas.

Não houve diferença significativa ($P \geq 0,05$) entre os intervalos entre irrigações para fitomassa seca de caule (FMSC) em nenhuma das épocas de cultivo (Tabela 1). Isso demonstra que os intervalos entre irrigações foram eficientes na produção de assimilados deslocados para acúmulo na FMSC.

A FMSC apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) entre as épocas de cultivo (Tabela 5). Os valores de FMSC foram maiores nos cultivos de verão e primavera, porém sem diferença significativa entre si. O menor valor de FMSC ocorreu no cultivo de outono, com $0,78 \text{ g planta}^{-1}$, significativamente menor que o valor verificado no inverno, o qual foi de $0,99 \text{ g planta}^{-1}$.

Da mesma forma que para a FMSF, as diferenças dos valores de FMSC entre as épocas de cultivo podem ser atribuídas às diferentes condições meteorológicas ocorridas em cada época (Figuras 1 a 4). Os maiores valores de FMSC encontrados do verão e na primavera são decorrentes das altas temperaturas do ar ocorridas (Figuras 1 e 2). De acordo com Ryder (1986), a ocorrência de temperaturas do ar elevadas induzem o pendoamento das plantas para o início da floração. Além disso,

Robinson et al. (1983), mencionam que os dias longos do verão favorecem a ocorrência do pendoamento da alface.

Em trabalho conduzido por Sanchez (2007) foram encontrados valores médios de 0,88 e 0,89 g planta⁻¹, para cultivares de alface crespa cultivadas na época de verão-outono em ambiente protegido convencional e climatizado, respectivamente. Esses dados corroboram com os valores apresentados nos cultivos de outono e de inverno, e são inferiores aos valores dos cultivos de primavera e de verão (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de fitomassa seca de caule (FMSC) de alface (g planta⁻¹) em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| ÉPOCAS | FMSC (g) |
|----------------|----------|
| Verão | 1,52 a |
| Primavera | 1,37 a |
| Inverno | 0,99 b |
| Outono | 0,78 c |
| DMS (Tukey) 5% | 0,158 |

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05).

4.2.4 Fitomassa seca de raiz

Observou-se efeito significativo (P<0,05) do fator intervalo entre irrigações sobre a fitomassa seca de raiz (FMSR) (Tabela 1). Dentre as épocas de cultivo, a ação do fator intervalo entre irrigações não foi significativa (P≥0,05) somente na primavera, com média de FMSR de 2,16 g planta⁻¹ (Figura 5). Nas demais épocas, observam-se a tendência de incremento da FMSR com o aumento do intervalo entre irrigações.

Em trabalho realizado por Luz et al. (2008), comparando intervalos entre irrigações em alface sob hidroponia, o maior intervalo aplicado, 45 minutos entre irrigações, proporcionou maiores valores de FMSR, corroborando com os dados apresentados nos cultivos de verão, outono e inverno (Figura 5). Segundo Santos;

Carlesso (1998), o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular no solo. De forma similar, na hidroponia, o aumento do intervalo entre irrigações favorece o incremento da FMSR com o objetivo de aumentar a área de absorção de solução nutritiva. Este fato também favorece o efeito de barreira promovido pelo sistema radicular sobre o escoamento da solução nutritiva dentro do canal de cultivo. Assim a ocorrência de maior massa de raízes dentro do canal proporciona maior tempo de permanência da solução em contato com as raízes, o que permite a ampliação dos intervalos entre irrigações.

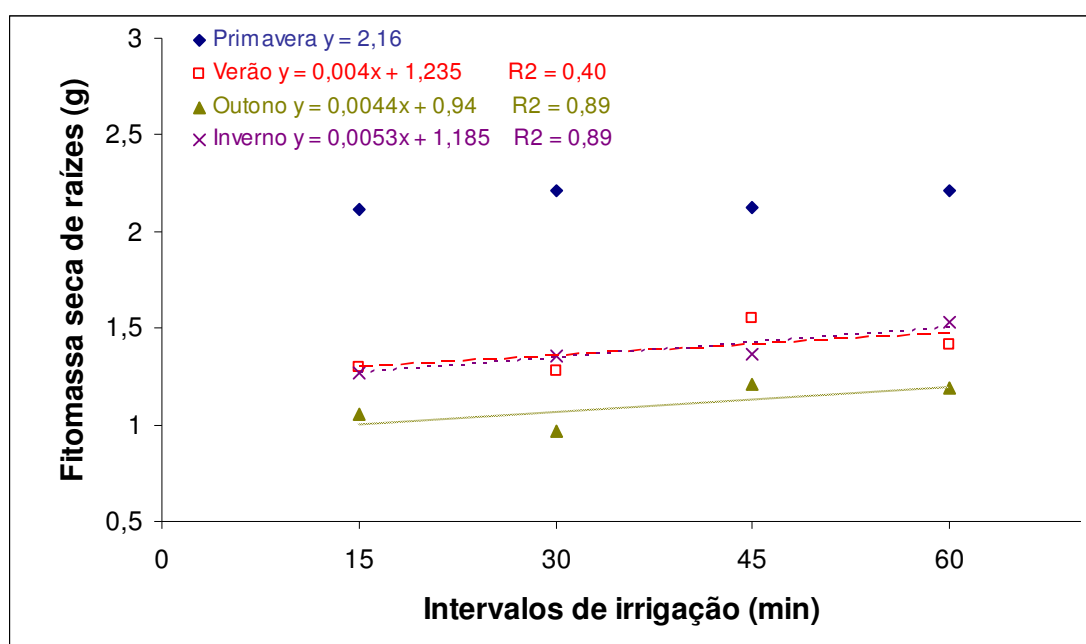


Figura 5. Fitomassa seca de raízes da alface cultivada em hidroponia com quatro intervalos entre irrigações (15; 30; 45 e 60 min) durante as épocas de primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

Apesar de haver tendência de maiores valores de FMSR nos tratamentos de maior intervalo entre irrigações (Figura 5), não houve efeito significativo ($P \geq 0,05$) do fator intervalo entre irrigações sobre a fitomassa seca total (FMST) (Tabela 1). Portanto, não houve maior produção de assimilados nos maiores intervalos, mas sim, uma pequena alteração na partição dos assimilados, que se tornou significativa apenas para FMSR.

Não foram encontradas diferenças significativas entre os intervalos entre irrigações para a FMSR na primavera. Possivelmente pelo fato de que ocorreu

grande acúmulo de FMSR em todos os intervalos entre irrigações, assim não houve a necessidade de maiores incrementos no sistema radicular nos tratamentos de maior intervalo, para retenção da solução nutritiva.

Entre as épocas de cultivo, observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) para a variável FMSR (Tabela 1). A primavera destacou-se com maior valor médio de FMSR, de $2,16 \text{ g planta}^{-1}$, diferenciando-se dos demais cultivos (Tabela 6), resultado semelhante ao ocorrido para a FMSF (Tabela 2). Possivelmente a maior disponibilidade de radiação solar e temperatura do ar (Figura 2) foi um fator que favoreceu o incremento da FMSR na primavera.

Tabela 6. Valores médios de fitomassa seca de raiz (FMSR) de alface (g planta^{-1}) em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| ÉPOCAS | FMSR (g) |
|----------------|----------|
| Primavera | 2,16 a |
| Verão | 1,39 b |
| Inverno | 1,38 b |
| Outono | 1,11 c |
| DMS (Tukey) 5% | 0,142 |

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

Os valores de FMSR variaram desde $1,11 \text{ g planta}^{-1}$ no outono até $2,16 \text{ g planta}^{-1}$ na primavera (Tabela 6). Esses valores são similares ao valor de $1,32 \text{ g planta}^{-1}$ citado por Casaroli et al. (2004), que avaliaram o desempenho de cultivares de alface em sistema hidropônico no outono, e também próximo o valor de $1,67 \text{ g planta}^{-1}$ encontrado por Sanchez et al. (2007), trabalhando com a alface na época de verão-outono em ambiente protegido.

4.2.5 Volume do sistema radicular

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) do fator intervalo entre irrigações sobre o volume do sistema radicular (VR) (Tabela 1). A ação do fator intervalo entre irrigações não foi significativa ($P \geq 0,05$) na época de primavera (Figura 1), com média de VR de $49,37 \text{ mm}^3$. Para as demais épocas de cultivo (Figura 6), ocorreu um incremento do valor de VR com o aumento do intervalo entre irrigações.

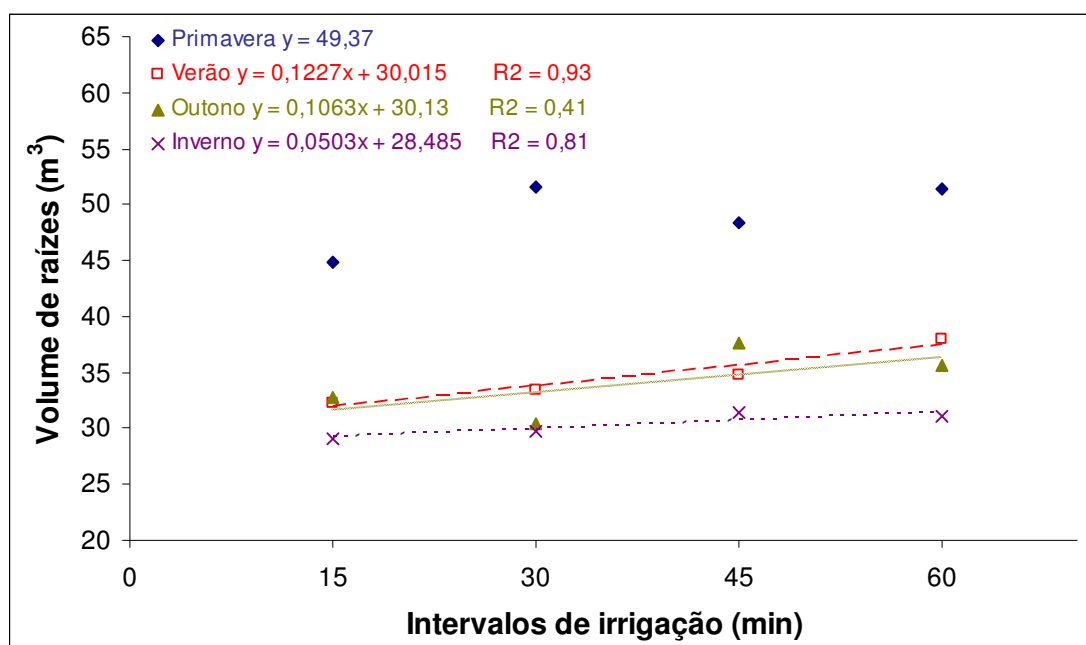


Figura 6. Volume do sistema radicular da alface cultivada em hidroponia com quatro intervalos entre irrigações (15; 30; 45 e 60 min) durante as épocas de primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria, 2008.

Os resultados de FMSR (Tabela 6) e VR (Tabela 7) foram similares, pois estas variáveis estão intimamente relacionadas entre si determinando o crescimento do sistema radicular.

O aumento do VR nos maiores intervalos entre irrigações ocorreu, possivelmente, para promover maior retenção da solução nutritiva, a fim de permitir uma disponibilidade de água e de nutrientes adequada para as plantas. O incremento de VR ocorrido nos maiores intervalos entre irrigações foi eficiente para

suprir as necessidades hídricas das plantas, pois não houve diferenças significativas de IAF e tampouco de FMSF para o fator intervalo entre irrigações (Tabela 1).

Tabela 7. Valores médios do volume do sistema radicular (VR) de alface (mm^3) em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| ÉPOCAS | VR (mm^3) |
|----------------|----------------------|
| Primavera | 49,37 a |
| Verão | 34,62 b |
| Outono | 34,12 b |
| Inverno | 30,94 b |
| DMS (Tukey) 5% | 3,708 |

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

4.3 Retenção de solução nutritiva

Não houve significância ($P \geq 0,05$) do fator intervalo entre irrigações sobre a retenção de solução nutritiva (RET) (Tabela 1). Dessa forma, os resultados apresentados na Tabela 1 demonstram que o efeito barreira realizado pelo sistema radicular dos diferentes tratamentos foi eficiente na retenção da solução nutritiva.

Observa-se na Figura 5 e na Figura 6, que houve incremento da FMSR e do VR com o aumento do intervalo entre irrigações, porém a RET foi a mesma para todos os intervalos (Tabela 1). Dessa forma, o aumento do VR nos maiores intervalos entre irrigações fez com que um menor volume do canal de cultivo ficasse disponível para a passagem da solução nutritiva. Então, no T15 o volume de irrigação é maior, pois o intervalo entre irrigações é menor, porém ocorre maior passagem da solução nutritiva, pois o VR é menor. Já, no T60 o volume de irrigação é menor, pois o intervalo entre irrigações é maior, porém ocorre menor passagem de solução nutritiva, pois o VR é maior. Assim, o incremento do VR acabou compensando o fato de circular menos solução nutritiva nos intervalos maiores, conseqüentemente o T60 reteve a mesma quantidade de solução nutritiva, mesmo circulando aproximadamente a metade do volume de solução do T15.

Dentre as épocas de cultivo, a maior retenção de solução nutritiva ocorreu na primavera, devido aos maiores valores de FMSR (Tabela 5) e ao maior VR (Tabela 7). Entre as épocas de verão, outono e inverno não houve diferenças significativas de RET ($P \geq 0,05$) (Tabela 8), comportamento similar ao verificado para o VR (Tabela 7). Assim, reafirma-se o efeito barreira do VR, proporcionando a retenção da solução nutritiva no sistema radicular e permitindo a ampliação dos intervalos entre irrigações.

Portanto, o aumento da retenção da solução nutritiva decorrente do acréscimo da FMSR e do VR evitou a ocorrência de um possível déficit hídrico prejudicial para a cultura nos tratamentos de maior intervalo entre irrigações (T30, T45 e T60). Assim, apesar das condições meteorológicas adversas encontradas, principalmente nos cultivos de primavera (Figura 1) e verão (Figura 2), não foram verificadas deficiências hídricas, pois não ocorreram reduções do IAF com o aumento do intervalo entre irrigações (Tabela 3).

Tabela 8. Valores médios de retenção de solução nutritiva (RET) (mm^3) por alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| ÉPOCAS | RET (mm^3) |
|----------------|-----------------------|
| Primavera | 22,17 a |
| Verão | 14,46 b |
| Outono | 14,37 b |
| Inverno | 13,67 b |
| DMS (Tukey) 5% | 6,039 |

*Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \geq 0,05$).

4.4. Consumo de energia elétrica

Para o funcionamento dos sistemas hidropônicos foram utilizados os mesmos conjuntos moto-bomba em todas as épocas de cultivo, resultando em consumos diários de energia elétrica iguais entre todas as épocas (Tabela 9). O que diferenciou o consumo final de energia elétrica das épocas de cultivo foi apenas o número de dias de cultivo de cada época. Dessa forma, o cultivo de primavera foi o que

apresentou os menores consumos de energia elétrica e o cultivo de inverno foi o que apresentou os maiores consumos (Tabela 9).

Os consumos de energia elétrica dos conjuntos moto-bomba variou com os intervalos entre irrigações, incrementando seu valor com o aumento do intervalo (Tabela 9). Assim, observa-se que, não havendo redução da produtividade dos cultivos, o maior intervalo entre irrigações é o mais eficiente, pois reduz o consumo de energia elétrica, revelando interessante vantagem financeira em cultivos sucessivos.

Tabela 9. Valores de consumo diário de energia elétrica (Cons diário), consumo total de energia elétrica durante o ciclo de cultivo (Cons total), custo diário da energia elétrica (CustD), custo total da energia elétrica durante o ciclo de cultivo (CustT) e custo de energia elétrica por planta no sistema (CustP), da produção de alface em sistema hidropônico submetida a quatro intervalos entre irrigações, 15 min (T15), 30 min (T30), 45 min (T45) e 60 min (T60), nas em quatro épocas de cultivo, primavera, verão, outono e inverno. UFSM, Santa Maria – RS, 2008.

| Época | Tratamento | Cons diário | Cons total | CustD | CustT | CustP |
|-----------|------------|-------------|------------|-------|-------|-------|
| | | Kwh | R\$ | R\$ | R\$ | R\$ |
| Primavera | T15 | 2,52 | 40,32 | 1,09 | 17,44 | 0,05 |
| | T30 | 1,77 | 28,32 | 0,77 | 12,32 | 0,03 |
| | T45 | 1,4 | 22,4 | 0,61 | 9,76 | 0,03 |
| | T60 | 1,17 | 18,72 | 0,51 | 8,16 | 0,02 |
| Verão | T15 | 2,52 | 47,88 | 1,09 | 20,71 | 0,06 |
| | T30 | 1,77 | 33,63 | 0,77 | 14,63 | 0,04 |
| | T45 | 1,4 | 26,6 | 0,61 | 11,59 | 0,03 |
| | T60 | 1,17 | 22,23 | 0,51 | 9,69 | 0,03 |
| Outono | T15 | 2,52 | 57,96 | 1,09 | 25,07 | 0,07 |
| | T30 | 1,77 | 40,71 | 0,77 | 17,71 | 0,05 |
| | T45 | 1,4 | 32,2 | 0,61 | 14,03 | 0,04 |
| | T60 | 1,17 | 26,91 | 0,51 | 11,73 | 0,03 |
| Inverno | T15 | 2,52 | 73,08 | 1,09 | 31,61 | 0,09 |
| | T30 | 1,77 | 51,33 | 0,77 | 22,33 | 0,06 |
| | T45 | 1,4 | 40,6 | 0,61 | 17,69 | 0,05 |
| | T60 | 1,17 | 33,93 | 0,51 | 14,79 | 0,04 |

* Custo médio da unidade de alface = R\$ 0,28 (Silva; Schwonka, 2004)

A medida de produtividade no caso da alface hidropônica é a área foliar, uma vez que essa hortaliça é vendida ao mercado em dúzias, e a característica observada pelo produtor no momento da colheita, e pelo consumidor final no momento da compra, é a área de folhas. Ressalta-se, portanto, que os quatro tratamentos foram eficientes nas épocas de primavera, verão, outono e inverno, pois não se diferenciaram quanto ao IAF (Tabela 1).

Deste modo, nas quatro épocas de cultivo o tratamento T60 foi o mais adequado, por possibilitar o mesmo IAF, com uma economia de energia elétrica de 53,57%.

5 CONCLUSÃO

Em função dos resultados obtidos e para as condições em que o experimento foi realizado, conclui-se que:

A produção de fitomassa seca e de área foliar da alface não é prejudicada pela ampliação do intervalo entre irrigações desde 15 até 60 min.

Ocorre um incremento da fitomassa e do volume do sistema radicular das plantas com a ampliação do intervalo entre irrigações, promovendo retenção da solução nutritiva. Assim, o T60 retém a mesma quantidade de solução nutritiva que o T15, mesmo circulando aproximadamente a metade do volume de solução nutritiva. Essa retenção permite a ampliação do intervalo entre irrigações sem a ocorrência de deficiência hídrica.

Nas épocas de primavera, de verão, de outono e de inverno o tratamento T60 é o mais adequado, por permitir uma economia de energia elétrica de até 53,57% sem prejuízos à produtividade da cultura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAURRE M. E. O. et al. Produtividade de duas cultivares de alface sob malhas termorrefletoras e difusoras no cultivo de verão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43., 2003, Recife. **Resumos...** Recife, 2003. 1CD-ROM.

ABAURRE M. E. O. et al. Produtividade de duas cultivares de alface sob malhas termorrefletoras e difusoras no cultivo de primavera. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44., 2004, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande, 2004a. 1CD-ROM.

ABAURRE M. E. O. et al. Produtividade de duas cultivares de alface sob malhas termorrefletoras e difusoras no cultivo de outono-inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44., 2004, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande, 2004b. 1CD-ROM.

AITA, A.; LONDERO, F. A. A. Custo de produção de alface hidropônica. In: SANTOS, O. S. (Ed.) **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. cap. 2, p. 10-24.

ALBERONI, R. B. **Hidroponia – como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo**. São Paulo: Nobel, 1998. 102 p.

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.2, p.31-38, maio/ago. 1997.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. 142 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise do crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 44 p.

BLISKA Jr., A.; HONÓRIO, S. L. **Hidroponia**. Campinas: UNICAMP, 1996. 50 p. (Cartilha Tecnológica).

BRUNINI, O. et al. Temperatura base para a alface (*Lactuca sativa*, L.) cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Revista de Olericultura**, Lavras, v. 16, n. 2, p. 28-29, maio/ago. 1976.

BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1053-1060, jul. 1998.

CARMELLO, Q. A. de C. Cultivo protegido: hidroponia, manejo e instalações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 38., 1998. Petrolina: SOB, 1998. 43 p. (Apostila de Minicurso).

CARRASCO, G. et al. Development of nutrient film technique "NFT" in Chile: The use of intermittent recirculation regimes. **Acta horticulturae**, Ontario, n. 481, p. 305-309, jan. 1999.

CASAROLI, D. et al. Desempenho de onze cultivares de alface em duas formas diferentes de canais de cultivo, no sistema hidropônico. **Rev. Fac. Zoo. Vet. Agro. Uruguaiana**, Uruguaiana, v. 10, p. 114-123, jul./dez. 2004.

CASTELLANE. P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo - Hidroponia**. Jaboticabal: FUNEP. 1995. 43 p.

CERMEÑO, Z. S. **Cultivo de plantas hortícolas em estufa**. Lisboa: Ed. Litexa, 1977. 368 p.

CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F.; KLOSOWSKI, É. S. Balanço de energia em pimenteiro sob cultivo protegido e a campo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 159-167, maio/ago. 2001.

DANTAS, R. T. **Parâmetros agrometeorológicos e análise de crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) em ambientes natural e protegido**. 1997. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

DELISTOIANOV, F. **Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface, sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono**. 1997. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FAO. **Protected cultivation in the mediterranean climate**. Rome: FAO, 1990. 313 p. (Plant Production and Protection Paper, 90).

FAQUIN, V. et al. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA, 1996. 50 p.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 99-104, out. 1999.

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

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

FURLANI, P. R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1995. 18 p. (documentos IAC, 55).

FURLANI, P. R. et al. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. 52 p. (Boletim técnico, 180).

GAUDREAU, L. et al. Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 11, p. 1285-1289, nov. 1994.

GIMENES, E. S. et al. Efeito da atenuação da densidade de fluxo da radiação solar incidente no crescimento da alface. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 241-246, abr./jun.1994.

GLENN, E. P. Seasonal effects of radiation and temperature on growth of greenhouse lettuce in a high insolation desert environment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 22, n. 1-2, p. 9-21, jan. 1984.

GOTO, R. A cultura da alface. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições subtropicais. São Paulo: UNESP, 1998. p. 137-159.

JEANNEQUIN, B. Les systèmes de culture hors sol em maraîchage. In: BLANC, D. (Ed.) **Les cultures hors sol**. Paris: INRA, 1987. p. 251-280.

LONDERO, F. A. A. **Reposição de nutrientes em soluções nutritivas no cultivo hidropônico da alface**. 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C. (Ed.) **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-10.

LUZ, G. L. et al. Consumo de energia elétrica e produção de alface hidropônica com três intervalos entre irrigações. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 815-818, maio/jun. 2008.

MADARIAGA, F. J.; KNOTT, J. E. Temperature summations in relation to lettuce growth. **Proceedings of the American Society of Horticulture Science**, Stanford, v. 58, n. 2, p. 147-152, Mar./Apr. 1951.

MARTINEZ, E. P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**, Viçosa: Ed. UFV, 1999. (Cadernos didáticos)

MARTINS, S. R.; GONZALES, J. F. Avaliação da temperatura interna de estufa plástica dotada com sistema de calefação por fluxo de ar quente. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 5-11, jan./abr. 1995.

McCREE, K. J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. **Agricultural Meteorology**, New York, v. 9, n.11, p. 191-216, nov. 1972.

McCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 353-360, Mar./Apr. 1989.

MEDEIROS, L. A. M. **Influência da fertirrigação em substratos no crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) conduzida em estufa plástica**. 1999. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MONDIN, M. **Efeito de sistemas de cultivo na produtividade e acúmulo de nitrato em cultivares de alface**. 1996. 88 f. Tese (Doutorado em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da UNESP, Jaboticabal.

MORAES, C. A. G. de. **HIDROPONIA** - Como cultivar tomates em sistema NFT (Técnica do Fluxo de Nutrientes). Jundiaí: DISQ, 1997. 48 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 43 p.

MOTA, F. S.; BEIRSDORF, M. I. C.; GARCEZ, J. R. B. **Zoneamento Agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Pelotas: IPEAS, 1971. 80 p.

ODA, M.; AOKI, S. Application of monitoring fresh weight to analyzing growth responses to air temperature and light intensity in leaf lettuce. **Acta Horticulturae**, Hamamatsu, v. 1, n. 230, p. 451-458, Sep. 1988.

OHSE, S. Qualidade nutricional e acúmulo de nitrato em alface. In: SANTOS, O.S. (Ed.) **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. p. 10-24.

PÁEZ, A. et al. Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 4, p. 698-706, Jul. 1995.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

PILAU, F. G. **Intervalos entre irrigações na produção de alface hidropônica**. 2002, 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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

RESH, H. M. **Hydroponic food production**. 6th ed. Califórnia, EUA: Woodbridge Press, 2002. 527 p.

_____. **Cultivos hidropónicos: nuevas técnicas de producción**. Madrid: Mundi-Prensa, 1997. 509 p.

REISSER Jr., C. **Evapotranspiração da alface (*Lactuca sativa* L.) em estufa plástica e ambiente natural**. 1991. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ROBINSON, R. W.; MCGREIT, J. D.; RYDER, J. E. The genes of lettuce and closely related species. In: JANICK, J. (Ed). **Plant breeding reviews**. Westport: AVI, 1983. p. 287-301.

RYDER, J. E. Lettuce breeding. In: **Breeding Vegetables Crops**. Westport: AVI, 1986. p. 433-474.

SANCHES, C. A.; ALLEN, R. J.; SCHAFFER, B. Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. **Journal of the American Horticultural Science**, Stanford, v. 114, n. 6, p. 844-890, Nov. 1989.

SANCHEZ, S. V. **Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP)**. 2007. 63 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SANTOS, O. S. Conceito e histórico. In: _____. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Ed UFSM, 1998a. p. 1-3.

SANTOS, O. S. Soluções nutritivas. In: _____. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1998b. p. 72-85.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, set./dez. 1998.

SCHMIDT, D.; SANTOS, O. S. Cultivares de alface. In: SANTOS, O. S. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. p. 57-62.

SCHMIDT, D. **Soluções nutritivas, cultivares e formas de sustentação de alface cultivada em hidroponia**. 1999. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SEGINER, I. et al. Optimal temperatura setpoints for greenhouse lettuce. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 49, n. 1, p. 209-226, Jan. 1991.

SEGÓVIA, J. F. O. **Influência da proteção ambiental de uma estufa de polietileno transparente sobre o crescimento da alface**. 1991. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SENTELHAS P. C.; VILLA NOVA, N. A.; ANGELOCCI, R. L. Efeito de diferentes tipos de cobertura, em mini estufas, na atenuação da radiação solar e da luminosidade In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 480-484.

SENTELHAS, P. C.; BORSATTO, R. S., MINAMI, K. Transmissividade da radiação solar em estufas cobertas com filmes de PVC azul e transparente. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 157-162, maio/ago. 1999.

SILVA, E .L.; MARTINEZ, L. F.; YITAYEW, M. Relação entre coeficientes de cultura e graus-dia de desenvolvimento da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 134-142, jul. 1999.

SILVA, E.; SCHWONKA, F. Viabilidade econômica para a produção de alface no sistema hidropônico em Colombo, região metropolitana de Curitiba, PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, p. 126-132, jan. 2001.

SINERGIA. **Jornal Sinergia CUT** - Nº 595 - de 26/01 a 01/02/2004. 2004. Disponível em: <http://www.sinergiaspcut.org.br/jornal/jornal_595.htm>. Acesso em: 01 ago. 2005.

SLACK, D. C. et al. Growing-degree-day based crop coefficients for irrigation management. In: CONGRESSO NACIONAL ASOCIACION MEXICANA DE INGENIERIA AGRICOLA 4., 1994, Cuautitlán Izcalli. **Anais...**, Cuautitlán Izcalli: Asociacion Mexicana de Ingenieria Agrícola, 1994. p. 7-13.

STAFF, H. **Hidroponia**. 2. ed. Cuiabá: SEBRAE/MT. 1998. 101 p. (Coleção Agroindústria; v.11).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEIXEIRA, N. T. **Hidroponia** – uma alternativa para pequenas áreas. Guaíba: Agropecuária, 1996. 86 p.

YURI J. E. et al. **Alface americana:cultivo comercial**. Lavras: UFLA, 2002. 51 p.
(Texto acadêmico).

ANEXOS

Anexo 1. Composição química da solução nutritiva recomendada por Castellane; Araújo (1995) para a cultura da alface, utilizada na produção de mudas (25% e 50% da concentração recomendada) e na produção final (100% da concentração recomendada) para os cultivos realizados. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008

| Fontes | Concentração |
|---|------------------------|
| | 100% |
| | g.1000 L ⁻¹ |
| Ca(NO ₃) ₂ | 950 |
| KH ₂ PO ₄ | 272 |
| KNO ₃ | 900 |
| MgSO ₄ | 246 |
| H ₃ BO ₃ | 2,849 |
| CuSO ₄ 5H ₂ O | 0,189 |
| MnSO ₄ .2H ₂ O | 1,7 |
| Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O | 0,12 |
| ZnSO ₄ .7H ₂ O | 1,149 |
| Ferro –EDTA* | 1000 ml |

* Nesta solução será utilizado o Ferro-EDTA como fonte de ferro, obtido através da dissolução de 25,1g de sódio-EDTA em 400ml de água quente (80°C) e 24,1g de Sulfato de ferro em 400ml de água, misturando-se as duas soluções frias, completando-se o volume para 1,0 litro e borbulhado ar por 12 horas no escuro.

Anexo 2. Normais climatológicas mensais obtidas com dados da estação climatológica principal de Santa Maria com dados do período de 1961 a 1990 para a temperatura do ar, temperatura máxima do ar e temperatura mínima do ar e do período de 1957 a 1984 para a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

| NORMAIS CLIMATOLÓGICAS | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Parâmetros | Meses | | | | | | | | | | | | |
| | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Maio | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Ano |
| Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) | 24,6 | 24,0 | 22,2 | 18,8 | 16,0 | 12,9 | 13,5 | 14,6 | 16,2 | 18,8 | 21,4 | 22,7 | 18,8 |
| Temperatura Máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$) | 30,4 | 30,0 | 28,2 | 25,0 | 22,1 | 19,2 | 19,6 | 20,3 | 21,9 | 24,8 | 27,3 | 29,5 | 24,9 |
| Temperatura Mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) | 19,1 | 19,5 | 17,9 | 14,5 | 11,8 | 9,3 | 9,5 | 10,4 | 11,3 | 13,5 | 15,9 | 18,3 | 14,2 |
| Radiação Solar Global* ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) | 19,9 | 18,0 | 15,5 | 11,8 | 9,9 | 7,9 | 8,3 | 9,8 | 12,8 | 15,9 | 18,7 | 20,4 | 337 |

Fonte: Caderno didático, disciplina de Climatologia Agrícola – Curso de Agronomia - CCR - UFSM