

LAÉRCIO DA SILVA PEREIRA

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO NO
DESENVOLVIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MINI ALFACE
ROMANA CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Botucatu

2021

LAÉRCIO DA SILVA PEREIRA

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO NO
DESENVOLVIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MINI ALFACE
ROMANA CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia – Irrigação e
Drenagem

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury
Saad

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Ismael
Inácio Cardoso

Botucatu

2021

P436e Pereira, Laércio da Silva
Estratégias de irrigação e doses de nitrogênio no desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em mini alface romana cultivada em ambiente protegido / Laércio da Silva Pereira. -- Botucatu, 2021
112 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: João Carlos Cury Saad
Coorientador: Antônio Ismael Inácio Cardoso

1. Lactuca sativa. 2. Fertirrigação. 3. Irrigação por pulso. 4. Irrigação intermitente. 5. Trocas gasosas foliares. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE NITROGÊNIO NO DESENVOLVIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MINI ALFACE ROMANA CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO

AUTOR: LAERCIO DA SILVA PEREIRA

ORIENTADOR: JOÃO CARLOS CURY SAAD

COORIENTADOR: ANTONIO ISMAEL INÁCIO CARDOSO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

P/ Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS (Participação Virtual)
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

P/ Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

P/ Prof. Dr. JOSÉ ORLANDO PIAULINO FERREIRA (Participação Virtual)
Colégio Técnico de Bom Jesus / Universidade Federal do Piauí

P/ Prof. Dr. CARLOS JOSÉ GONÇALVES DE SOUZA LIMA (Participação Virtual)
Engenharia Agrícola e Solos / Universidade Federal do Piauí

Botucatu, 17 de março de 2021

*À minha amada avó,
Antônia de Abreu Pereira,
dedico*

AGRADECIMENTOS

Ao SENHOR DEUS (*EL SHADAY*) criador de todas as coisas, o todo poderoso, o alfa e o ômega, o princípio e o fim, o autor e consumidor da minha fé. Sou grato ao SENHOR pelo dom da vida, saúde, paz e amor incondicional. Obrigado por me ouvir e atender todas as minhas necessidades e cobrir minha vida de bens de sorte que as minhas forças se renovam a cada dia. Ao SENHOR seja dada toda glória, honra e louvor para todo sempre! Amém.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Irrigação e Drenagem da Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/FCA) de Botucatu-SP, pela oportunidade de realização profissional, sabendo claro, que preciso melhorar e evoluir em inúmeros aspectos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu Orientador e amigo Prof. Dr. João Carlos Cury Saad pela orientação, paciência, confiança, amizade, respeito, pela oportunidade de aprender com o senhor. És minha referência profissional. Jamais esquecerei do senhor e de tudo que fizeste ao meu favor. Não teria conseguido sem sua ajuda. Muito obrigado, grande Guru.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Antonio Ismael Inácio Cardoso por suas contribuições no trabalho, orientação, amizade, parceria e incentivo.

Aos meus pais Antônio Abreu Pereira e Maria Irene da Silva Pereira, pelo carinho, amor, amizade, dedicação e incentivo. Aos meus tios Raimundo Abreu e Jair Queiroz e tias Ana Lúcia Queiroz e Ednalva Pereira pela grande ajuda financeira e incentivo aos estudos.

À minha amada avó Antônia de Abreu Pereira pela ajuda financeira, criação e ensino sobre a vida. Serei eternamente grato por seu amor, carinho, amizade e ajuda em todos os sentidos. Obrigado por tudo.

À minha linda, bela e maravilhosa namorada Glaucia Brandão Fagundes por seu amor, carinho, atenção, dedicação, respeito e orações. Obrigado por sua ajuda e incentivo. Amo você, cheirosa.

Ao funcionário da Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/FCA) Gilberto Winckler pela grande ajuda em todos os momentos do experimento. Não teria conseguido sem o senhor. Jamais esquecerei da nossa amizade e das brincadeiras sobre times de futebol. Muito obrigado, senhor Gilberto.

À todos os professores da Pós-Graduação em Agronomia: Irrigação e Drenagem, pelo conhecimento transmitido e pela total atenção, em especial ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva (UNESP/FCA/produção vegetal) e ao Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura (LECA) pela ajuda nas análises fisiológicas, laboratoriais e pela parceria. Muito obrigado.

Ao Prof. Dr. Carlos José Gonçalves de Souza Lima “O Logan” (UFPI/CCA) por sua amizade, parceria, contribuições em minha vida profissional e participação na banca examinadora.

Ao Prof. Dr. José Orlando Piauilino Ferreira “A lenda” (UFPI/CTBJ) por me acompanhar desde a graduação. Muito obrigado por sua amizade, parceria, atenção, ensino e pelas sugestões no trabalho e participação na banca examinadora.

Ao grupo de agricultura irrigada da Universidade Federal do Piauí (UFPI/CPCE) em especial ao Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva e Julian Junio de Jesus Lacerda pela ajuda e contribuição nas análises de solo do artigo IV.

À empresa de sementes Rijk Zwaan pelo fornecimento das sementes e parceria.

Ao Sr. Sérgio Tadeu de Castro, carinhosamente “O inspetor Bugiganga”, pelo desenvolvimento do controlador da irrigação. Sua inteligência e genialidade são incomensuráveis. Muito obrigado meu amigo. Não teria conseguido sem sua ajuda.

À Verônica Andressa de Castro pela grande ajuda na instalação, condução e avaliação do experimento no campo. Você foi fundamental. Ao amigo e companheiro de trabalho Vicente Silva pela grande ajuda nas avaliações das trocas gasosas e análises fisiológicas das plantas.

Ao funcionário sr. Jair do Departamento de Solos e Recursos Naturais (UNESP/FCA) pela ajuda na colheita e na avaliação das plantas do experimento. Ao funcionário William Bailo pela grande ajuda na instalação elétrica do trabalho.

Aos meus amigos e irmãos do grupo “*Depois do Culto*”, David Victor, Lilian Amaral, Michellane Santos “*A estilosa*”, Deoclécio Amorim, Jania Cláudia e Dayane Ribeiro. Vocês são incríveis. Agradeço pela ajuda no experimento, amizade, carinho e brincadeiras. Estarão sempre em meu coração.

À irmã Marilene Alves por suas orações ao SENHOR em meu favor. Obrigado pelo incentivo e ajuda durante o período de doutorado. À querida irmã Maria José Amaral e seu esposo Antônio Amaral pela hospitalidade, carinho, amizade,

aconchego, comidas e lanches. Vocês são pessoas incríveis. Muito obrigado pelo carinho.

À todos os meus irmãos, irmãs e pastores das Assembleias de Deus em Codó-MA, Teresina-PI e Botucatu-SP pelas orações, ajuda, amizade e incentivo. Agradeço a todos pela ajuda na realização do sonho de ser Doutor em Irrigação e Drenagem.

Aos amigos de Pós-graduação da UNESP/FCA Marcela Caetano, Amanda Almeida, Alberto Arroyo “*O primo*”, João de Jesus, Mara Lúcia, João Celso Collaço, Claudia Marassá, Bruno Henrique e Valdomiro Pitoro pela amizade construída em Botucatu-SP.

Obrigado a todos que contribuíram para a realização deste sonho!

RESUMO

A alface é uma das hortaliças folhosas mais exigentes em água e nitrogênio (N), uma vez que estes fatores são fundamentais na fisiologia, no crescimento e na obtenção de alto rendimento da cultura. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de estratégias de manejo de irrigação e doses de N sobre os aspectos fisiológicos, crescimento, rendimento, teor e acúmulo de nutrientes em mini alface romana verde Astorga cultivada em ambiente protegido. Os experimentos foram conduzidos em dois ciclos consecutivos de cultivo em casa de vegetação e os tratamentos constaram da combinação de três estratégias de irrigação com duas doses de nitrogênio: irrigação contínua (Cont – aplicação da lâmina de irrigação em uma única vez), três pulsos de irrigação em intervalos de uma hora (Int1), três eventos de irrigação em intervalos de quatro horas (Int2), 100 e 130 kg ha⁻¹ de N. As variáveis fisiológicas foram avaliadas aos 7, 14 e 21 dias após o início da aplicação das estratégias de irrigação, nos dois ciclos de cultivo, com uso de analisador de gás. As plantas foram colhidas aos 35 e 30 dias após o transplante das mudas no primeiro e segundo ciclos, respectivamente, e avaliadas quanto ao crescimento, rendimento, eficiência de uso da água, teor e acúmulo de macro e micronutrientes nas folhas. As estratégias de irrigação intermitente (Int1 e Int2) aumentaram a condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂, taxa de assimilação líquida de CO₂, o teor relativo de água nas folhas, índice relativo de clorofila, e a eficiência quântica do fotossistema II. O N não influenciou a condutância estomática, fluorescência máxima, variável e a eficiência quântica do fotossistema II. Int1 e Int2 promoveram aumentos expressivos no crescimento vegetativo, na produtividade e otimizaram a eficiência de uso da água como fator de produção. A dose de 130 kg ha⁻¹ de N aumentou a produtividade e a eficiência de uso da água pela alface apenas no primeiro ciclo de cultivo. A utilização das estratégias de intermitência no manejo da irrigação aumentou o teor e o acúmulo de nutrientes na alface e a dose de 100 kg ha⁻¹ de N otimizou a eficiência de uso do N.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*; fertirrigação; irrigação por pulso; irrigação intermitente; trocas gasosas foliares; eficiência de uso da água; eficiência de uso do nitrogênio.

ABSTRACT

Lettuce is one of the most demanding leafy vegetables in water and nitrogen (N), since these factors are fundamental in the physiology, growth and obtaining high yield of the crop. This study aimed was to evaluate the influence of irrigation management strategies and N doses on the physiological aspects, growth, yield, content and accumulation of nutrients in Astorga green lettuce mini romaine grown in a protected environment. The experiments were conducted in two consecutive greenhouse cultivation cycles and the treatments consisted of combining three irrigation strategies with two doses of nitrogen: continuous irrigation (Cont - application of the irrigation depth in a single time), three irrigation pulses at one hour intervals (Int1), three irrigation events at four hour intervals (Int2), 100 and 130 kg ha⁻¹ of N. The physiological variables were evaluated at 7, 14 and 21 days after the start of the application of irrigation strategies, in the two cultivation cycles, using a gas analyzer. Plants were harvested at 35 and 30 days after transplanting seedlings in the first and second cycles, respectively, and evaluated for growth, yield, water use efficiency, content and accumulation of macro and micronutrients in the leaves. The intermittent irrigation strategies (Int1 and Int2) increased stomatal conductance, transpiration, internal CO₂ concentration, net CO₂ assimilation rate, the relative water content in the leaves, relative chlorophyll index and the quantum efficiency of photosystem II. N did not influence stomatal conductance, maximum, variable fluorescence and the quantum efficiency of photosystem II. Int1 and Int2 promoted significant increases in vegetative growth, productivity and optimized the water use efficiency as a production factor. The dose of 130 kg ha⁻¹ of N increased productivity and water use efficiency by lettuce only in the first cultivation cycle. The use of intermittency strategies in irrigation management increased the content and accumulation of nutrients in lettuce and the dose of 100 kg ha⁻¹ of N optimized the efficiency of N use.

Keywords: *Lactuca sativa*; fertigation; pulse irrigation; intermittent irrigation; leaf gas exchange; water use efficiency; nitrogen use efficiency.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1 – MANEJO DA IRRIGAÇÃO E ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM MINI ALFACE ROMANA CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO	19
1.1 INTRODUÇÃO.....	19
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
1.3 RESULTADOS.....	28
1.4 DISCUSSÃO.....	39
1.5 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	48
CAPÍTULO 2 – INTERMITÊNCIAS NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E NITROGÊNIO OTIMIZAM A PRODUTIVIDADE E A EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA EM MINI ALFACE	53
2.1 INTRODUÇÃO.....	54
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
2.3 RESULTADOS.....	61
2.4 DISCUSSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	74
CAPÍTULO 3 – TEOR E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MINI ALFACE EM FUNÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO	78
3.1 INTRODUÇÃO.....	79
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	80
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
REFERÊNCIAS.....	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICE A.....	102
APÊNDICE B.....	105
APÊNDICE C.....	107
APÊNDICE D.....	108

APÊNDICE E.....	109
APÊNDICE F.....	110
APÊNDICE G.....	111
APÊNDICE H.....	112

INTRODUÇÃO GERAL

Água e nitrogênio são fundamentais para a atividade fisiológica, crescimento vegetativo e rendimento das culturas agrícolas, especialmente para hortaliças folhosas como a alface. A forma, frequência e as quantidades aplicadas destes fatores são determinantes para a obtenção do máximo rendimento dessa hortaliça. No entanto, ainda é possível aprimorar estratégias de manejo de água e fertilizantes nitrogenados, visando a máxima produtividade e o uso mais eficiente destes fatores de produção.

O manejo de irrigação intermitente projeta-se como uma alternativa para melhorar o manejo da água e de fertilizantes nas áreas cultivadas. Essa estratégia é caracterizada pelo fracionamento da lâmina de irrigação ao longo do dia, alternando eventos de irrigação com intervalos sem aplicação de água, repetindo-se este ciclo até que a lâmina de irrigação seja totalmente aplicada à cultura (GARCÍA-PRATS; GUILLEM-PICÓ, 2016; ALMEIDA et al., 2018).

Estudos desenvolvidos com várias culturas em diferentes locais do mundo apontam que o manejo de irrigação intermitente é capaz de maximizar a produtividade das culturas como o milho (ZIN EL-ABEDIN, 2006), alface americana (ALMEIDA et al., 2015), batata (BAKEER, et al., 2009; ABDELRAOUF et al., 2012b; ELNESR; ALAZBA, 2015), soja (EID et al., 2013), cebola (MADANE et al., 2018), feijão (EL-MOGY et al., 2012; ALMEIDA et al., 2018), tomate cereja (FRANCA et al., 2017) e laranja (ABDELRAOUF et al., 2019).

Além de aumentar a produtividade das culturas, a irrigação intermitente também contribui para melhorar a qualidade dos produtos colhidos (EL SAIDI et al., 2010; ELNESR et al., 2015; MADANE et al., 2018), maximizar as taxas de crescimento das plantas (EL SAIDI et al., 2010; MADANE et al., 2018), aumentar o teor e acúmulo de nutrientes, biomassa, teor de clorofila foliar e o conteúdo de água presente nos tecidos vegetais (EL-MOGY et al., 2012; EID et al., 2013; ZAMORA et al., 2019; MENEZES et al., 2020a,b).

No solo o uso da irrigação intermitente é capaz de reduzir a velocidade da frente de umidade (NASCIMENTO et al., 2013), aumentar a eficiência de uso da água e fertilizantes (ZIN EL-ABEDIN, 2006; BAKEER, et al., 2009; ABDELRAOUF et al., 2012a,; ABDELRAOUF et al., 2012b; EID et al., 2013; ALMEIDA et al., 2015),

economizar a lâmina de irrigação a ser aplicada, diminuir a taxa de entupimento de gotejadores e elevar a uniformidade e eficiência de aplicação de água no solo (ZIN EL-ABEDIN, 2006; BAKEER, et al., 2009; ABDELRAOUF et al., 2012b), bem como reduzir os efeitos negativos da salinidade da água de irrigação (ALMEIDA et al., 2018).

Apesar dos inúmeros benefícios da irrigação intermitente, o elevado número de eventos de irrigação por dia associado à aplicação de pequenas lâminas de irrigação, também pode promover queda de rendimento em razão do aumento da taxa de evaporação da água do solo, e do aumento significativo da concentração de sais na região radicular, causando diminuição no crescimento e na produtividade (EID et al., 2013).

O nitrogênio (N) é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas. Este nutriente participa da síntese de proteínas, aminoácidos, clorofilas, ácidos nucléicos, fotossíntese, aumenta o crescimento vegetativo e melhora o rendimento das plantas (PERCHLIK; TEGEDERE, 2018; SHESHBAHREH et al., 2018) e também contribui para aumentar a tolerância das plantas ao estresse provocado pela baixa disponibilidade de água no solo e elevadas temperaturas (WANG et al., 2012; WANG et al., 2017; SHESHBAHREH et al., 2018).

O N é um dos nutrientes mais absorvidos e acumulados na matéria seca da cultura da alface (DALASTRA et al., 2020). No entanto a resposta dessa cultura à adubação nitrogenada depende dos genótipos explorados, das condições climáticas locais de cultivo, tipo de solo e época de aplicação do fertilizante (SYLVESTRE et al., 2019). A recomendação de adubação nitrogenada para a cultura da alface no estado de São Paulo, Brasil está em torno de 100 a 130 kg/ha parcelados em três vezes ao longo do ciclo (VAN RAIJ et al., 1997). Awaad et al. (2016) verificaram que as maiores produtividades da cultivar de alface Dark green foram encontradas com a aplicação de 120 kg/ha de N. Já El-Bassyouni (2016) obtiveram o máximo rendimento da cultivar Ovation com o uso de 100 kg/ha de N.

Em virtude da elevada importância socioeconômica da alface cultura brasileira, do desenvolvimento e introdução de novas cultivares não tradicionais no mercado e da carência de informações relacionadas ao uso de estratégias de manejo de irrigação e fertirrigação intermitente, objetivou-se avaliar experimentalmente o efeito de estratégias de irrigação e doses de nitrogênio em fertirrigação no comportamento das características fisiológicas, de crescimento, rendimento, eficiência, teor e acúmulo de nutrientes em mini alface romana cultivada em ambiente protegido.

CAPÍTULO 1

MANEJO DA IRRIGAÇÃO E ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM MINI ALFACE ROMANA CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO¹

Resumo - Melhorar a disponibilidade de água e nitrogênio pode contribuir para mitigar os efeitos de estresse hídrico que afetam naturalmente as hortaliças ao longo do dia. Objetivou-se avaliar a influência de estratégias de irrigação e doses de nitrogênio sobre os aspectos fisiológicos e a produção de matéria seca da mini alface cultivada em ambiente protegido durante dois ciclos de cultivo. Os tratamentos corresponderam à aplicação de três estratégias diárias de irrigação: irrigação contínua (aplicação de um único evento de irrigação); irrigação intermitente com três pulsos de irrigação em intervalos de uma hora; e irrigação intermitente com aplicação da lâmina de irrigação nos horários de 7:00, 11:00 e 15:00 horas; e duas doses de nitrogênio (100 e 130 kg ha⁻¹ de N) aplicadas via fertirrigação diária de acordo com as estratégias de irrigação. As estratégias de irrigação intermitentes aumentaram a condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂, assimilação líquida de CO₂, e reduziram a fluorescência inicial da clorofila *a*, otimizando a eficiência do fotossistema II e a produção de biomassa. A dose 130 kg ha⁻¹ de N aumentou as eficiências de uso da água no primeiro ciclo. A dose 100 kg ha⁻¹ de N diminuiu a temperatura foliar e o déficit de pressão de vapor de água na folha no segundo ciclo. A mini alface cultivada sob as estratégias de irrigação intermitentes foram menos susceptíveis ao estresse hídrico que ocorre naturalmente ao longo do dia. As doses máxima e mínima não limitaram a fotossíntese de forma a reduzir a produção de biomassa.

Palavras-chave: Estratégias de irrigação. Fertirrigação. Fotossíntese. Nitrogênio. *Lactuca sativa*

¹ Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico Agricultural Water Management

1.1 Introdução

A cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das espécies olerícolas mais produzidas e comercializadas no Brasil e no mundo, podendo ser cultivada em campo ou em ambiente protegido. Trata-se de uma cultura de ciclo relativamente curto, que pode ser consumida de forma crua ou cozida, rica em nutrientes, betacaroteno e vitamina C, e que se tornou o alvo de muitas pesquisas que visam aumentar a sua qualidade e o rendimento (Ouyang et al., 2020; Pereira et al., 2023). Além disto, é uma olerícola exigente em água e nitrogênio (N), uma vez que este nutriente é um dos mais absorvidos e acumulados nas folhas da alface (Pereira et al., 2022).

O manejo adequado da irrigação é fundamental para suprir a demanda hídrica das culturas durante todo o ciclo, minimizar as perdas de nutrientes por lixiviação, aumentar a eficiência de uso da água como fator de produção, reduzir o consumo de energia e problemas com doenças, bem como melhorar a atividade fisiológica, e além disto, aumentar expressivamente a produtividade e a qualidade dos produtos colhidos.

A irrigação intermitente caracteriza-se pela aplicação da lâmina de irrigação parcelada na forma de ciclos durante o dia, seguindo um período de aplicação, um tempo de repouso e outro período de aplicação, repetindo-se este ciclo até que a lâmina requerida seja totalmente aplicada à cultura (Pereira et al., 2023). O uso dessa estratégia no manejo da irrigação aumenta o movimento da umidade do solo no sentido horizontal e reduz a percolação de água para fora da zona radicular das culturas (Ismail et al., 2014). Além disso, a irrigação intermitente também minimiza o estresse hídrico na zona das raízes, otimiza a eficiência de aplicação da lâmina de irrigação e aumenta a produtividade da água (Abdelraouf et al., 2019; Pereira et al., 2023).

Estudos apontam que a estratégia de manejo de irrigação intermitente com dois a dez eventos de irrigação por dia em intervalos de 20 a 60 minutos maximiza as taxas de crescimento das plantas, o acúmulo de nutrientes e de biomassa vegetal, bem como aumenta a condutância estomática, a transpiração, o índice relativo de clorofila foliar, o teor relativo de água nos tecidos vegetais e, contribui para a melhor absorção de água pelas raízes (Xu et al., 2004; Silber et al., 2005; Pereira et al., 2022; 2023).

Em condições de estresse hídrico as plantas normalmente tendem a limitar a condutância estomática e do mesófilo foliar, a transpiração e a concentração de CO₂ nos cloroplastos, o teor relativo de água nas folhas, o potencial hídrico foliar, e a

eficiência quântica do fotossistema II (PSII), bem como reduzir as taxas fotossintéticas, a absorção de nutrientes, o acúmulo e o rendimento de biomassa (Xu et al., 2015; Zhou et al., 2020; Chtouk et al., 2022; Ramamoorthy et al., 2022; Fang et al., 2023; Ru et al., 2023). Contudo, há ganhos expressivos na eficiência de uso da água ao nível foliar (Zhou et al., 2020).

Um das formas de mitigar possíveis efeitos provocados pelo estresse hídrico diário é o suprimento adequado de N (Xu et al., 2015; Song et al., 2019). O N é fundamental para o crescimento vegetativo, pois promove melhorias na absorção e na eficiência de uso da água ao nível foliar, participa da síntese da molécula de clorofila e proteínas, melhora a atividade enzimática e o metabolismo das plantas, aumentando o conteúdo da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (Rubisco), a assimilação de CO₂ e a produção de biomassa. Por outro lado, a diminuição na disponibilidade de N reduz a fotossíntese, a condutância estomática, a transpiração, a eficiência quântica do fotossistema II (PSII) e o crescimento vegetal (Xiong et al., 2015; Ma et al., 2019; Song et al., 2019; Wu et al., 2019; Gao et al., 2020; Mu; Chen, 2021; Razmjooei et al., 2022).

A fertirrigação é a técnica que consiste na aplicação simultânea de água e fertilizantes por meio de um sistema de irrigação. Essa técnica é capaz de aumentar a absorção de água e fertilizantes pelas raízes das plantas, permitindo ainda a aplicação dos fertilizantes na quantidade e nos momentos exatos requeridos pelas culturas. Neste contexto, o uso de intermitências no manejo diário da fertirrigação pode se tornar uma alternativa importante para aumentar as taxas fotossintéticas e a produção de biomassa vegetal, bem como para reduzir ainda mais as perdas do N por lixiviação e otimizar a absorção e a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados, uma vez que a estratégia de irrigação intermitente tende a aumentar o tempo de permanência da água na região próxima ao sistema radicular das culturas (Ismail et al., 2014; Pereira et al., 2022).

A nossa hipótese é que a diminuição do número de eventos de irrigação diária e o aumento do intervalo entre estes eventos, aliados à ocorrência de altas temperaturas do ar, podem provocar períodos de estresse hídrico ao longo do dia. A verificação dos aspectos fisiológicos é uma ferramenta importante na determinação da adaptação das culturas a determinadas condições de manejo de água e fertilizantes. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a influência de estratégias de manejo de irrigação e doses de N aplicadas via fertirrigação sobre os aspectos

fisiológicos e a produção de matéria seca da mini alface romana cultivada em ambiente protegido.

1.2 Material e métodos

1.2.1 Local experimental

Os experimentos foram conduzidos em dois ciclos de cultivo em ambiente protegido localizado no Departamento de Engenharia Rural (latitude 22°51'03" S, longitude 48°25'37" W, e altitude 786 m), pertencente a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) - Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) em Botucatu- SP, Brasil. O primeiro ciclo (C1) foi conduzido no período de 31 de outubro a 05 de dezembro de 2019, e o segundo ciclo (C2) em 13 de dezembro de 2019 a 12 de janeiro de 2020.

O ambiente protegido era do tipo arco simples formado por uma estrutura metálica, com dimensões de 31 x 7 m de comprimento e largura, respectivamente, totalizando uma área de 217 m², coberta com filme plástico transparente de polietileno de baixa densidade (150 µm de espessura), pé direito de 1,85 m e 4,50 m de altura no ponto mais alto. As partes laterais, frontal e o fundo eram revestidas por telas de cor pretas de 50% de sombreamento, medindo 1,85 m de altura.

1.2.2 Delineamento, tratamentos e parcelas experimentais

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 2 com quatro repetições, com os tratamentos constituídos por três estratégias diárias de manejo de irrigação: irrigação contínua (Cont – aplicação de um único evento de irrigação); irrigação intermitente com três pulsos de irrigação em intervalos de uma hora (Int1); e irrigação intermitente com aplicação da lâmina de irrigação nos horários de 7:00, 11:00 e 15:00 horas (Int2); e duas doses de N (100 e 130 kg ha⁻¹) recomendadas por Van Rajj et al. (1997).

As lâminas de irrigação dos tratamentos com intermitências (Int1 e Int2) foram aplicadas em tempos e quantidades iguais em cada evento de irrigação. O N em cobertura foi aplicado via fertirrigação diária de acordo com as estratégias de manejo da irrigação. Os eventos de irrigação iniciaram às 7:00h e seguiam no decorrer do dia, conforme as estratégias de manejo da irrigação. As lâminas diárias de irrigação

oscilaram ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, porém foram iguais entre os tratamentos.

As parcelas experimentais foram constituídas por canteiros de 2,0 m² com três fileiras de doze plantas, totalizando 36 plantas por parcela. Foram consideradas como parcela útil apenas as dez plantas da fileira central.

1.2.3 Preparo do solo, adubação de fundação, cultivar e fertirrigação

O solo no interior do ambiente protegido é classificado como Nitossolo vermelho distroférico de textura franco-argilo-arenoso na camada de 0-0,20 m (Santos et al., 2013). O solo foi preparado com auxílio de enxada rotativa e, mediante a análise química, foi realizada a calagem para elevar a saturação por bases (V) a 80% e corrigir acidez (Van Raij et al., 1997). O calcário foi aplicado a lanço, na dosagem 1,60 Mg ha⁻¹ e incorporado a uma profundidade de 0,20 m.

Após 30 dias da correção, o solo apresentou os seguintes atributos químicos nas camadas de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, respectivamente: pH (CaCl₂) = 6,0; 5,7, P (resina) = 50; 50 mg dm⁻³, V = 75; 72%, Matéria orgânica = 19; 17 g dm⁻³; CTC = 76; 71 mmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 46; 39 mmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 10; 10 mmol_c dm⁻³, K = 1,8; 2,1 mmol_c dm⁻³, condutividade elétrica = 362; 772 μS cm⁻¹, H+Al = 19; 20 mmol_c dm⁻³, S = 15; 16 mg dm⁻³, B = 0,31; 0,34 mg dm⁻³, Cu = 5,5; 5,1 mg dm⁻³, Fe = 19; 11 mg dm⁻³, Mn = 11,5; 10,4 mg dm⁻³, Zn = 7,0; 5,2 mg dm⁻³ e físico-hídricos: areia= 634; 621 g kg⁻¹, silte= 99; 77 g kg⁻¹, argila= 267; 302 g kg⁻¹, densidade do solo (ds) = 1390; 1540 kg m⁻³, densidade de partícula (dp) = 2622; 2610 kg m⁻³, porosidade total (pt) = 47; 41%, umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) = 0,1974; 0,2372 m³ m⁻³, umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) = 0,1546; 0,1940 m³ m⁻³.

Os atributos físico-hídricos ds, dp, pt e as curvas de retenção de água no solo (CRAS) foram determinados a partir de amostras de solo indeformadas, coletadas em anéis volumétricos de aço inox de 100 cm³. As CRAS foram obtidas pelo método da câmara de pressão de Richards, aplicando-se as tensões de 0, 100, 300, 1000, 3000, 5000, 15000 cmH₂O. Os parâmetros das CRAS foram ajustados de acordo com o modelo matemático preconizado por Van Genuchten (1980), utilizando-se o aplicativo Excel da Microsoft.

O monitoramento da umidade do solo (θ) durante o período de aplicação das estratégias de irrigação foi realizado por Reflectometria no Domínio do Tempo – TDR

(TDR 100 Campbell Scientific, Leicestershire, UK). Foram instalados no centro das parcelas de três blocos experimentais 36 sondas de TDR nas camadas de solo 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m. As sondas foram constituídas por três hastes de aço inoxidável espaçadas a 0,022 m, de diâmetro 0,003 m, isoladas por resina epóxi, contendo cabos coaxiais RG 58 (50 ohms) de 1,5 m de comprimento com conectores BNC nas extremidades (Souza et al., 2006). As leituras da θ foram realizadas diariamente entre 6:00 a 6:50 da manhã, antes do início dos eventos de irrigação.

As adubações de fundação com N, fósforo (P) e potássio (K) foram realizadas manualmente nos canteiros, tendo por base a análise química do solo e as recomendações de adubação proposta por Van Raij et al., (1997). Foram aplicados em cada um dos dois ciclos de cultivo, aos 7 dias antes do transplântio das mudas 40, 300 e 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O nas fontes ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente. A adubação nitrogenada de fundação correspondeu à aplicação de 40 kg ha⁻¹ do N total recomendado. Os canteiros foram levantados com uso de enxadas manuais, nas dimensões de 0,80 x 2,50 x 0,30 m de largura, comprimento e altura, respectivamente, e espaçados a cada 0,50 m.

Utilizou-se sementes peletizadas de mini alface Romana Verde Astorga RIJK ZWAAN, escolhida em virtude de sua crescente aceitação no mercado, por ser uma variedade nova, de tamanho menor e cultivada o ano todo. As sementes foram semeadas em bandejas plásticas finas de poliestireno de 200 células, em substrato comercial Plantmax Hortaliças™. As mudas foram mantidas em casa de vegetação e transplantadas para os canteiros aos 30 dias após a semeadura, contendo 3 a 5 folhas definitivas, no espaçamento 0,20 m x 0,20 m entre linhas e entre plantas, respectivamente.

As dosagens de N em cobertura foram aplicadas na forma de ureia, via fertirrigação diária, seguindo as estratégias de manejo da irrigação. As dosagens foram parceladas em quantidades iguais ao longo dos ciclos de cultivo, totalizando 17 fertirrigações por ciclo. As fertirrigações foram iniciadas aos 10 e finalizadas aos 26 dias após o transplântio, em ambos os ciclos de cultivo, com as injeções das soluções diretamente pelas bombas.

1.2.4 Sistema e Manejo de irrigação

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento, constituído por duas bombas centrífugas Eletroplas (Modelo ICS-50AB) de potência de 1/2 cv e vazão de 1,8 m³h⁻¹. Para cada bomba foi instalada uma caixa d'água (500L) para diluição das doses de N, um filtro de disco (120 mesh), um manômetro para controle de pressão e três linhas principais de 25 mm de diâmetro nominal (DN), com válvulas solenoides NaanDanJain (Modelo S390-2W-4 24VAC) posicionadas no início de cada linha principal para permitir a diferenciação das estratégias de manejo da irrigação.

As linhas laterais do sistema de irrigação eram tubos gotejadores de polietileno NaanDanJain (AmnonDrip PC CNL) de 17 mm de DN, medindo 2,5 m de comprimento, com emissores autocompensados integrados anti-drenantes, equiespaçados a 0,20 m, de vazão nominal 2,0 Lh⁻¹ operando na pressão de serviço de 1 bar. Utilizou-se um tubo gotejador para duas linhas de plantio em cada canteiro.

Os tempos de irrigação foram programados em um controlador protótipo desenvolvido com um microcontrolador Microchip PIC 16F628a, com display numérico de oito dígitos para estabelecer os tempos exatos de funcionamento de cada válvula solenoide, acoplado a um teclado que estabeleceu a interface do operador no controle do microcontrolador. No controlador foram instalados cinco drives de relés que estabeleceram as ligações do microcontrolador com as duas bombas (um relé por bomba) e as válvulas solenoides (um relé para duas válvulas), acionando uma válvula solenóide por bomba ao mesmo tempo.

O sistema de irrigação foi avaliado aos 15 dias antes do transplante das mudas pela metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), determinando-se a uniformidade de emissão da aplicação de água (UE) das linhas laterais em cada tratamento. Os valores médios da UE foram: 92,33; 92,19; 92,25; 92,96, 92,57 e 92,74%. Em razão disso, adotou-se o valor da eficiência de aplicação de água do sistema de 92,50%.

A água empregada na irrigação foi proveniente de poço artesiano e classificada como C1S1, indicando ausência de riscos à salinização ou sodificação do solo. O manejo diário da irrigação foi realizado pelo método climático baseado na evapotranspiração de referência (ET_o) externa ao ambiente protegido, obtida pelo método de Penman-Monteith adaptado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (Allen et al., 2006).

Os dados climáticos externos foram obtidos por uma estação meteorológica automática, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) em Botucatu-SP, situada a uma distância de 100 m do local dos experimentos, constituída por sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento com os quais foram calculadas a ETo diariamente (Fig. 1a). As variáveis micrometeorológicas temperatura do ar e umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido foram monitoradas por uma estação meteorológica que efetuava leituras continuamente a cada segundo e armazenava as médias a cada 15 minutos em um datalogger Campbell Scientific CR10X (Fig. 1b).

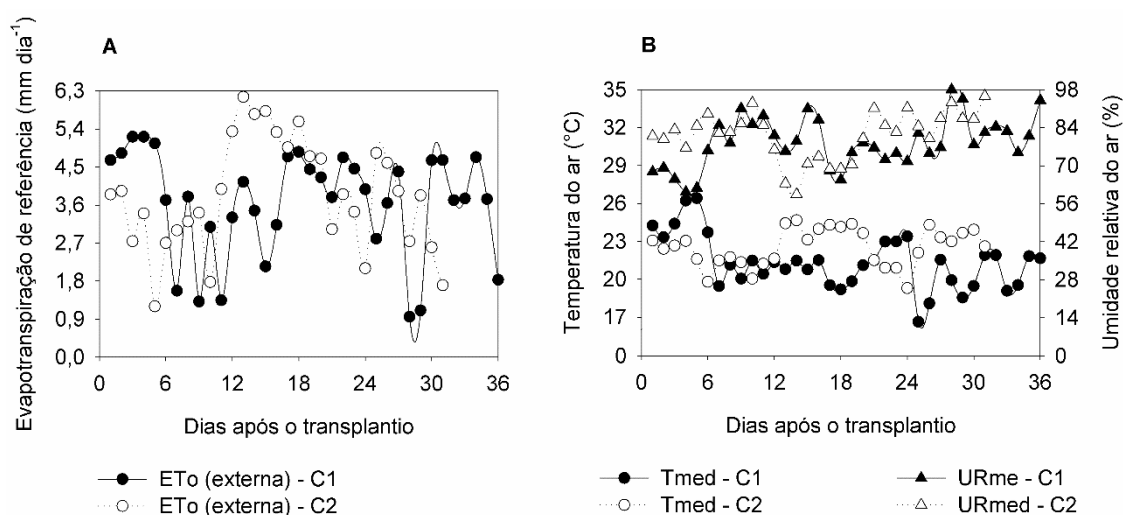


Fig. 1 Médias diárias da evapotranspiração de referência (ETo) externa (A) e médias diárias da temperatura do ar e umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido (B) durante o primeiro ciclo (C1) e segundo ciclo (C2) de cultivo da alface

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados foram os obtidos por Bastos et al. (1996), sendo de 0,52 para a fase I (1 - 10 dias após o transplântio - DAT); 0,80 para a fase II (11 - 25 DAT); e 0,92 para a fase III (26 DAT - até a colheita do ciclo). A adoção das estratégias de irrigação iniciou-se aos 7 DAT nos dois ciclos, e finalizou aos 35 DAT no C1 e aos 30 DAT no C2. As lâminas de irrigação aplicadas após o transplântio foram 96,28 e 86,08 mm no C1 e C2, respectivamente.

1.2.5 Variáveis analisadas

1.2.5.1 Fisiológicas

As avaliações das trocas gasosas foliares (fase clara) e das fluorescências da clorofila *a* (fase escura) foram realizadas aos 7, 14 e 21 dias após o início das estratégias de manejo de irrigação (DAE), nos dois ciclos de cultivo com uso de analisador de gás a infravermelho portátil (IRGA- modelo LI-6400XT - LI-COR, Lincoln, NE, USA), com fonte de luz constante de $1.200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, concentração de CO_2 $380 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ mol}^{-1}$, temperatura do bloco de 25°C e fluxo de ar de $350 \mu\text{mol s}^{-1}$. A emissão das fluorescências (F_o , F_m , F_v e F_v/F_m) foram determinadas por fluor\u00f4metro acoplado ao IRGA.

As avaliações fisiológicas foram efetuadas no per\u00edodo da manh\u00e3 entre os hor\u00e1rios das 8:00 \u00e0s 11:00 h de forma a evitar a diminui\u00e7\u00e3o da fotoss\u00edntese ao meio-dia. Foram selecionadas folhas em bom estado fitossanit\u00e1rio, completamente expandidas e expostas \u00e0 luz solar.

Na quantifica\u00e7\u00e3o das vari\u00e1veis fisiol\u00f3gicas foram determinadas a condut\u00e2ncia estom\u00e1tica (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpira\u00e7\u00e3o (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentra\u00e7\u00e3o interna de carbono ($C_i\text{CO}_2$) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), temperatura foliar (T_F) ($^\circ\text{C}$), d\u00e9ficit de press\u00e3o de vapor de \u00e1gua na folha ($DPV_{\text{folha-ar}}$) (kPa) e a taxa de assimila\u00e7\u00e3o l\u00edquida de CO_2 (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A efici\u00eancia de carboxila\u00e7\u00e3o (E_c) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ CO}_2$) foi determinada pela rela\u00e7\u00e3o $A/ C_i\text{CO}_2$. As efici\u00eancias instant\u00e2nea (EUA_i) ($\text{mmol CO}_2 \text{ H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e intr\u00ednseca do uso da \u00e1gua (EUA) ($\text{mmol H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram obtidas pelas rela\u00e7\u00f5es A/E e A/g_s , respectivamente.

Nas mesmas folhas em que foram obtidas as vari\u00e1veis fisiol\u00f3gicas da fase clara, foram postos adaptadores foliares de escuro e, ap\u00f3s um per\u00edodo de 30 minutos de adapta\u00e7\u00e3o ao escuro, foram determinadas as fluoresc\u00eancias inicial (F_o), m\u00e1xima (F_m), vari\u00e1vel (F_m-F_o) e a efici\u00eancia qu\u00e2ntica do fotossistema II ($EPSII$) (F_v/F_m) (Maxwell; Johnson, 2000).

1.2.5.2 Ac\u00famulo de massa de mat\u00e9ria seca

Ao final de cada ciclo de cultivo foram colhidas tr\u00eas plantas por parcela para determina\u00e7\u00e3o do ac\u00famulo de massa de mat\u00e9ria seca da parte a\u00e9rea ($AMMS$) (g/tr\u00eas plantas). As plantas foram colhidas aos 35 e 30 DAT no C1 e C2, respectivamente, e

secas em estufa de circulação forçada sob temperatura de 65°C até atingirem massa constante. As massas secas das amostras vegetais foram obtidas em balança digital de precisão 0,01g.

1.2.6 Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade dos desvios e homogeneidade de variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, em seguida, foram submetidos à análise de variância (ANAVA) ao nível de 5% de probabilidade. Em caso de efeito significativo entre os tratamentos, procedeu-se análises de comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas no programa computacional SAS v. 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA) e as figuras confeccionadas no SigmaPlot v. 11.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA).

1.3 Resultados

1.3.1 Trocas gasosas foliares

A g_s foi influenciada significativamente apenas pelo fator estratégia de irrigação tanto no C1 quanto no C2. A estratégia de irrigação Cont reduziu a g_s , e apresentou médias de 0,66; 0,28 e 0,40 mol H₂O m⁻² s⁻¹ aos 7, 14 e 21 DAE no C1, respectivamente, porém sem diferir de Int2 e Int1 aos 7 e 21 dias, respectivamente (Fig. 2a). No C2, aos 7 e 21 dias, as menores g_s 0,36 e 0,35 mol H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente, também foram constatadas na estratégia Cont, contudo sem diferir de Int1 nos referidos dias (Fig. 2a).

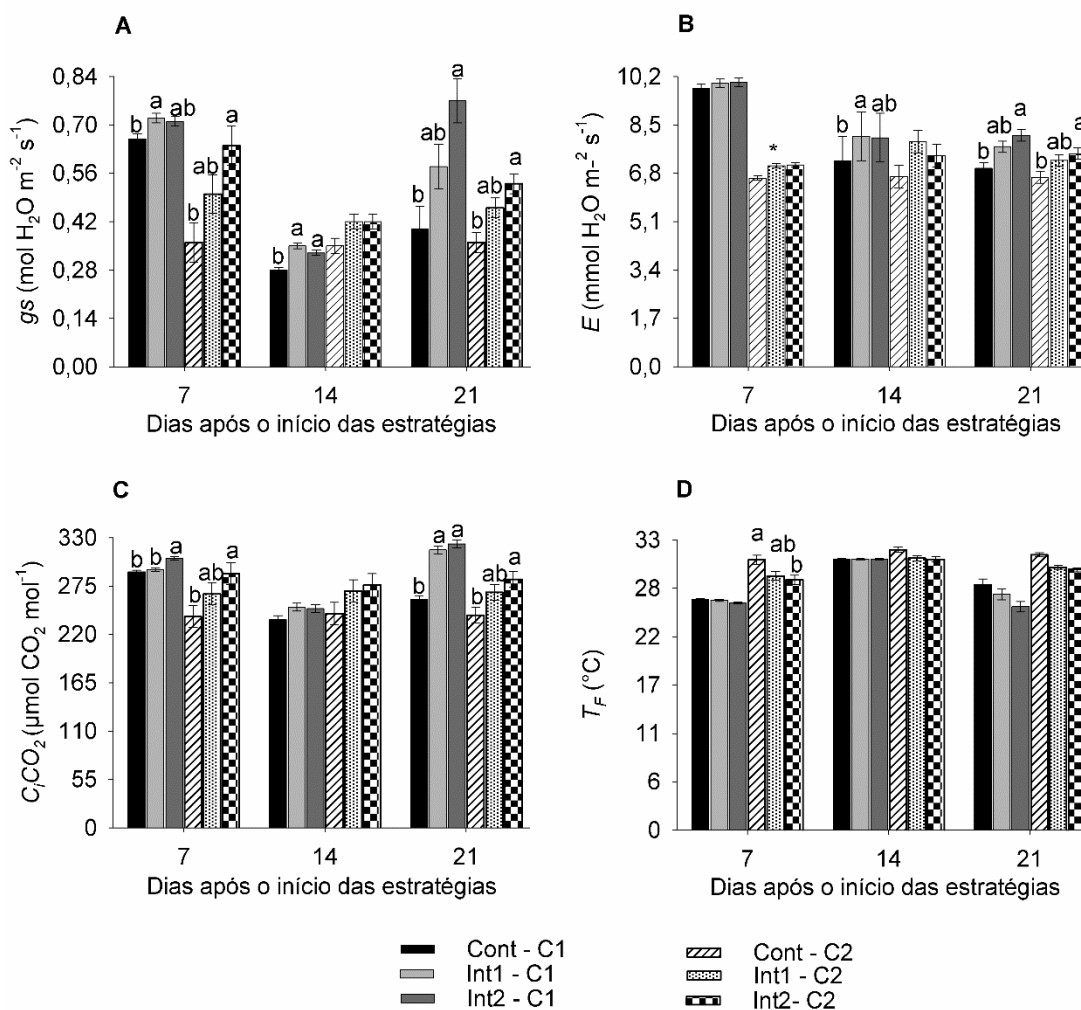


Fig. 2 Condutância estomática g_s (A), transpiração E (B), concentração interna de CO_2 $C_i\text{CO}_2$ (C) e temperatura foliar T_F da alface em função de estratégias de manejo de irrigação. Médias seguidas de letras distintas em cada período dos ciclos diferem as estratégias de irrigação entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (*) indica efeito de interação significativa (ver tabelas); (ausência de letras) indica efeito não significativo

A E foi influenciada significativamente apenas pelo fator estratégia de irrigação aos 14 e 21 DAE no C1, bem como aos 21 dias no C2 (Fig. 2b). Em ambos os ciclos, as menores médias de E foram constatadas na estratégia Cont. No C1 houve reduções de 11 e 14% aos 14 e 21 dias em relação às estratégias Int1 ($8,1 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}$) e Int2 ($8,13 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), respectivamente. Já no C2, a diminuição da E foi de 11,2% aos 21 dias em relação à estratégia Int2 ($7,49 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 2b).

O efeito significativo da interação entre os fatores foi observado na E aos 7 DAE no C2. A maior E foi observada na estratégia de irrigação Int2 associada à dose de

130 kg ha⁻¹ de N, com diferença significativa de 9,41% entre os níveis de N na referida estratégia de irrigação (Tabela 1). A estratégia Int1 associada à dose de 100 kg ha⁻¹ de N também aumentou significativamente a *E* em relação às estratégias Cont e Int2 na referida dose de N (Tabela 1).

Tabela 1 Transpiração (*E*), temperatura foliar (T_F), déficit de pressão de vapor folha-ar ($DPV_{(folha-ar)}$) e assimilação líquida de CO₂ (*A*) da alface em função da interação entre as estratégias de irrigação e doses de N

	<i>E</i> (7 DAE – C2)			T_F (21 DAE – C1)		
	----- (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) -----			----- (°C) -----		
Nitrogênio	Cont	Int1	Int2	Cont	Int1	Int2
100 kg ha ⁻¹	6,74bA	7,18aA	6,74bB	26,83aA	28,28aA	25,17aA
130 kg ha ⁻¹	6,52cA	6,93bA	7,44aA	29,21aA	25,47bB	25,75bA
	T_F (21 DAE – C2)			$DPV_{(folha-ar)}$ (14 DAE – C1)		
	----- (°C) -----			----- (kPa) -----		
Nitrogênio	Cont	Int1	Int2	Cont	Int1	Int2
100 kg ha ⁻¹	31,45aA	29,06bB	29,19bA	2,18abA	2,02aB	2,23bA
130 kg ha ⁻¹	31,32aA	30,88aA	30,20aA	2,25aA	2,20abA	2,12bB
	$DPV_{(folha-ar)}$ (14 DAE – C2)			<i>A</i> (7DAE – C1)		
	----- (kPa) -----			----- (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) -----		
Nitrogênio	Cont	Int1	Int2	Cont	Int1	Int2
100 kg ha ⁻¹	1,59aB	1,59aA	1,68aA	23,89bA	27,93aA	27,00aA
130 kg ha ⁻¹	1,81aA	1,62bA	1,58bA	25,23aA	26,35aA	24,00aB
	<i>A</i> (14 DAE – C2)			<i>A</i> (21 DAE – C2)		
	----- (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) -----			----- (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) -----		
Nitrogênio	Cont	Int1	Int2	Cont	Int1	Int2
100 kg ha ⁻¹	21,35bA	26,59aA	21,19bB	24,17bA	24,33bB	28,06aA
130 kg ha ⁻¹	19,64cB	22,64bB	26,33aA	22,46bB	26,72aA	26,05aB

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem as estratégias entre si em cada dose de N e médias seguidas de letras maiúsculas nas colunas diferem as doses entre si em cada estratégia pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A C_iCO_2 avaliada aos 7 e 21 dias nos dois ciclos foi influenciada pelas estratégias de irrigação (Fig. 2c). As maiores C_iCO_2 no mesófilo foliar 306,44 e 322,00 μmol CO₂ mol⁻¹ aos 7 e 21 dias no C1, respectivamente, bem como 289,08 e 282,64 μmol CO₂ mol⁻¹ nos referidos dias do C2, foram observadas com o uso da estratégia de irrigação Int2, com diferenças significativas em relação à estratégia Cont em todos os períodos avaliados (Fig. 2c).

O N também promoveu alterações significativas na C_iCO_2 aos 7 DAE no C1. A maior C_iCO_2 300,30 μmol CO₂ mol⁻¹ foi obtida com a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 3a).

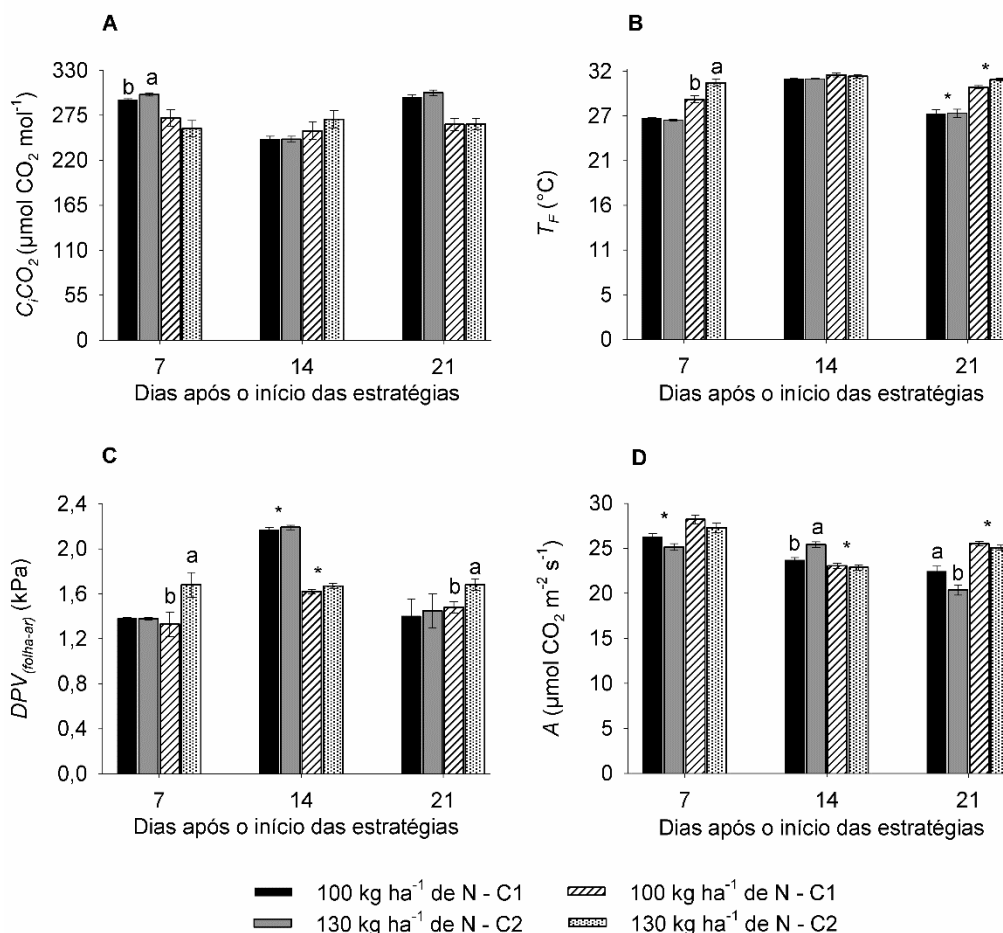


Fig. 3 Concentração interna de CO₂ C_iCO_2 (A), temperatura foliar T_F (B), déficit de pressão de vapor folha-ar $DPV_{(folha-ar)}$ (C) e assimilação líquida de CO₂ A (D) da alfafa em função de doses de N. Médias seguidas de letras distintas em cada período dos ciclos diferem as doses entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (*) indica efeito de interação significativa (ver tabelas); (ausência de letras) indica efeito não significativo

A interação entre os fatores foi significativa sobre a T_F aos 21 DAE no C1 e C2. No C1, houve diferenças significativas na T_F apenas entre as estratégias de irrigação na dose de 130 kg ha⁻¹ de N, no qual a estratégia Cont aumentou a T_F (Tabela 1). Entretanto, houve diferenças significativas no C2 entre as estratégias de irrigação apenas na dose de 100 kg ha⁻¹ de N, em que a estratégia de irrigação Cont novamente aumentou a T_F (Tabela 1).

A estratégia de irrigação Int1 promoveu diferenças significativas na T_F entre as doses de N, no qual a combinação da referida estratégia com as doses de 100 e 130 kg ha⁻¹ de N aumentaram a T_F aos 21 DAE no C1 e C2, respectivamente (Tabela 1).

A estratégia de irrigação Cont promoveu aumento da T_F (30,82 °C) aos 7 DAE no C2, com diferença significativa em relação à Int2 (28,53 °C) (Fig. 2d). No mesmo período o N também influenciou significativamente a T_F , no qual a maior T_F , 30,42°C foi registrada na dose de 130 kg ha⁻¹ de N, com diferença de 6,5% em relação à 100 kg ha⁻¹ de N (Fig. 3b).

O $DPV_{folha-ar}$ aos 14 DAE nos dois ciclos de cultivo foi influenciado significativamente pela interação entre as estratégias de irrigação e as doses de N. Em ambos os ciclos, a estratégia Cont associada à 130 kg ha⁻¹ de N aumentou o $DPV_{folha-ar}$ (Tabela 1). No entanto, apenas no C2 as diferenças foram mais expressivas entre as estratégias em 130 kg ha⁻¹ de N, e entre as doses de N na estratégia de irrigação Cont (Tabela 1). Houve diferenças significativas no $DPV_{folha-ar}$ entre as doses de N nas estratégias de irrigação Int1 e Int2 aos 14 DAE no C1, no qual as combinações Int1 e 130 kg ha⁻¹ de N; Int2 e 100 kg ha⁻¹ de N, aumentaram significativamente o $DPV_{folha-ar}$ (Tabela 1).

Os níveis de N influenciaram o $DPV_{folha-ar}$ aos 7 e 21 DAE no C2. Os maiores $DPV_{folha-ar}$, 1,68 e 1,69 kPa foram obtidos com a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N. Houve acréscimos expressivos de 20,83 e 12,42% em relação à 100 kg ha⁻¹ de N nos referidos dias, respectivamente (Fig. 3c).

A interação entre os fatores sobre a A foi significativa aos 7 DAE no C1. A combinação da estratégia de irrigação Cont e 100 kg ha⁻¹ de N reduziu a A , porém sem diferir da combinação Cont e 130 kg ha⁻¹ de N no referido ciclo (Tabela 1).

O fator N influenciou significativamente a A aos 14 e 21 DAE no C1. Aos 14 dias, a dose de 100 kg ha⁻¹ de N reduziu a A , porém aos 21 dias este nível de N aumentou a A em 9,2% em relação à dose de 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 3d).

A estratégia de irrigação Cont reduziu a A aos 14 e 21 dias no C1, apresentando médias mínimas de 22,23 e 17,80 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 4a). Aos 7 DAE no C2, a menor média de A , 26,45 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ também foi observada na estratégia de irrigação Cont (Fig. 4a).

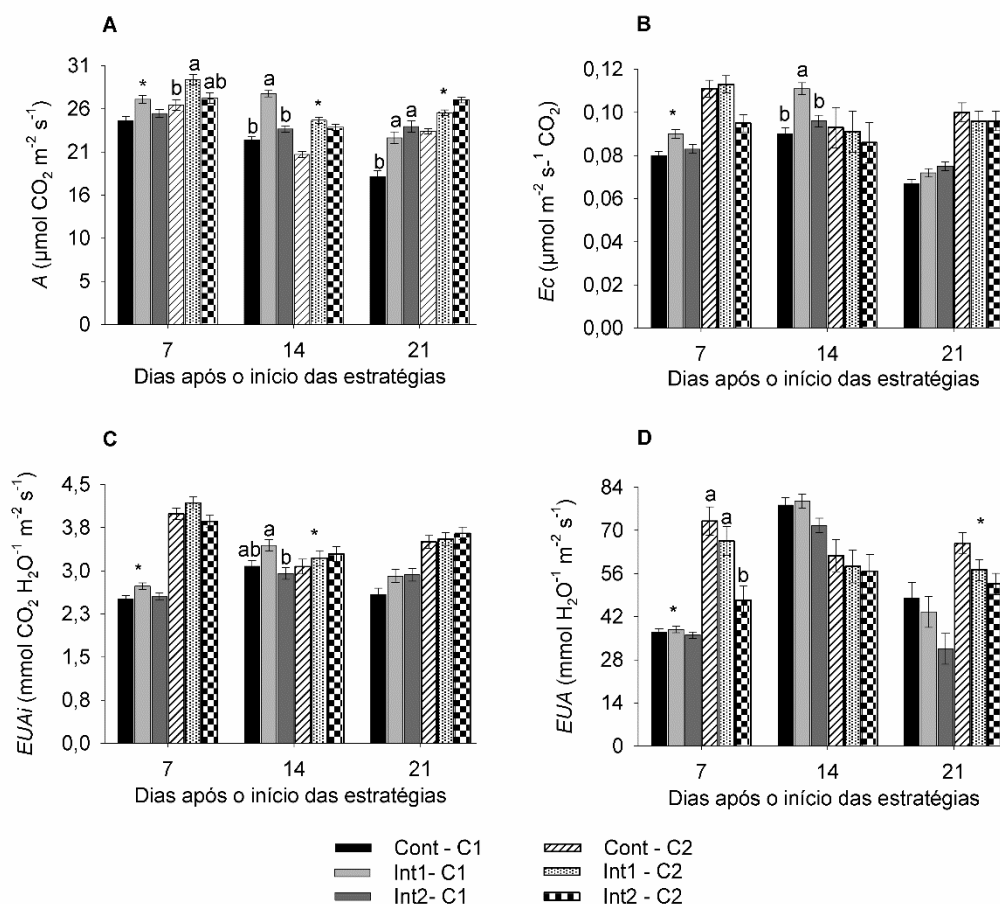


Fig. 4 Assimilação líquida de CO_2 A (A), eficiência de carboxilação E_c (B), eficiência de uso da água instantânea EUA_i (C) e intrínseca EUA (D) da alfaca em função de estratégias de manejo de irrigação. Médias seguidas de letras distintas em cada período dos ciclos diferem as estratégias de irrigação entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (*) indica efeito de interação significativa (ver tabelas); (ausência de letras) indica efeito não significativo

Aos 14 e 21 DAE do C2 verificou-se que a A foi influenciada significativamente pela interação entre os fatores. A combinação da estratégia de irrigação Cont e 130 kg ha^{-1} de N diminuiu significativamente a A em ambos os períodos (Tabela 1).

As combinações Int1 e 100 kg ha^{-1} de N e Int2 e 130 kg ha^{-1} de N aumentaram significativamente a A aos 14 DAE no C2, porém a combinação Int2 e 130 kg ha^{-1} de N diminuiu significativamente a A aos 21 DAE no referido ciclo (Tabela 1).

1.3.1.1 Eficiência de carboxilação e de uso da água

Houve efeito de interação significativa entre os fatores sobre a *Ec* avaliada aos 7 DAE no C1. A combinação inicial Int2 e 130 kg ha⁻¹ de N diminuiu a *Ec* com diferença significativa em relação à dose de 100 kg ha⁻¹ de N na referida estratégia (Tabela 2).

Tabela 2 Eficiência de carboxilação (*Ec*), eficiência de uso da água instantânea (*EUAi*) e intrínseca (*EUA*) da alface em função da interação entre as estratégias de irrigação e doses de N

	<i>Ec</i> (7 DAE – C1)			<i>EUAi</i> (7 DAE – C1)		
	(μmol m ⁻² s ⁻¹ CO ₂)			(mmol CO ₂ H ₂ O ⁻¹ m ⁻² s ⁻¹)		
Nitrogênio	Cont	Int1	Int2	Cont	Int1	Int2
100 kg ha ⁻¹	0,082bA	0,097aA	0,090abA	2,27bA	2,84aA	2,78abA
130 kg ha ⁻¹	0,087aA	0,087aA	0,077aB	2,55aA	2,62aA	2,32aB
	<i>EUAi</i> (14 DAE – C2)			<i>EUA</i> (7 DAE – C1)		
	(mmol CO ₂ H ₂ O ⁻¹ m ⁻² s ⁻¹)			(mmol H ₂ O ⁻¹ m ⁻² s ⁻¹)		
Nitrogênio	Cont	Int1	Int2	Cont	Int1	Int2
100 kg ha ⁻¹	3,12aA	3,52aA	3,04aA	35,89aA	37,84aA	40,02aA
130 kg ha ⁻¹	3,01aA	2,93aB	3,55aA	38,18aA	37,79aA	32,02bB
<i>EUA</i> (21 DAE – C2)						
Nitrogênio	Cont	Int1	Int2			
100 kg ha ⁻¹	72,64aA	47,54bB	53,02bA			
130 kg ha ⁻¹	58,89aA	66,78aA	52,28aA			

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem as estratégias entre si em cada dose de N e médias seguidas de letras maiúsculas nas colunas diferem as doses entre si em cada estratégia pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A *Ec* também foi influenciada significativamente pelos tratamentos aos 14 DAE no C2. Neste período a estratégia de irrigação Int1 (Fig. 4b) e a dose de 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 5a) incrementaram a *Ec*. Já aos 21 dias, apenas o fator N influenciou a *Ec*, e a mínima *Ec*, 0,0067 foi obtida em 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 5a).

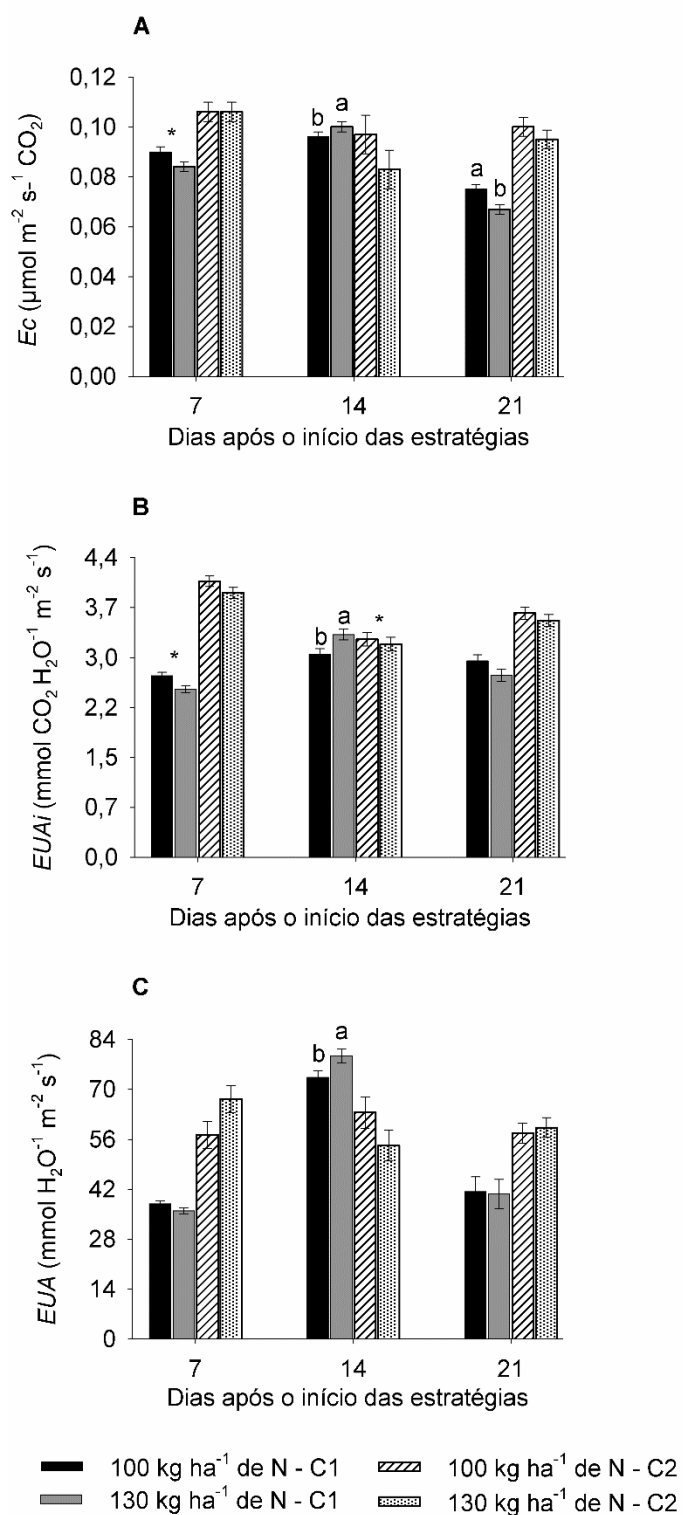


Fig. 5 Eficiência de carboxilação E_c (A), eficiência de uso da água instantânea $EUAI$ (B) e intrínseca EUA (C) da alface em função de doses de N. Médias seguidas de letras distintas em cada período dos ciclos diferem as doses entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (*) indica efeito de interação significativa (ver tabelas); (ausência de letras) indica efeito não significativo

A interação entre os fatores foi significativa para a *EUAI* avaliada aos 7 e 14 DAE no C1 e C2, respectivamente. Aos 7 DAE no C1 a maior *EUAI* foi obtida na combinação Int1 e 100 kg ha⁻¹ de N, com superioridade de 13% em relação à combinação Cont e 100 kg ha⁻¹ de N (Tabela 2). Aos 14 DAE no C2, houve diferença apenas entre as doses de N na estratégia Int1, no qual 100 kg ha⁻¹ de N aumentou a *EUAI* (Tabela 2).

A *EUAI* também foi influenciada significativamente pelos tratamentos aos 14 DAE no C1. As maiores *EUAI* de 3,44 e 3,30 mmol CO₂ H₂O⁻¹ m⁻² s⁻¹ foram obtidas nos tratamentos Int1 (Fig. 4c) e 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 5b), respectivamente.

O efeito da interação entre as estratégias de irrigação e doses de N foi significativo para *EUA* aos 7 e 21 DAE no C1 e C2, respectivamente. Aos 7 DAE no C1 a combinação Int2 e 130 kg ha⁻¹ de N reduziu a *EUA*, com diferença de 20% em relação à Int2 e 100 kg ha⁻¹ de N (Tabela 2).

Aos 21 DAE no C2 as irrigações intermitentes (Int1 e Int2) associadas à 100 kg ha⁻¹ de N diminuíram a *EUA* (Tabela 2). A dose de 100 kg ha⁻¹ de N aplicada via Int1 reduziu em 28,81% a *EUA* no referido período (Tabela 2).

O N influenciou a *EUA* aos 14 DAE no C1, no qual a menor *EUA* (73,37 mmol H₂O⁻¹ m⁻² s⁻¹) foi verificada na dose de 100 kg ha⁻¹ de N (Fig. 5c). A estratégia de irrigação Int2 também reduziu a *EUA* (47,32 mmol H₂O⁻¹ m⁻² s⁻¹) aos 7 DAE no C2 (Fig. 4d).

1.3.2 Emissão de fluorescência e eficiência quântica do fotossistema II

As fluorescências *Fm* e *Fm-Fo* não foram influenciadas pelos tratamentos em nenhum dos períodos avaliados no C1 e C2. Todavia, a emissão de *Fo* da clorofila *a* foi influenciada pelas estratégias de irrigação em todos os períodos no C1 e aos 21 DAE no C2. As maiores médias de *Fo* 391,91; 420,88 e 362,95 elétrons quantum⁻¹ observadas aos 7, 14 e 21 DAE no C1 foram obtidas com o uso da estratégia de irrigação Cont. Essa estratégia também promoveu aumento da *Fo* (333,42 elétrons quantum⁻¹) aos 21 DAE no C2 (Fig. 6a).

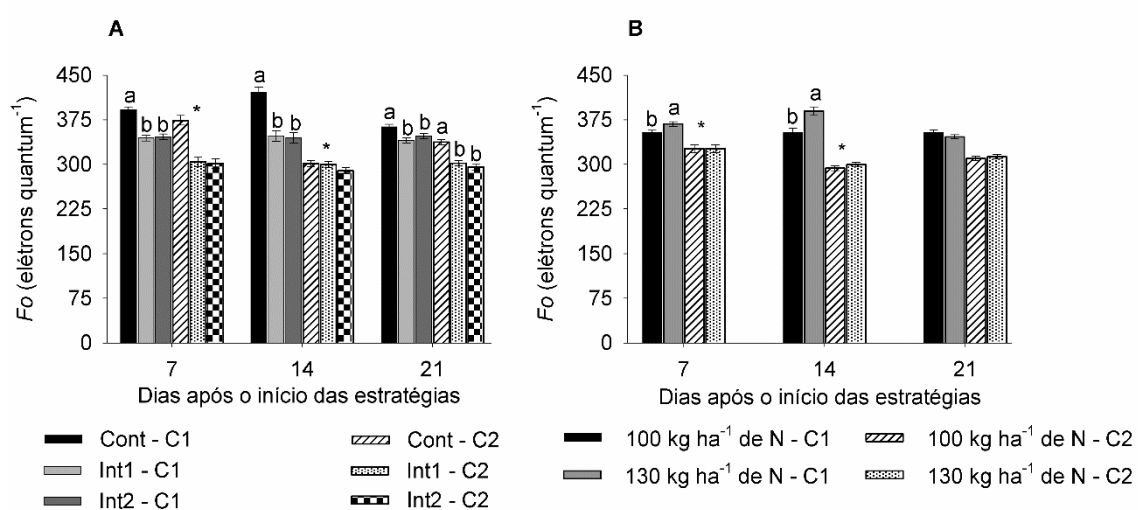


Fig. 6 Emissão de fluorescência inicial F_o da clorofila a pela alface em função de estratégias de irrigação (A) e de doses de N (B). Médias seguidas de letras distintas em cada período dos ciclos diferem os tratamentos entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (*) indica efeito de interação significativa (ver tabelas); (ausência de letras) indica efeito não significativo

Houve efeito significativo do N na emissão de F_o da clorofila a aos 7 e 14 DAE no C1. Nestes períodos a dose de 130 kg ha⁻¹ de N aumentou a F_o , apresentando médias de 367,87 e 389,39 elétrons quantum⁻¹, respectivamente (Fig. 6b). Nos mesmos períodos do C2, a interação foi significativa entre os fatores, e de modo geral a estratégia de irrigação Cont associado a 100 e 130 kg ha⁻¹ de N nos referidos dias, respectivamente, aumentaram a emissão de F_o da clorofila a (Tabela 3).

Tabela 3 Emissão de fluorescência inicial da clorofila a (F_o) da alface em função da interação entre as estratégias de irrigação e doses de N

Nitrogênio	F_o (7 DAE – C2)			F_o (14 DAE – C2)		
	(elétrons quantum ⁻¹)					
	Cont	Int1	Int2	Cont	Int1	Int2
100 kg ha ⁻¹	391,84aA	296,28bA	291,37bA	282,34aB	306,56aA	291,41aA
130 kg ha ⁻¹	356,11aB	311,78bA	311,51bA	319,39aA	292,92bA	286,83bA

Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas linhas diferem as estratégias entre si em cada dose de N e médias seguidas de letras maiúsculas nas colunas diferem as doses entre si em cada estratégia pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

A Fv/Fm foi influenciada apenas pelas estratégias de irrigação em todos os períodos no C1 e aos 14 e 21 DAE no C2. No C1, as menores Fv/Fm , 0,82; 0,80 e 0,83 aos 7, 14 e 21 DAE, respectivamente, foram observadas na estratégia de irrigação Cont. No C2 aos 14 e 21 DAE, as menores Fv/Fm , 0,85 e 0,81, respectivamente, foram novamente encontradas na estratégia de irrigação Cont, porém sem diferir de Int1 (Fig. 7a).

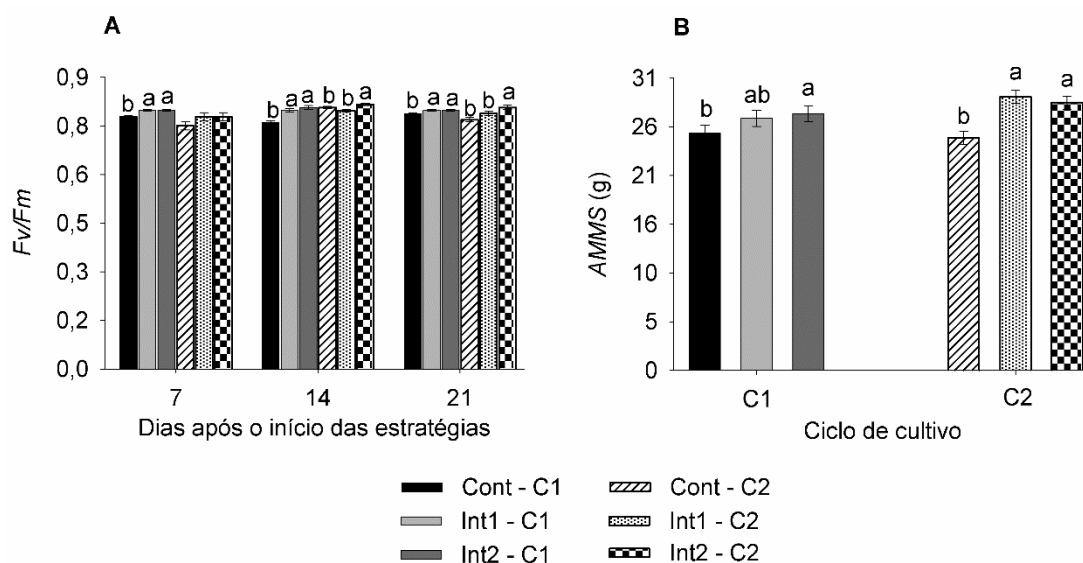


Fig. 7 Eficiência quântica do PSII Fv/Fm (A) e acúmulo de massa de matéria seca $AMMS$ (B) da alface em função de estratégias de irrigação. Médias seguidas de letras distintas em cada período dos ciclos diferem os tratamentos entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); (*) indica efeito de interação significativa (ver tabelas); (ausência de letras) indica efeito não significativo

1.3.3 Acúmulo de massa de matéria seca ($AMMS$)

O acúmulo de massa de matéria seca ($AMMS$) foi influenciado apenas pelo fator estratégias de irrigação. A estratégia de irrigação Cont reduziu o $AMMS$ apresentando médias de 25,33 e 24,83 g em C1 e C2, respectivamente (Fig. 7b). Já no C1 a estratégia de irrigação Cont reduziu o $AMMS$ em 13,3% em relação à estratégia Int2. No C2 as diminuições foram de 9,5 e 13,2% em relação às estratégias Int1 e Int2, respectivamente (Fig. 7b).

1.4 Discussão

1.4.1 Trocas gasosas foliares

A g_s foliar é o mecanismo fisiológico que regula o grau de abertura dos estômatos nas plantas e afeta diretamente a assimilação de CO_2 . Mu; Chen (2021) mencionam que a g_s é afetada por vários fatores, como a disponibilidade de água e nutrientes, temperatura do ar, concentração de CO_2 e luminosidade. Esse mecanismo tem sido frequentemente utilizado como parâmetro indicador de estresse hídrico, térmico e nutricional em plantas (Chtouk et al., 2022; Ramamoorthy et al., 2022; Fang et al., 2023; Ru et al., 2023).

Em nosso estudo, observamos que as estratégias de irrigação intermitentes aumentaram a g_s da cultura da alface (Fig. 2a). A irrigação intermitente reduz a tensão da água no solo ao longo do dia e diminui o movimento vertical da água no solo, ocasionando maior tempo de oportunidade de absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas. Este efeito minimiza as perdas de água por percolação profunda e, conseqüentemente, as perdas de nutrientes por lixiviação (Xu et al., 2004; Ismail et al., 2014), promovendo melhorias no processo de abertura dos estômatos (Fig. 2a).

As estratégias de irrigação intermitentes Int1 e especialmente Int2, promoveram aumento da θ na camada de 0 a 0,20 m (Fig. S1). Contudo, a estratégia Cont elevou a θ na camada de 0,20 a 0,40 m em todos os ciclos de produção da alface, independentemente da dose de N aplicada (Fig. S1). O aumento da disponibilidade hídrica ao longo do dia em razão da maior quantidade de evento de irrigação, elevam o teor de água presente nos tecidos vegetais (Pereira et al., 2023) e minimiza as restrições de ordem estomática (Fig. 2a), ocasionando o aumento das taxas transpiratórias (Fig. 2b) e da absorção de nutrientes pelas raízes (Xu et al., 2004; Zamora et al., 2019; Pereira et al., 2022).

O decréscimo da g_s sugere que as plantas de alface cultivadas sob a estratégia de irrigação Cont (Fig. 2a) podem ter apresentado maior susceptibilidade ao estresse hídrico brando que ocorre naturalmente ao longo do dia, mesmo em ambiente protegido. Os efeitos desses estresses são maximizados no período da tarde, quando a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor de água são mais elevados, mesmo com θ próximo à θ_{cc} (Fig. S1).

Em condições de estresse hídrico brando ou moderado também ocorrem limitações de natureza estomática em razão da redução do processo de abertura dos

estômatos (Chen et al., 2018). O decréscimo na g_s promove redução da concentração de CO_2 nos cloroplastos, afetando as taxas fotossintéticas (Ramamoorthy et al., 2022). Além disso, ao deprimir a g_s , ocorre diminuição nas taxas transpiratórias das plantas, entretanto há aumento substancial na eficiência de uso da água a nível foliar (Zhou et al., 2020).

Assim como a g_s , as menores E também foram observadas no manejo de irrigação Cont, provavelmente como resposta ao maior grau de fechamento estomático ocorrido na referida estratégia de manejo (Fig. 2a), o que reduz as trocas gasosas e a perda de água na forma de vapor por transpiração (Fig. 2b). Tais resultados corroboram com os reportados por Xu et al. (2004) e Pires et al. (2011) que também reportaram diminuição da E em plantas de alface e tomate, respectivamente, cultivadas sob o manejo de fertirrigação Cont.

A E aumentou com o uso da combinação Int2 e 130 kg ha^{-1} de N aos 7 DAE no C2 (Tabela 1), sugerindo que a estratégia Int2 exigiu maior quantidade de N a fim de maximizar a E na fase inicial do C2. Konstantopoulou et al. (2012) também verificaram que o aumento da disponibilidade de N elevou a E da alface cv. Parris Island.

A maior dose de N provavelmente contribuiu para atenuar os efeitos do estresse hídrico que ocorrem naturalmente ao longo do dia (Xu et al., 2015; Song et al., 2019), uma vez que em situações de estresse hídrico as plantas limitam a E (Chen et al., 2018). Além disto, regular a E é fundamental para as plantas, especialmente nas fases iniciais de crescimento, e a aplicação de N contribui para minimizar a redução que ocorre na E em escala horária e diária (Zhou et al., 2020).

A estratégia de irrigação diária Int2 maximizou o mecanismo de abertura do poro estomático (Fig. 2a). Essa condição favoreceu as trocas gasosas entre a atmosfera e o interior da folha, aumentando o influxo de CO_2 no mesófilo foliar (Fig. 2c) que é consumido no processo fotossintético. Neste contexto, diminuições acentuadas na C_iCO_2 nos espaços intercelulares, como observado na estratégia de irrigação Cont (Fig. 2c), podem limitar a presença deste nos cloroplastos, reduzir a atividade de carboxilação da Rubisco, elevando sua atividade de oxigenação com consequente queda das taxas fotossintéticas (Gao et al., 2020; Yang et al., 2021).

A maior dose de N aumentou a C_iCO_2 aos 7 DAE no C1 (Fig. 3a), porém este aumento não elevou as taxas fotossintéticas (Fig. 3d), e ainda deprimiu a eficiência de carboxilação no referido período (Fig. 5a). Apesar da ausência de efeito significativo, as maiores médias da g_s (dados não apresentados) no referido período,

foram observadas em 130 kg ha⁻¹ de N. O aumento da C_iCO_2 geralmente está associado à menor restrição estomática. Este fato justifica o incremento de apenas 2,2% na C_iCO_2 com a aplicação deste tratamento.

A resposta da C_iCO_2 das culturas ao incremento da disponibilidade de N é variável, pois alguns estudos apontam aumento (Zhao et al., 2005; Gao et al., 2020) e outros diminuição (Li et al., 2009; Xiong et al., 2015; Ma et al., 2019; Wu et al., 2019). É provável que o aumento da C_iCO_2 observado na maior dose de N (Fig. 3a) também esteja relacionado ao maior acúmulo de CO₂ no mesofilo foliar, com conseqüente diminuição do uso deste gás na fotossíntese. Nossos resultados contrariam os reportados por Liu et al. (2023), os quais observaram diminuição na C_iCO_2 no mesofilo foliar da alface com o aumento da disponibilidade de N.

A T_F é uma variável fisiológica que tem sido empregada como indicador de estresse hídrico, térmico e nutricional em plantas (Xiong et al., 2015; Fang et al., 2023). Este parâmetro é dependente do funcionamento dos estômatos e da incidência da radiação solar sobre a superfície foliar que também propicia seu aquecimento.

O aumento da T_F observado aos 21 dias no C1 e C2 na estratégia de irrigação Cont combinada às doses de 130 e 100 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 1), é decorrente das menores médias de g_s observadas na combinação desses tratamentos (dados de interação não apresentados). A diminuição da g_s promove aumento da T_F que normalmente é causada pela incidência da radiação solar sobre o tecido vegetal (Brewer et al., 2022). Brewer et al. (2022) reportaram que há uma relação inversa entre a g_s e a T_F , e que uma diminuição da g_s , seguida de aumento da T_F é indicativo de um potencial estresse hídrico nas plantas.

Em nosso estudo, constatamos que as doses de 100 e 130 kg ha⁻¹ de N aplicado na estratégia Int1 aumentaram a T_F aos 21 DAE no C1 e C2, respectivamente (Tabela 1), porém este aumento não foi seguido de depleção na A com o uso dos referidos tratamentos (Tabela 1, Fig. 3d; Fig. 4a), evidenciando que o incremento da T_F não foi capaz de provocar danos severos ao aparelho fotossintético da alface cultivada sob essas estratégias de fertirrigação, uma vez que aumentos exagerados da T_F causariam aumento do $DPV_{folha-ar}$ e diminuição expressiva na condutância do mesofilo (g_m), na taxa de transporte de elétrons (J_{max}), g_s e A (Xiong et al., 2015; Urban et al., 2017; Fang et al., 2023).

A estratégia de irrigação Cont elevou a T_F em 7,43% em relação à Int2 no período de 7 DAE no C2 (Fig. 2d). O aumento da T_F na estratégia Cont é atribuída às menores

médias de g_s e E (Fig. 2a,b), uma vez que estes são os principais mecanismos vinculados à regulação da T_F . Portanto, sob condições de baixa g_s e E , há menor capacidade de resfriamento foliar, especialmente pela incidência de elevada radiação solar.

A diminuição da g_s observada na estratégia de irrigação Cont (Fig. 2a) foi benéfica para limitar a perda de água dos tecidos vegetais em razão da diminuição da transpiração (Fig. 2b), resultando em aumento da eficiência de uso da água (Fig. 4d), todavia, diminuiu a capacidade de resfriamento foliar (Fig. 2d), que por sua vez, pode ocasionar aumento do estresse térmico por altas temperaturas e queda nas taxas fotossintéticas (Fig. 4a).

É provável que a estratégia de irrigação Cont tenha limitado a absorção de água do solo pelas raízes da alface, ocasionando diminuição do processo de abertura dos estômatos (Fig. 2a), reduzindo conseqüentemente a capacidade de regulação da T_F . Xu et al. (2004) reportaram que a estratégia de irrigação Cont aumentou expressivamente a tensão da água do solo ao longo do dia com conseqüente diminuição da absorção de água pelas raízes da alface cv. Iceberg nos horários de 10:00 a.m a 2:00 p.m.

O aumento da T_F na estratégia de irrigação Cont provavelmente deprimiu a A no referido período (Fig. 4a). Esses resultados são consistentes com os estudos desenvolvidos por Xiong et al. (2015) e Fang et al. (2023) os quais reportaram que T_F superiores a 35 e 30°C provocaram diminuição das taxas fotossintéticas e da g_m das culturas do arroz e trigo, respectivamente.

A aplicação diária da dose correspondente a 130 kg ha⁻¹ de N aumentou a T_F da alface na fase inicial do C2 (Fig. 3b). Apesar da ausência de efeito significativo, este tratamento diminuiu a g_s (dados não apresentados) e aumentou a T_F no referido período. Uma provável razão é que as plantas de alface não exigiram grande quantidade de N no estágio inicial do C2, uma vez que a aplicação deste macronutriente em níveis inadequados tende a limitar a regulação da abertura do poro estomático e, conseqüentemente, a E (Gao et al., 2020; Zhou et al., 2020), aumentando a T_F e o $DPV_{folha-ar}$.

O aumento observado na T_F na fase inicial do C2 com a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 3b), conseqüentemente elevou o $DPV_{folha-ar}$ (Fig. 3c), porém este aumento não foi seguido de reduções significativas na A (Fig. 3d) e na E_c (Fig. 5a) no referido período. Nossos resultados contrariam os reportados por Xiong et al. (2015), os quais

verificaram que o aumento da T_F em plantas supridas com altas concentrações de N foi mais significativo para aumentar a gs , gm e a A .

O aumento do $DPV_{folha-ar}$ constatado nas combinações entre os tratamentos nos períodos descritos na Tabela 1, decorrem da maior T_F registrada nas referidas combinações (dados de interação não apresentados), uma vez que aumentos da T_F ocasionam elevação do $DPV_{folha-ar}$ (Fang et al., 2023). De fato, o $DPV_{folha-ar}$ é um parâmetro fisiológico que influencia o processo de perda de água pelas folhas por meio da E . O aumento exagerado do $DPV_{folha-ar}$ em razão de altas T_F resulta em diminuição da gs , dificultando o influxo de CO_2 para o mesofilo foliar, com consequente queda na A (Urban et al., 2017; Brewer et al., 2022; Wang et al., 2022).

No presente estudo, constatamos que a estratégia de irrigação Int2 demandou maior quantidade de N para reduzir o $DPV_{folha-ar}$ aos 14 DAE no C1 (Tabela 1), o que é explicado pela capacidade do N em minimizar os efeitos provocados pelo estresse hídrico (Song et al., 2019), possivelmente ocasionado pelo intervalo de 4h entre os eventos de irrigação diária.

Em condições ideais de disponibilidade de água e N as plantas normalmente tendem a aumentar a T_F e o $DPV_{folha-ar}$ e maximizar as taxas transpiratórias, porém, sob estresse hídrico, um aumento da T_F e consequentemente do $DPV_{folha-ar}$ resulta em depleção da gs e da E (Zhou et al., 2020; Fang et al., 2023). Conforme reportaram Fang et al. (2023) valores de $DPV_{folha-ar}$ entre 2,0 a 3,0 kPa diminuíram a gs e E em plantas de trigo cultivadas sob estresse hídrico. Em nosso estudo, constatamos que as T_F estiveram acima das temperaturas do ar circundante em todos os tratamentos aplicados. Essas variações entre as temperaturas implicam em aumento do $DPV_{folha-ar}$.

A dose de 130 kg ha^{-1} de N aumentou o $DPV_{folha-ar}$ aos 7 e 21 DAE no C2 (Fig. 3c). Esses resultados são explicados em razão do aumento da T_F observada neste tratamento (Fig. 3b) com consequente elevação da pressão de saturação de vapor de água no interior das folhas (e_{folha}), aumentando o $DPV_{folha-ar}$ (Fang et al., 2023). Os resultados deste estudo corroboram com os reportados por Wang et al. (2022), os quais observaram que o aumento da T_F refletiu em elevação do $DPV_{folha-ar}$ nas folhas de plantas da espécie *Populus euramericana* Neva.

A diminuição da A observada aos 7 DAE no C1 na combinação Cont e 100 kg ha^{-1} de N (Tabela 1), pode ser atribuída à diminuição da gs (Fig. 2a) e, consequentemente, das menores $CiCO_2$ (Fig. 2c; Fig. 3a) observadas nestes

tratamentos no referido período, indicando menor eficiência fotossintética e menor adaptabilidade inicial da cultura da alface a esses tratamentos.

O fornecimento de N na menor dose contribuiu para o decréscimo da *A* aos 14 DAE no C1, porém aumentou a *A* aos 21 dias no referido ciclo (Fig. 3d). Esse comportamento pode estar relacionado aos períodos de demanda de N da alface, uma vez que este nutriente é um dos mais absorvido e acumulados na matéria seca da cultura (Pereira et al., 2022) e é fundamental para a fotossíntese (Ramamoorthy et al., 2022). Contudo, em solos com maior teor de areia e com pH próximo à neutralidade, como é o caso do solo do presente estudo, há a prevalência de íons NO_3^- na camada superficial do solo, o que favorece a lixiviação deste ânion para fora da região radicular da alface, especialmente com a aplicação de doses acima de 120 kg ha^{-1} de N (Sylvestre et al., 2019), resultando em diminuição na *A*.

Nossos resultados divergem dos encontrados por Konstantopoulou et al. (2012), os quais verificaram que a maior *A* $22,13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ da alface cv. Parris Island foi obtida com a aplicação de 72 kg ha^{-1} de N. Pode-se inferir que essas diferenças na *A* estejam relacionadas às características genéticas das cultivares exploradas, bem como às condições em que foram conduzidos os estudos.

A estratégia de irrigação Cont reduziu a *A* aos 14 e 21 DAE no C1, e aos 7 DAE no C2 (Fig. 4a). O decréscimo na *A* nestes períodos é decorrente da diminuição da *g_s*, *E*, *C_iCO₂*, aumento da *T_F* e do *DPV_(folha-ar)* no geral observado na referida estratégia de irrigação. Nossos resultados estão de acordo com os reportados por Pires et al. (2011) que também verificaram menor *g_s*, *E* e *A* do tomateiro com o uso de um único evento de fertirrigação diária.

Em situações de menor disponibilidade de água e N, a diminuição da fotossíntese pode ser associada à menor disponibilidade de CO_2 no mesófilo foliar induzida pelo maior grau de fechamento estomático (Wei et al., 2019; Ramamoorthy et al., 2022; Fang et al., 2023). Contudo, a menor *A* observada aos 14 e 21 no C2 na estratégia de irrigação Cont associado à maior dose de N (Tabela 1), pode ser indicativo de maior ocorrência de lixiviação de nutrientes, especialmente do N para fora da região radicular com o uso da referida estratégia de irrigação.

A diminuição da *A* aos 21 DAE no C2 com o uso da estratégia de irrigação Int2 associada à maior dose de N, pode ser atribuída ao maior movimento horizontal da umidade do solo (Fig. S1) em razão do uso de intermitências no manejo da irrigação (Ismail et al., 2014), aumentando a concentração de sais na zona radicular (dados não

apresentados), especialmente com a aplicação de maiores doses de fertilizantes com poder salino como a ureia, ocasionando aumento do potencial osmótico da solução do solo, deprimindo a absorção de água pelas raízes da alface.

1.4.1.1 Eficiência de carboxilação e de uso da água

A aquisição de CO_2 no mesófilo foliar com o uso dos tratamentos Int2 (Fig. 2c) e 130 kg ha^{-1} de N (Fig. 3a) foram maiores aos 7 DAE no C1, porém este incremento não refletiu em ganhos expressivos na eficiência do processo de fixação deste gás na fase de carboxilação (Tabela 2) e ainda deprimiu a A (Tabela 1).

A Ec representa a relação $A/C_i\text{CO}_2$ e depende da atividade enzimática que regula a fotossíntese, caracterizando o nível de aproveitamento de CO_2 disponível para fixação do carbono. A menor Ec indica que a transferência de CO_2 das cavidades subestomáticas para os locais de carboxilação nos cloroplastos foi menor, resultando em diminuição da taxa de carboxilação da Rubisco (Li et al., 2009).

A Ec oscilou ao longo dos dias avaliados no C1. Aos 14 DAE a dose de 130 kg ha^{-1} de N aumentou a Ec , porém este tratamento deprimiu a Ec aos 21 DAE (Fig. 5a). Esse comportamento também foi observado na $C_i\text{CO}_2$ (Fig. 3a) e mais notadamente na A (Fig. 3d).

É provável que a maior dose de N tenha maximizado a atividade metabólica da alface nas fases iniciais do C1, uma vez que o incremento da disponibilidade deste nutriente tende a aumentar as taxas fotossintéticas, a gm , a concentração de CO_2 nos cloroplastos, a atividade da Rubisco, a síntese de clorofila e otimiza a Ec das plantas (Li et al., 2009). Li et al. (2009) também reportaram que a maior disponibilidade de N elevou a Ec em plantas de arroz.

O aumento significativo observado na Ec aos 14 e 21 DAE no C1 nos tratamentos Int1 (Fig. 4b) e 100 kg ha^{-1} de N (Fig. 5a), respectivamente, é um indicativo que o CO_2 contido nas células do mesófilo foliar foi fixado na fase carboxilativa, e não limitou a condutância do CO_2 no mesófilo e a atividade metabólica do ciclo de Calvin, aumentando a A (Fig. 4a; Fig. 3d).

O processo fisiológico de abertura e fechamento estomático é o principal mecanismo utilizado pelas plantas afim de evitar a perda de água dos tecidos vegetais. No entanto, ao utilizar a estratégia de fechamento estomático, há declínio na A em

razão do menor influxo de CO₂ nas cavidades subestomáticas, ocasionando um desequilíbrio nas trocas gasosas foliares.

A *EUA_i* é a variável que relaciona a assimilação de CO₂ em razão do processo transpiratório (Chen et al., 2018). Um aumento na *EUA_i* é indicativo que maiores quantidades de CO₂ foi absorvido em detrimento da perda de água que ocorre nas células do mesófilo através da transpiração. Os tratamentos que promoveram aumentos significativos nas taxas de *A*, compensaram a maior *E* e, conseqüentemente, aumentaram a *EUA_i* (Tabela 2; Fig. 4c).

O aumento observado na *EUA_i* aos 14 DAE no C1 na dose de 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 5b) é atribuído ao maior ganho nas taxas fotossintéticas (Fig. 3d) constatada neste tratamento no referido período, uma vez que a melhor disponibilidade de N, além de aumentar o rendimento e as taxas fotossintéticas das culturas, é capaz de promover melhorias significativas na *EUA_i* (Zhou et al., 2020).

As diminuições constatadas na *EUA* (Tabela 2; Fig. 5c e Fig. 4d), mostram que os ganhos nas taxas fotossintéticas nestes tratamentos (Tabela 1; Fig. 3c e Fig. 4a) foram proporcionalmente menores que o processo de abertura do poro estomático e, que em alguns períodos os níveis de N não foram eficientes na manutenção do uso da água pela cultura da alface a nível foliar, resultando em maior perda de água e queda na eficiência.

A estratégia de irrigação Cont maximizou a *EUA* aos 14 DAE no C2, com diferença de 35,17% em relação à Int2 (Fig. 4d). Em situações de estresse hídrico ao longo do dia, as plantas minimizam as perdas de água por transpiração (Fig. 2b) através do maior grau de fechamento estomático (Fig. 2a), entretanto esse mecanismo favorece o uso mais eficiente da água a nível foliar. Isso justifica o incremento da *EUA* com o uso da estratégia de irrigação Cont.

O aumento da *A* normalmente decorre de elevadas taxas de *g_s* e *E* (Wu et al., 2019; Ramamoorthy et al., 2022). A manutenção de elevadas taxas de fotossíntese associadas à diminuição de *g_s* e *E* são indicativos de plantas tolerantes à menor disponibilidade hídrica e de N, resultando em ganhos expressivos na *EUA_i* e *EUA*.

No presente estudo, constatamos que de maneira geral os valores de temperatura média do ar no interior do ambiente protegido foram maiores entre o 7º dia após o transplântio até a colheita das plantas no C2 (Fig. 1b). Este aumento registrado na temperatura do ar interna no referido período do C2, justifica a diminuição das médias da *g_s*, *E*, *CiCO₂*, e aumento da *T_F*, *DPV_{folha-ar}*, *A*, *Ec* e das

eficiências de uso da água em todos os tratamentos durante as avaliações aos 7 e 21 DAE.

Nossos resultados contrariam os reportados por Ouyang et al. (2020), os quais observaram que o aumento da temperatura do ar de 16 °C para 20 °C foi benéfico e aumentou a g_s , E , A e A/E , porém diminuiu a C_iCO_2 da alface cv. Grand Rapids TBR. Pode-se inferir que essas variações observadas no comportamento das variáveis de trocas gasosas foliares em função do aumento da temperatura do ar estejam relacionadas às características genéticas das cultivares exploradas.

1.4.2 Emissão de fluorescência e eficiência quântica do fotossistema II

A fluorescência da clorofila *a* é a reemissão de radiação na região do espectro visível (vermelho e vermelho distante), resultante do retorno do estado excitado das moléculas de clorofila *a* para seu estado basal, após receber energia luminosa. Essa reemissão da luz solar como fluorescência é utilizada como ferramenta rápida, não destrutiva e eficaz para se obter informações sobre o estado do aparato fotossintético e do funcionamento do fotossistema II (Maxwell; Johnson, 2000).

A estratégia de irrigação Cont provocou aumento da F_o (Fig. 6a). A energia da luz solar absorvida pelas moléculas de clorofila pode ser utilizada no processo fotossintético, dissipada na forma de calor ou reemitida como fluorescência, e esses processos competem entre si (Maxwell; Johnson, 2000). Neste sentido, o aumento da F_o indica declínio na capacidade de transferência da energia de excitação ao complexo antena do *PSII*, e em casos mais intensos de estresse, destruição do centro de reação do *PSII* (*P680*).

O aumento da F_o observado aos 7 e 14 DAE no C1 com a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N (Fig. 6b), e aos 7 e 14 DAE no C2 com o uso da fertirrigação Cont associada a 100 e 130 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 3), podem ser decorrentes de perturbações provocadas ao fotossistema II, uma vez que aumentos nos valores de F_o é comum em plantas submetidas a estresse térmico, hídrico e nutricional (Wijewardana et al., 2018; Chtouk et al., 2022; Ramamoorthy et al., 2022), possivelmente como alternativa de dissipação do excesso de energia ao centro de reação do *PSII*.

A diminuição constatada na F_v/F_m com o uso da estratégia de irrigação Cont (Fig. 7a), é decorrente do aumento da F_o observada neste tratamento. Apesar destes

resultados, pode-se afirmar que plantas de alface cultivadas sob tal estratégia de irrigação não apresentaram limitações danosas no potencial fotossintético, uma vez que os valores de F_v/F_m para plantas saudáveis estão situados entre 0,75 e 0,85 (Maxwell; Johnson, 2000).

1.4.3 Acúmulo de massa de matéria seca (AMMS)

As diminuições constatadas no AMMS da alface com o uso da estratégia de irrigação Cont (Fig. 7b) é justificada em razão das menores médias de g_s , E , C_iCO_2 , A e dos aumentos da T_F e do $DPV_{folha-ar}$ observadas na referida estratégia. De fato, decréscimo da disponibilidade hídrica ao longo do dia promove diminuição no processo transpiratório como consequência da redução da abertura dos estômatos e de limitações da g_s , afetando diretamente o potencial hídrico. Além disto, a depleção da g_s ocasiona menor influxo de CO_2 no mesofilo foliar e, conseqüentemente, no interior dos cloroplastos, limitando expressivamente a atividade fotossintética, e em última instância, causando diminuição acentuada no acúmulo de massa de matéria seca.

1.5 Conclusão

As plantas de mini alface cultivadas sob as estratégias de irrigação intermitentes são menos susceptíveis ao estresse hídrico que ocorre naturalmente ao longo do dia, mostrando-se mais eficientes em realizar a atividade fotossintética, refletindo em ganhos na produção de biomassa.

A fertirrigação contínua e intermitente com a aplicação das doses máxima e mínima recomendadas para a produção da alface não limitam a atividade fotossintética de forma a reduzir a produção de biomassa da cultura.

1.6 Referências

Abdelraouf RE, Azab A, Tarabye HHH, Refaie KM (2019) Effect of pulse drip irrigation and organic mulching by rice straw on yield, water productivity and quality of orange under sandy soils conditions. Plant Archives, 19: 2613-2621.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (2006) Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, Roma

Bastos EA, Lunardi DMC, Andrade Júnior AS, Netto ADOA (1996) Determination of lettuce (*Lactuca sativa*, L.) crop coefficient. Irriga, 1: 2-7. <https://doi.org/10.15809/irriga.1996v1n3p2>

Brewer K, Clulow A, Sibanda M, Gokool S, Odindi J, Mutanga O, Naiken V, Chimonyo VGP, Mabhaudhi T (2022) Estimation of maize foliar temperature and stomatal conductance as indicators of water stress based on optical and thermal imagery acquired using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platform. Drones, 6:169. <https://doi.org/10.3390/drones6070169>

Chen Z, Wang Z, Yang Y, Li M, Xu B (2018) Abscisic acid and brassinolide combined application synergistically enhances drought tolerance and photosynthesis of tall fescue under water stress. Scientia Horticulturae, 228: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.004>

Chtouki M, Laaziz F, Naciri R, Garré S, Nguyen F, Oukarroum A (2022) Interactive effect of soil moisture content and phosphorus fertilizer form on chickpea growth, photosynthesis, and nutrient uptake. Scientific Reports, 12:6671. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10703-0>

Fang L, Martre P, Jin K, Du X, Putten PELVD, Yin X, Struik PC (2023) Neglecting acclimation of photosynthesis under drought can cause significant errors in predicting leaf photosynthesis in wheat. Global Change Biology, 29:505-521. <https://doi.org/10.1111/gcb.16488>

Gao L, Lu Z, Ding L, Xie K, Wang M, Ling N, Guo S (2020) Anatomically induced changes in rice leaf mesophyll conductance explain the variation in photosynthetic nitrogen use efficiency under contrasting nitrogen supply. BMC Plant Biology, 20:527. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02731-7>

Ismail S M, El-Abdeen TZ, Omara A A, Abdel-Tawab E (2014) Modeling the soil wetting pattern under pulse and continuous drip irrigation. American-Eurasian Journal Agricultural & Environment Science, 14: 913-922. DOI: 10.5829/idosi.aejaes.2014.14.09.12404

Keller J, Karmeli D (1975) Trickle irrigation design. Glendora, California

Konstantopoulou E, Kapotis G, Salachas G, Petropoulos SA, Chatzieustratiou E, Karapanos IC, Passam HC (2012) Effect of nitrogen application on growth parameters, yield and leaf nitrate content of greenhouse lettuce cultivated during three seasons. Journal of Plant Nutrition, 35: 1246-1254. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.676135>

Liu L, Shi W, Pang, L (2023) Effects of water–nitrogen coupling on soil water and nitrogen, photosynthesis, yield and water use of lettuce under different application rates of poly- γ -glutamic acid. Irrigation and Drainage, 72:105-118. <https://doi.org/10.1002/ird.2760>

Li Y, Gao Y, Xu X, Shen Q, Guo, S (2009) Light-saturated photosynthetic rate in high-nitrogen rice (*Oryza sativa* L.) leaves is related to chloroplastic CO₂ concentration. *Journal of Experimental Botany*, 60: 2351-2360. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp127>

Ma G, Liu W, Li S, Zhang P, Wang C, Lu H, Wang L, Xie Y, Ma D, Kang G (2019) Determining the Optimal N Input to Improve Grain Yield and Quality in Winter Wheat With Reduced Apparent N Loss in the North China Plain. *Front. Plant Sci.* 10:181. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00181>

Maxwell K, Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659>

Ouyang Z, Tian J, Yan X, Shen H (2020) Effects of different concentrations of dissolved oxygen or temperatures on the growth, photosynthesis, yield and quality of lettuce. *Agricultural water management*, 228: 105896. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105896>

Pereira LS, Saad JCC, Cardoso All, Castro VA, Lima CJGS, Silva EM (2022) Nutrient content and accumulation in mini lettuce as a function of fertigation management strategies. *Horticultura Brasileira*, 40: 403-410. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536-20220408>

Pereira LS, Saad JCC, Cardoso All, Silva MA, Lima CJGS, Silva EM (2023) Intermittence in irrigation management and nitrogen optimize yield and water use efficiency in baby lettuce. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 21: e1202. <https://doi.org/10.5424/sjar/2023214-20482>

Pires RCDM, Furlani PR, Ribeiro RV, Bodine Junior D, Sakai E, Lourenção A L, Torre Neto A (2011) Irrigation frequency and substrate volume effects in the growth and yield of tomato plants under greenhouse conditions. *Scientia Agricola*, 68:400-405.

Ramamoorthy P, Bheemanahalli R, Meyers SL, Shankle M W, Reddy K R (2022) Drought, low nitrogen stress, and ultraviolet-B radiation effects on growth, development, and physiology of sweetpotato cultivars during early season. *Genes*, 13: 156. doi.org/10.3390/genes13010156

Razmjooei Z, Etemadi M, Eshghi S, Ramezani A, Abarghuei FM, Alizargar J (2022) Potential Role of Foliar Application of *Azotobacter* on Growth, Nutritional Value and Quality of Lettuce under Different Nitrogen Levels. *Plants*, 11: 406. <https://doi.org/10.3390/plants11030406>

Ru C, Hu X, Chen D, Wang W, Zhen J, Song T (2023) Individual and combined effects of heat and drought and subsequent recovery on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) photosynthesis, nitrogen metabolism, cell osmoregulation, and yield formation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196: 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.038>

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho M R, Almeida JA, Cunha TJF, Oliveira JB (2013) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa, Brasília.

Silber A, Bruner M, Kenig E, Reshef G, Zohar H, Posalski I, Yehezkel D, Shmuel S, Cohen M, Dinar E, Matan I, Dinkin Y, Cohen L, Karni B, Aloni, Assouline, S (2005) High fertigation frequency and phosphorus level: Effects on summer-grown bell pepper growth and blossom-end rot incidence. *Plant and soil*, 270:135-146. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1311-3>

Song J, Wang Y, Pan Y, Pang J, Zhang X, Fan J, Zhang Y (2019) The influence of nitrogen availability on anatomical and physiological responses of *Populus alba* × *P. glandulosa* to drought stress. *BMC Plant Biology*, 19:63. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1667-4>

Souza CF, Matsura EE, Folegatti MV, Coelho EF, Or D (2006) Use of tdr probes to estimate soil moisture and electric conductivity. *Irriga*, 11: 12-25. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2006v11n1p12-25>

Sylvestre TB, Braos LB, Batistella Filho F, Cruz MCP, Ferreira M E (2019) Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. *Scientia Horticulturae*, 255:153-160. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.032>

Urban J, Ingwers MW, Mcguire MA, Teskey, RO (2017) Increase in leaf temperature opens stomata and decouples net photosynthesis from stomatal conductance in *Pinus taeda* and *Populus deltoides* × *nigra*. *Journal of Experimental Botany*, 68: 1757-1767. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx052>

Van Genuchten MT (1980) A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892-898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

Van Raij B, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (1997) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo/IAC, Campinas

Wang Z, Wang C, Wang X, Wang B, Wu J, Liu L (2022) Aerosol pollution alters the diurnal dynamics of sun and shade leaf photosynthesis through different mechanisms. *Plant, Cell & Environment*, 45:2943–2953. <https://doi.org/10.1111/pce.14411>

Wei Z, Fang L, Li X, Liu J, Liu F (2020) Effects of elevated atmospheric CO₂ on leaf gas exchange response to progressive drought in barley and tomato plants with different endogenous ABA levels. *Plant and Soil*, 447: 431-446. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04393-3>

Wijewardana C, Reddy KR, Shankle MW, Meyers S, Gao W (2018) Low and high-temperature effects on sweetpotato storage root initiation and early transplant establishment. *Scientia Horticulturae*, 240: 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.052>

Wu YW, Qiang L, Rong J, Chen W, Liu XL, Kong FL, Ke YP, Shi HC, Yuan JC (2019) Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances. *Journal of Integrative Agriculture*, 18:1246-1256. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62030-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62030-1)

Xiong D, Liu XI, Liu L, Douthe C, Li Y, Peng S, Huang J (2015) Rapid responses of mesophyll conductance to changes of CO₂ concentration, temperature and irradiance are affected by N supplements in rice. *Plant, Cell & Environment*, 38:2541-2550. <https://doi.org/10.1111/pce.12558>

Xu G, Levkovitch I, Soriano S, Wallach R, Silber A (2004) Integrated effect of irrigation frequency and phosphorus level on lettuce: P uptake, root growth and yield. *Plant and soil*, 263: 297-309. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047743.19391.42>

Xu N, Guo W, Liu J, Du N, Wang, R (2015) Increased nitrogen deposition alleviated the adverse effects of drought stress on *Quercus variabilis* and *Quercus mongolica* seedlings. *Acta Physiol Plant* 37: 107. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1853-4>

Yang K, Yang J, Lv C, Cao P, Deng X, Wang Y, Sun W, Yu L, Hu Z, Huang Y (2021) Reduced mesophyll conductance induces photosynthetic acclimation of japonica rice under elevated CO₂. *Environmental and Experimental Botany*, 190:104590. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104590>

Zamora VRO, Silva MM, Silva GF, Santos Júnior JA, Menezes D, Menezes SM (2019) Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. *Horticultura Brasileira* 37: 022-028. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190103>

Zhao D, Reddy KR, Kakani VG, Reddy VR (2005) Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European journal of agronomy*, 22:391-403. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.06.005>

Zhou H, Kang S, Li F, Du T, Shukla MK, Li X (2020) Nitrogen application modified the effect of deficit irrigation on tomato transpiration, and water use efficiency in different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 263: 109112. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109112>

CAPÍTULO 2

INTERMITÊNCIAS NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E NITROGÊNIO OTIMIZAM A PRODUTIVIDADE E A EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA EM MINI ALFACE¹

Resumo

Objetivo do estudo: Avaliar a influência de estratégias de manejo de irrigação e nitrogênio sobre o crescimento, produtividade e eficiência de uso da água de mini alface em ambiente protegido.

Área do estudo: Botucatu-SP, Brasil.

Material e métodos: Os experimentos foram conduzidos em dois ciclos consecutivos e os tratamentos corresponderam à combinação de estratégias de manejo da irrigação com doses de nitrogênio. As estratégias de irrigação compreenderam 3 possibilidades: irrigação contínua (Cont); irrigação intermitente com três pulsos de irrigação em intervalos de uma hora (Int1); e irrigação intermitente com fracionamento da lâmina de irrigação nos horários de 7:00, 11:00 e 15:00 horas (Int2). Duas doses de nitrogênio foram avaliadas, 100 e 130 kg/ha de N, aplicadas em fertirrigação diária conforme as estratégias de manejo da irrigação.

Principais resultados: As estratégias de irrigação intermitentes (Int1 e Int2) promoveram o maior crescimento vegetativo, elevaram o teor de água nas folhas e aumentaram a produtividade total (49,55 e 55,30; 46,83 e 49,50 t/ha) e comercial (46,77 e 52,44; 45,11 e 47,17 t/ha) no primeiro e segundo ciclo, respectivamente, além de otimizarem as eficiências de uso da água. A dose de 130 kg/ha de N aumentou a produtividade total (51,61 t/ha), comercial (48,98 t/ha) e as eficiências de uso da água da produtividade total (53,60 kg/m³) e comercial (50,88 kg/m³), apenas no primeiro ciclo de cultivo.

Destaques da Pesquisa: O uso de intermitências no manejo da irrigação mostrou-se mais eficiente na obtenção de altas produtividades e maximizou a eficiência de uso da água como fator de produção.

Palavras-chave adicionais: irrigação por pulso; fertirrigação; irrigação por gotejamento; crescimento vegetativo; *Lactuca sativa* L.

¹ Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico Spanish Journal of Agricultural Research

Abreviações usadas: IC (primeiro ciclo); IIC (segundo ciclo); dias após o início da aplicação das estratégias de irrigação (DAIE); índice relativo de clorofila (*IRC*); teor relativo de água na folha (*TRA*); diâmetro do caule (*D*); comprimento do caule (*C*); altura de plantas (*A*); circunferência de “cabeça” (*CC*); número de folha total (*NFT*); número de folha comercial (*NFC*); número de folha não comercial (*NFNC*); área foliar (*AF*); massa fresca de folha total (*MFT*); massa fresca de folha comercial (*MFC*); massa fresca de folha não comercial (*MFNC*); produtividade total (*PT*); produtividade comercial (*PC*); produtividade não comercial (*PNC*); eficiência de uso da água da produtividade total (*EUA_{PT}*); eficiência de uso da água da produtividade comercial (*EUA_{PC}*); índice de colheita (*ICO*).

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 140682/2017-1).

Conflitos de interesses: Os autores declararam que não existem conflitos de interesses.

Correspondence should be addressed to Laércio da Silva Pereira: abreu91@hotmail.com

2.1 Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) da família Asteraceae é uma das hortaliças folhosas mais comercializadas e consumidas no Brasil e no mundo. É fonte de vitaminas e sais minerais, e apresenta variadas cultivares das formas lisa a crespa, com ou sem formação de cabeça, folhas roxas ou verdes, de acordo com cada cultivar, podendo ser cultivada em campo ou ambiente protegido. É uma cultura muito sensível ao estresse hídrico e, portanto, exige um bom gerenciamento da irrigação de forma a garantir o suprimento das necessidades hídricas.

Uma estratégia de manejo de irrigação eficiente e que pode maximizar o rendimento da alface é o uso da irrigação por pulsos. Essa estratégia de irrigação consiste na aplicação da lâmina de irrigação parcelada em curtos intervalos de tempo, seguido por um período de repouso e outro período de irrigação. Este ciclo é repetido até a completa aplicação da lâmina de irrigação exigida pela cultura. Estudos apontam que essa estratégia de manejo de irrigação é capaz de maximizar o rendimento das culturas como o feijão verde (El-Mogy et al., 2012), soja (Eid et al., 2013), coentro (Zamora et al., 2019) cebola (Madane et al., 2018a, b), laranja (Abdelraouf et al., 2019), beterraba (Mehanna et al., 2020) e amendoim (Silva et al., 2022).

Além de aumentar a produtividade das culturas, a estratégia de manejo de irrigação por pulsos também reduz expressivamente a lâmina de irrigação aplicada em torno de 20%, com acréscimo na produtividade (Madane et al., 2018a), contribui para melhoria da qualidade dos produtos colhidos (Elnesr et al., 2015; Madane et

al., 2018a), maximiza as taxas de crescimento das plantas, o acúmulo de nutrientes, a produção de biomassa e a eficiência de uso da água (Madane *et al.*, 2018a, b; Abdelraouf *et al.*, 2019; Zamora *et al.*, 2019; Menezes *et al.*, 2020a, b; Mehanna *et al.*, 2020).

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais exigidos pela cultura da alface e atua ativamente nas sínteses de aminoácidos, proteínas, clorofila e favorece o crescimento vegetativo (Perchlik & Tegedere, 2018; Consentino *et al.*, 2022). Contudo, a resposta do rendimento da alface à adubação nitrogenada depende da cultivar, do solo, das condições climáticas locais (Sylvestre *et al.*, 2019) e também da forma de aplicação do fertilizante. Em geral, a recomendação da adubação nitrogenada aplicada de forma convencional para a alface está em torno de 100 a 130 kg/ha, parcelados em três vezes ao longo do ciclo (Van Raij *et al.*, 1997).

A fertirrigação é a técnica de aplicação simultânea de água e fertilizantes por um sistema de irrigação. Essa técnica é capaz de maximizar o rendimento das culturas como a alface e otimizar a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados como fator de produção (Souza *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2022). Contudo, o manejo inadequado da fertirrigação, especialmente em ambiente protegido, associado à aplicação de altas dosagens de nutrientes como o N, eleva as concentrações de sais na superfície do solo e prejudica a absorção de água.

A hipótese deste estudo é que a irrigação intermitente com fertirrigação irá aumentar a produtividade da alface, reduzir a dosagem de N aplicada e otimizar a eficiência de uso da água como fator de produção. O objetivo deste estudo é avaliar a influência de estratégias de manejo de irrigação e nitrogênio sobre o crescimento, produtividade e eficiência de uso da água de mini alface em ambiente protegido.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Local experimental

Os experimentos foram conduzidos em dois ciclos consecutivos na condição de cultivo protegido, em área localizada na Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Botucatu, SP, Brasil (latitude 22°51'03" S, longitude 48°25'37" W, e altitude 786 m). O primeiro ciclo (IC) foi conduzido no período de 31 de outubro à 05 de dezembro de 2019, e o segundo ciclo (IIC) de 13 de dezembro de 2019 à 12 de janeiro de 2020.

O ambiente protegido era de estrutura metálica com arco simples, tendo 31m de comprimento x 7 m de largura, coberto com filme plástico transparente de polietileno de baixa densidade (150 µm de espessura), pé direito de 1,85 m e 4,50 m de altura no ponto mais alto. As partes laterais, frontal e o fundo eram revestidos por telas de cor preta de 50% de sombreamento, medindo 1,85 m de altura.

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 2 com quatro repetições, com os tratamentos constituídos pela combinação de três estratégias diárias de manejo de irrigação: irrigação contínua (Cont – um único evento de irrigação); irrigação intermitente com três pulsos de irrigação em intervalos de uma hora (Int1); e irrigação intermitente com aplicação da lâmina de irrigação nos horários 7:00, 11:00 e 15:00 h (Int2); associadas com duas doses de nitrogênio (100 e 130 kg ha⁻¹ de N) que correspondem à dose mínima e a máxima recomendadas por Van Raij et al. (1997). O nitrogênio em cobertura foi aplicado via fertirrigação diária seguindo as estratégias de manejo de irrigação. Os eventos de irrigação iniciaram às 7:00h e seguiam no decorrer do dia, conforme os tratamentos.

As parcelas experimentais foram constituídas por canteiros de 2,0 m² com três fileiras de doze plantas, totalizando 36 plantas por parcela. Foram consideradas como parcela útil apenas as dez plantas da fileira central.

2.2.3 Instalação e condução do experimento

O solo no interior da casa de vegetação é classificado como Nitossolo vermelho distroférico de textura franco-arenoso na camada de 0-0,20 m (Santos *et al.*, 2013). O solo foi preparado com auxílio de enxada rotativa e, mediante a análise química, foi realizada a calagem para elevar a saturação por bases (V) a 80% e corrigir acidez (Van Raij *et al.*, 1997). O calcário foi aplicado a lanço, na dosagem 1,60 Mg ha⁻¹ e incorporado a uma profundidade de 0,20 m.

Após 30 dias da correção, o solo apresentou os seguintes atributos químicos e físico-hídricos: pH (CaCl₂) = 6,0; P (resina) = 50 mg/kg; V = 75%; Matéria orgânica = 19 g/dm³; CTC = 76 mmol/L; Ca²⁺ = 46 mmol/L; Mg²⁺ = 10 mmol/L; K = 1,8 mmol/L; condutividade elétrica = 362 µS/cm; Al³⁺ = 0 mmol/L; H+Al = 19 mmol/L; S = 15 mg/kg;

B= 0,31 mg/kg; Cu= 5,5 mg/kg; Fe= 19 mg/kg; Mn= 11,5 mg/kg; Zn= 7,0 mg/kg; e físicos: areia= 634 g/kg; silte= 99 g/kg; argila=267 g/kg; densidade do solo= 1390 kg/m³; densidade de partícula= 2622 kg/m³; porosidade total= 47%, capacidade de campo= 0,1974 m³/m³ e ponto de murcha permanente= 0,1546 m³/m³.

As adubações de fundação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foram realizadas manualmente nos canteiros, tendo por base a análise química do solo e as recomendações de adubação proposta por Van Raij et al. (1997). Foram aplicados em cada um dos dois ciclos de cultivo, aos 7 dias antes do transplântio das mudas 40, 300 e 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O nas fontes ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente. A adubação nitrogenada de fundação correspondeu à aplicação de 40 kg ha⁻¹ do N recomendado. Os canteiros foram levantados com uso de enxadas manuais, nas dimensões de 0,80 x 2,50 x 0,30 m de largura, comprimento e altura, respectivamente, e espaçados a cada 0,50 m.

Foram utilizadas sementes peletizadas de mini alface Romana Verde Astorga Rijk Zwaan, escolhida em virtude de sua crescente aceitação no mercado, por ser uma variedade nova, de tamanho menor e cultivada o ano todo. As sementes foram semeadas em bandejas plásticas finas de poliestireno de 200 células, em substrato comercial Plantmax Hortaliças™. As mudas foram mantidas em ambiente protegido e transplantadas para os canteiros aos 30 dias após a semeadura, contendo 3 a 5 folhas definitivas, no espaçamento 0,20m x 0,20 m entre linhas e entre plantas, respectivamente.

As dosagens de nitrogênio em cobertura foram aplicadas na forma de ureia, via fertirrigação diária, seguindo as estratégias de manejo de irrigação. As dosagens foram parceladas em quantidades iguais ao longo dos ciclos de cultivo, totalizando 16 fertirrigações por ciclo. As fertirrigações foram iniciadas aos 10 e finalizadas aos 26 dias após o transplântio, em ambos os ciclos de cultivo, com a injeção das soluções diretamente pelas bombas.

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento, constituído por duas bombas centrífugas Eletroplas (Modelo ICS-50AB) de potência de 1/2 CV e vazão de 1,8 m³/h. Para cada bomba foi instalada uma caixa d'água (500L) para diluição das doses de nitrogênio, um filtro de disco (120 mesh), um manômetro para controle de pressão e três linhas principais de 25 mm de diâmetro nominal (DN), com válvulas solenóides

NaanDanJain (Modelo S390-2W-4 24VAC) posicionadas no início de cada linha principal para permitir a diferenciação das estratégias de manejo de irrigação.

As linhas laterais do sistema de irrigação eram tubos gotejadores de polietileno NaanDanJain (AmnonDrip PC CNL) de 17 mm de DN, medindo 2,5 m de comprimento, com emissores autocompensados integrados anti-drenantes, equiespaçados a 0,20 m, de vazão nominal 2,0 L/h operando na pressão de serviço de 1 bar, com eficiência de aplicação de água de 92,50%. Utilizou-se um tubo gotejador para duas linhas de plantio em cada canteiro.

Os tempos de irrigação foram programados em um controlador protótipo desenvolvido com um microcontrolador Microchip PIC 16F628a, com display numérico de oito dígitos para estabelecer os tempos exatos de funcionamento de cada válvula solenóide, acoplado a um teclado que estabeleceu a interface do operador com o microcontrolador. No controlador foram instalados cinco drives de relés que estabeleceram as ligações do microcontrolador com as duas bombas (um relé/bomba) e as válvulas solenóides (um relé/duas válvulas), acionando uma válvula solenóide por bomba de forma sincronizada.

A água empregada na irrigação foi proveniente de poço artesiano e classificada como C1S1, indicando ausência de riscos à salinização ou sodificação do solo. O manejo diário da irrigação foi realizado pelo método climático baseado na evapotranspiração de referência (ET_o) externa à casa de vegetação, obtida pelo método de Penman-Monteith adaptado pela FAO (Allen *et al.*, 2006).

Os dados climáticos externos de temperatura e umidade do ar, radiação solar e velocidade do vento foram obtidos de uma estação meteorológica automática, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) em Botucatu- SP, situada a uma distância de 100 m da casa de vegetação com os quais foi calculada a ET_o diariamente (Figura 1). Os dados do saldo de radiação foram fornecidos pelo Laboratório de Radiometria Solar do Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia da FCA de Botucatu-SP.

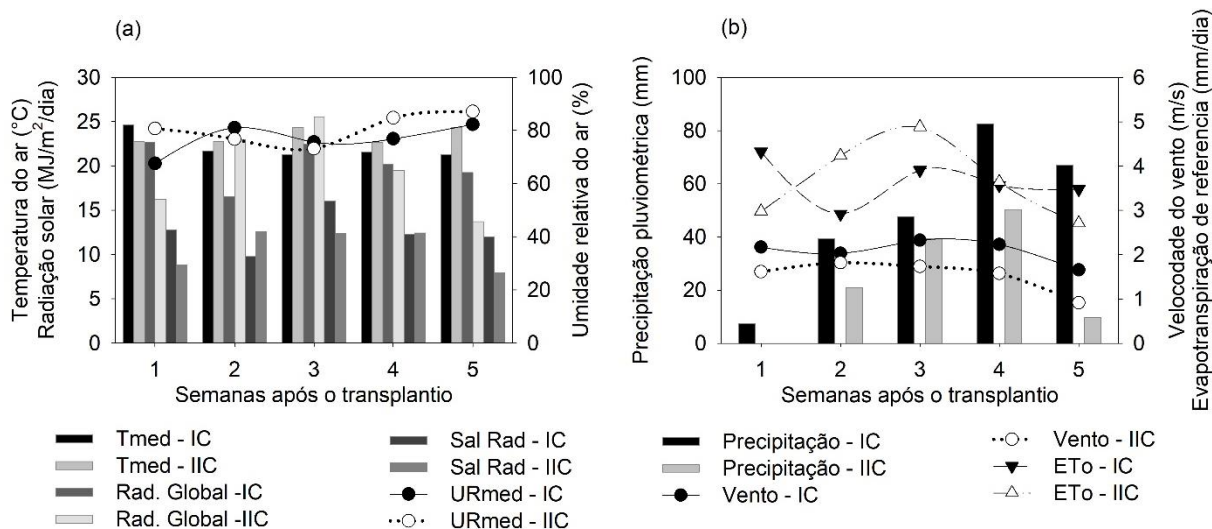


Figura 1. Médias semanais das variáveis meteorológicas temperatura média (Tmed), radiação solar global (Rad. Global), saldo de radiação (Sal Rad), umidade relativa do ar média (URmed) (a) e precipitação, velocidade do vento e evapotranspiração de referência (ETo) (b) externas ocorridas durante os períodos experimentais.

As variáveis micrometeorológicas temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento no interior da casa de vegetação foram monitoradas por uma estação meteorológica que efetuava leituras continuamente a cada segundo e armazenava as médias a cada 15 minutos em um datalogger Campbell Scientific CR10X.

Os coeficientes de cultura (K_c) utilizados foram os obtidos por Bastos *et al.* (1996), sendo de 0,52 para a fase I (1 - 10 dias após o transplântio - DAT); 0,80 para a fase II (11 - 25 DAT); e 0,92 para a fase III (26 DAT - até a colheita do ciclo). A adoção das estratégias de irrigação iniciou-se aos 7 DAT nos dois ciclos, e finalizou aos 35 DAT no IC e aos 30 DAT no IIC. As lâminas de irrigação aplicadas após o transplântio foram 96,28 e 86,08 mm no IC e IIC, respectivamente.

A colheita foi realizada aos 35 e 30 DAT no IC e IIC, respectivamente, identificando-se como ponto de colheita o padrão comercial, com possível formação de “cabeças” e o máximo desenvolvimento vegetativo, sem indícios de florescimento.

2.2.4 Características analisadas

2.2.4.1 Crescimento vegetativo e componentes de rendimento

O índice relativo de clorofila (*IRC*) foi obtido em três plantas por parcela, com medições efetuadas em dois lados da parte superior das folhas aos 7, 14 e 21 dias após o início da aplicação das estratégias de manejo de irrigação em ambos os ciclos, com auxílio de medidor portátil de clorofila (SPAD-502Plus, Minolta). O teor relativo de água na folha (*TRA*, percentagem) foi determinado aos 30 dias após o transplante, conforme a metodologia descrita por Badr & Brüggemann (2020).

Ao final de cada ciclo foram avaliados em três plantas por parcela, o diâmetro do caule (*D*, milímetros), medido abaixo da inserção da primeira folha por paquímetro digital em aço 150mm (ZAAS-1.0004). O comprimento do caule (*C*, centímetro) também foi medido por paquímetro digital após a desfolha total das plantas. A altura de plantas (*A*, centímetro) foi medida entre o colo da planta e a extremidade das folhas mais altas por régua graduada, e a circunferência de “cabeça” (*CC*, centímetro) medida entre as margens opostas do disco foliar por régua graduada.

O número de folhas totais (*NFT*), comerciais (*NFC*) e não comerciais (*NFNC*) por planta, foram determinados através da contagem manual das folhas, e a área foliar (*AF*, metro quadrado) foi determinada por medidor de área foliar de bancada (LI-COR – 3100). As massas frescas de folhas totais (*MFT*), comerciais (*MFC*) e não comerciais (*MFNC*) por planta (grama por planta), foram obtidas por pesagens das folhas em balança digital de precisão, considerando-se como comerciais as folhas em bom estado fitossanitário, sem danos externos, aptas à comercialização e consumo.

2.2.4.2 Produtividade, eficiência de uso da água e índice comercial

A produtividade total (*PT*), comercial (*PC*) e não comercial (*PNC*), em toneladas por hectare, foram determinadas por pesagem da parte aérea das plantas com auxílio de balança digital de precisão e convertida a um hectare. A eficiência de uso da água, da produtividade total (*EUAPT*) e comercial (*EUAPC*), foi calculada pela razão entre a produtividade (quilogramas por hectare) e a lâmina de irrigação aplicada (metro cúbico). O índice comercial (*ICO*) foi obtido pela relação entre a massa fresca comercial da parte aérea (grama por planta) e a massa fresca total da parte aérea (grama por planta).

2.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 0,05 de significância. Em caso de efeito significativo, procedeu-se análise qualitativa de comparação de médias pelo teste de Tukey à 0,05 de significância. As análises estatísticas foram realizadas no programa computacional SAS v. 9.4 (SAS Institute, Cary, Carolina do NC, EUA) e as figuras confeccionadas no SigmaPlot v. 11.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA, EUA).

2.3 Resultados

2.3.1 Variáveis micrometeorológicas

As médias diárias das variáveis micrometeorológicas temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento ocorridas durante o período em que a cultura da alface permaneceu na casa de vegetação após o transplântio foram de 21,57 °C, 78,47% e 0,0031 m/s, oscilando entre 17,50 a 26,50 °C, 67,69 a 94,04% e 0,0015 a 0,0050 m/s no IC, respectivamente. No IIC as médias dessas variáveis foram de 22,73 °C, 81,26% e 0,0032 m/s, variando de 19,62 a 24,81 °C, 80,93 a 95,64% e 0,0 a 0,0251 m/s, respectivamente (Figura 2).

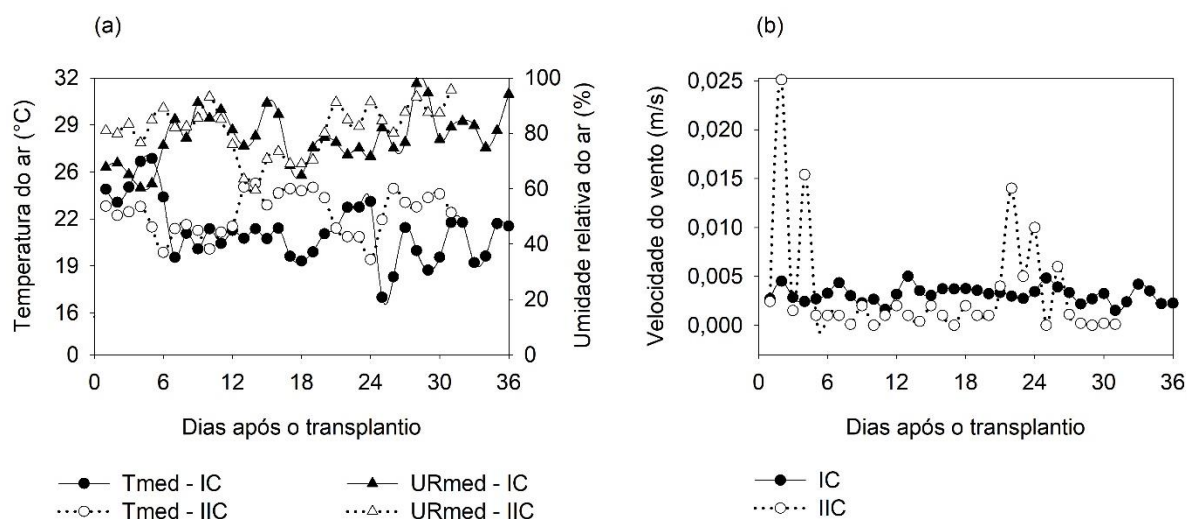


Figura 2. Médias diárias das variáveis micrometeorológicas temperatura média do ar (Tmed) umidade relativa do ar média (URmed) (a) e velocidade do vento (b) ocorridas no interior da casa de vegetação durante os períodos experimentais.

2.3.2 Crescimento vegetativo e componentes de rendimento

O N não influenciou o *IRC* aos 7 e 21 dias após o início da aplicação das estratégias de irrigação (DAIE) no IC (Tabela 1). Entretanto, aos 14 DAIE no referido ciclo, a dose de 130 kg/ha de N aumentou significativamente o *IRC* (41,12) (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis fisiológicas e de crescimento da alface em função de estratégias de manejo de irrigação e nitrogênio em dois ciclos de cultivo.

		Primeiro ciclo (IC)						
Estratégia	7 dias	<i>IRC</i> 14 dias	21 dias	<i>TRA</i> (%)	<i>D</i> mm	<i>C</i> cm	<i>A</i> cm	<i>CC</i> cm
Cont	32,03	39,54	37,78 b	80,80 b	12,14	11,38	15,47 b	21,91 b
Int1	32,08	39,71	39,89 a	83,26 a	12,78	12,77	17,81 a	25,00 a
Int2	33,88	40,60	41,24 a	87,59 a	13,45	12,52	18,14 a	25,73 a
N (kg/ha)	-	-	-	-	-	-	-	-
100	32,60	38,78 b	39,02	83,79	12,81	12,06	17,05	23,83
130	32,73	41,12 a	40,26	84,03	12,77	12,39	17,23	24,60
ANOVA								
E	ns	ns	**	**	ns	ns	**	**
N	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
E x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
		Segundo ciclo (IIC)						
Estratégia								
Cont	34,86 b	37,47	35,97 b	80,13 b	10,13 b	9,48	15,34 b	21,00 b
Int1	39,27 a	40,82	38,76 a	84,38 a	11,17 a	11,09	17,68 a	23,71 a
Int2	43,54 a	42,49	40,16 a	87,79 a	11,21 a	11,38	17,43 a	24,12 a
N (kg/ha)	-	-	-	-	-	-	-	-
100	39,94	41,70	39,22	84,61	10,91	11,08	16,77	22,72
130	38,50	38,82	37,37	83,59	10,76	10,22	16,87	23,16
ANOVA								
E	**	ns	*	*	*	ns	**	**
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
E x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Índice relativo de clorofila (*IRC*), teor relativo de água (*TRA*), diâmetro do caule (*D*), comprimento do caule (*C*), altura de plantas (*A*) e circunferência de “cabeça” (*CC*). Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância. * e ** indicam significância a 0,05 e 0,01, respectivamente. ns: interação não significativa entre os fatores.

As estratégias de irrigação influenciaram o *IRC* aos 21 DAIE no IC, e aos 7 e 21 DAIE no IIC (Tabela 1). Os maiores *IRC* aos 21 DAIE no IC (39,89 e 41,24) e aos 7 (39,27 e 43,54) e 21 (38,76 e 40,16) DAIE no IIC, respectivamente, foram observadas nas estratégias de irrigação intermitentes (Int1 e Int2), respectivamente (Tabela 1).

O *TRA* aumentou com o uso das estratégias de irrigação Int1 e Int2, as quais promoveram aumentos no *TRA* de 2,95 e 7,75% no IC e 5,03 e 8,72% no IIC em relação à estratégia Cont, respectivamente (Tabela 1). As médias de *D*, 11,17 e 11,21

mm também foram significativamente maiores nas estratégias de irrigação Int1 e Int2 no IIC, respectivamente (Tabela 1).

O *TRA*, *D*, *A* e *CC* não foram influenciados pelo fator N em ambos os ciclos de cultivo (Tabela 1). Já o *C* não foi influenciado por nenhum dos tratamentos (estratégia e N), porém os valores dessa variável oscilaram entre 9 a 13 cm em ambos os ciclos de cultivo (Tabela 1).

As estratégias de irrigação Int1 e Int2 promoveram aumentos significativos na *A* e *CC* nos dois ciclos de cultivo. No IC foram registrados ganhos de 13,13 e 14,71% na *A* em relação ao tratamento Cont e de 13,23 e 11,99% no IIC, respectivamente. Na variável *CC* os aumentos foram de ordem 12,36 e 14,84% no IC e 11,42 e 12,93% no IIC, respectivamente, quando comparados à estratégia de irrigação Cont (Tabela 1).

As estratégias de irrigação influenciaram as variáveis *NFT* e *NFC* da alface. No IC as maiores médias de *NFT* (29,83 e 32,00 folhas por planta) e *NFC* (25,12 e 27,62 folhas por planta) foram observadas nas estratégias de irrigação Int1 e Int2, respectivamente, porém as maiores diferenças ocorreram entre as estratégias Int2 e Cont. No IIC as referidas estratégias novamente aumentaram o *NFT* (33,03 e 34,46 folhas por planta) e *NFC* (29,91 e 30,50), respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Crescimento e componentes de rendimento da alface em função de estratégias de manejo de irrigação e nitrogênio em dois ciclos de cultivo.

Primeiro ciclo (IC)							
Estratégia	<i>NFT</i>	<i>NFC</i>	<i>NFNC</i>	<i>AF</i>	<i>MFT</i>	<i>MFC</i>	<i>MFNC</i>
	----- (folhas por planta) -----			(m ²)	----- (g por planta) -----		
Cont	28,16 b	23,41 b	4,75	0,159	147,55 b	138,76 b	8,79
Int1	29,83 ab	25,12 ab	4,70	0,169	170,14 a	159,02 ab	11,12
Int2	32,00 a	27,62 a	4,37	0,175	189,74 a	178,28 a	11,45
N (kg/ha)	-	-	-	-	-	-	-
100	29,97	24,83	5,13 a	0,158 b	161,24 b	150,82 b	10,41
130	30,02	25,94	4,08 b	0,179 a	177,05 a	166,55 a	10,49
ANOVA							
E	**	**	ns	ns	**	**	ns
N	ns	ns	*	**	*	*	ns
E x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Segundo ciclo (IIC)							
Estratégia							
Cont	29,73 b	26,75 b	3,00	0,149 b	130,64 b	123,85 b	6,79
Int1	33,03 a	29,91 a	3,11	0,169 ab	160,26 a	153,38 a	6,87
Int2	34,46 a	30,50 a	3,95	0,183 a	169,71 a	160,29 a	9,41
N (kg/ha)	-	-	-	-	-	-	-
100	32,13	28,75	3,37	0,173	157,81	149,62	8,19
130	32,69	29,35	3,33	0,161	149,26	142,06	7,19
ANOVA							
E	**	*	ns	**	**	**	ns
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
E x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Número de folha total (*NFT*), comercial (*NFC*) e não comercial (*NFNC*), área foliar (*AF*), massa fresca de folha total (*MFT*), comercial (*MFC*) e não comercial (*MFNC*). Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância. * e ** indicam significância a 0,05 e 0,01, respectivamente. ns: interação não significativa entre os fatores.

O N não influenciou as variáveis *NFT* e *NFC* nos dois ciclos de cultivo. Todavia, este fator promoveu alterações significativas no *NFNC* no IC, e a dose de 130 kg/ha de N causou redução de 20,46% na emissão de folhas não comerciais (Tabela 2).

A *AF* foi influenciada significativamente pelo fator N no IC, no qual a maior *AF* 0,179 m² foi obtida na dose de 130 kg/ha de N (Tabela 2). No IIC apenas o fator estratégia de irrigação promoveu diferenças significativas nessa variável, e as maiores *AF* 0,169 e 0,183 m² foram observadas nas estratégias de irrigação Int1 e Int2, respectivamente, no entanto as maiores diferenças ocorreram entre as estratégias Int2 e Cont (Tabela 2).

A *MFT* e *MFC* foram influenciadas pelas estratégias de irrigação. As maiores médias de *MFT* (170,14 e 189,74 g por planta) e *MFC* (159,02 e 178,28 g por planta) no IC foram observadas nas estratégias de irrigação Int1 e Int2, respectivamente, porém as maiores diferenças na *MFC* foram observadas entre as estratégias Int2 e Cont. No IIC as estratégias de irrigação intermitentes (Int1 e Int2) novamente

aumentaram o *MFT* (160,26 e 169,71 g por planta) e *MFC* (153,38 e 160,29), respectivamente (Tabela 2).

O fator N também influenciou significativamente a *MFT* e *MFC* no IC. As maiores médias de *MFT* (177,05 g por planta) e *MFC* (166,55 g por planta) foram obtidas com a aplicação de 130 kg/ha de N (Tabela 2).

2.3.3 Produtividade, eficiência de uso da água e índice comercial

A *PT*, *PC*, *EUAPT* e a *EUAPC* aumentaram significativamente com o uso das estratégias de irrigação Int1 e Int2 nos dois ciclos de cultivos. No IC as maiores *PT* (49,55 e 55,30 t/ha), *PC* (46,77 e 52,44 t/ha), *EUAPT* (51,46 e 57,46 kg/m³) e *EUAPC* (42,39 e 48,57 kg/m³) foram constatadas nas estratégias Int1 e Int2, respectivamente. Contudo, não houve diferenças na *PC* e *EUAPC* entre as estratégias Int1 e Cont (Tabela 3). No IIC as estratégias de irrigação Int1 e Int2 novamente maximizaram a *PT* (46,83 e 49,50 t/ha) *PC* (45,11 e 47,17 e t/ha), *EUAPT* (54,40 e 57,50 kg/m³) e *EUAPC* (52,41 e 54,77 kg/m³), respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade, eficiência e índice de colheita da alface em função de estratégias de manejo de irrigação e nitrogênio em dois ciclos de cultivo.

Primeiro ciclo (IC)						
Estratégia	<i>PT</i>	<i>PC</i>	<i>PNC</i>	<i>EUAPT</i>	<i>EUAPC</i>	<i>ICO</i>
	----- (t/ha) -----			----- (kg/m ³) -----		
Cont	43,01 b	40,81 b	2,19	44,67 b	42,39 b	0,94
Int1	49,55 a	46,77 ab	2,78	51,46 a	48,57 ab	0,95
Int2	55,30 a	52,44 a	2,86	57,43 a	54,46 a	0,94
N (kg/ha)	-	-	-	-	-	-
100	46,36 b	44,36 b	2,60	48,77 b	46,07 b	0,94
130	51,61 a	48,98 a	2,62	53,60 a	50,88 a	0,95
ANOVA						
E	**	**	ns	**	**	ns
N	*	*	ns	*	*	ns
E x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Segundo ciclo (IIC)						
Estratégia						
Cont	38,12 b	36,42 b	1,69	44,29 b	42,31 b	0,95
Int1	46,83 a	45,11 a	1,72	54,40 a	52,41 a	0,96
Int2	49,50 a	47,17 a	2,35	57,50 a	54,77 a	0,95
N (kg/ha)	-	-	-	-	-	-
100	46,05	44,00	2,05	53,50	51,12	0,95
130	43,58	41,78	1,75	50,63	48,54	0,95
ANOVA						
E	**	**	ns	**	**	ns
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns
E x N	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Produtividade total (*PT*), comercial (*PC*) e não comercial (*PNC*), eficiência de uso da água da produtividade total (*EUAPT*) e comercial (*EUAPC*) e índice de colheita (*ICO*). Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância. * e ** indicam significância a 0,05 e 0,01, respectivamente. ns: interação não significativa entre os fatores.

As doses de N influenciaram a *PT*, *PC*, *EUAPT* e a *EUAPC* apenas no IC. As maiores médias, 51,61 t/ha, 48,98 t/ha, 53,60 kg/m³ e 50,88 kg/m³ das referidas variáveis, respectivamente, foram observadas com a dose de 130 kg/ha de N (Tabela 3).

As variáveis *PNC* e *ICO* não foram influenciadas pelos tratamentos aplicados. Todavia, foi possível notar que em todos os tratamentos as médias de *ICO* da cultivar de mini alface romana avaliada neste estudo foram superiores a 0,94 (Tabela 3).

2.4 Discussão

2.4.1 Variáveis micrometeorológicas

As condições micrometeorológicas internas predominantes durante o IC e IIC de cultivo de 35 e 30 dias após o transplante, respectivamente, foram favoráveis ao

crescimento e desenvolvimento da mini alface romana verde Astorga, tendo em vista que a temperatura média do ar no interior da casa de vegetação, em ambos os ciclos, esteve compreendida entre as temperaturas basais inferior, 17 °C, e superior, 28 °C, preconizadas por Abu-Hamdeh & Khalid (2016) para a cultura da alface.

A temperatura do ar é um fator determinante para as fases de desenvolvimento vegetal e regula as taxas transpiratórias e o status da água na planta em função do controle estomático. Em cultivos de alface, temperaturas do ar muito acima da faixa ideal (17 a 28 °C) tendem a reduzir o índice de qualidade comercial, a formação de cabeça, aumentar a emissão de folhas inaptas à comercialização, antecipar a fase de florescimento e promover maior alongamento do caule, bem como estimular a produção de látex e sabores amargosos nas folhas.

As médias da umidade relativa do ar interna variaram de 67,69 a 94,04% e 80,93 a 95,64% no IC e IIC, respectivamente (Figura 2). A umidade relativa do ar é uma componente climática que exerce grande influência sobre as taxas transpiratórias das plantas e na evapotranspiração, estando os valores ideais para o crescimento vegetal na faixa de 60 a 90% (Allen et al., 2006; Santosh et al., 2017). Contudo valores elevados dessa componente (80 a 100%) podem favorecer a incidência de doenças fúngicas, limitando o rendimento da alface (Clarkson et al., 2014). Apesar da alta umidade relativa do ar observada no interior da casa de vegetação (Figura 2), não houve incidência de doenças fúngicas severas de forma a comprometer o crescimento e o rendimento da cultura.

A velocidade do vento interna variou de 0,0015 a 0,0050 m/s e 0,0 a 0,0251 m/s no IC e IIC, respectivamente (Figura 2b), e sempre esteve próxima a zero nos períodos experimentais, mesmo em dias de aproximações de frentes frias com elevadas velocidades do vento externo. Os valores diários da velocidade do vento observadas neste estudo estiveram abaixo da faixa 0,5 a 0,7 m/s, consideradas ideais para o crescimento e trocas gasosas foliares das plantas cultivadas em casas de vegetação (Santosh et al., 2017). Além disso, essa baixa movimentação do ar inviabilizou o uso do algoritmo proposto por Allen et al. (2006) para obtenção da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith no interior da casa de vegetação.

2.4.2 Crescimento vegetativo e componentes de rendimento

O *IRC* é uma ferramenta não destrutiva indireta que tem sido empregado em programas de adubação nitrogenada, uma vez que reflete a intensidade de coloração verde das folhas, em razão do teor de clorofila e do nível de N presente nos tecidos foliares. O aumento do *IRC* com a aplicação de 130 kg/ha de N aos 14 DAIE no IC, é um indicativo de maior eficiência de assimilação do N, pois este nutriente favorece a síntese de proteína e clorofila. Assim, o menor conteúdo de clorofila reduz a fotossíntese e a atividade fisiológica das plantas (Perchlik & Tegedere, 2018; Ali *et al.*, 2019).

Apesar dos menores *IRC* observados com a aplicação de 100 kg/ha de N no IC (Tabela 1), as plantas de alface cultivadas nessa condição não apresentaram sintomas de deficiência nutricional, como amarelecimento, queda de folhas e completaram normalmente todo o ciclo. O valor de *IRC* 41,12 obtido neste estudo é superior ao reportado por Sobucki *et al.* (2019) de 20,00 para a cultivar de alface Stella com a aplicação de 180 kg/ha de N. Essa divergência no *IRC* pode estar relacionada às cultivares exploradas, a eficiência de assimilação do N e aos períodos avaliados.

Os aumentos observados no *IRC* com o uso de estratégias de irrigação intermitente (Int1 e Int2) é atribuído à diminuição da velocidade da frente de umidade do solo, que aumenta o tempo de permanência e a estabilidade da água do solo na região radicular das culturas, como consequência do maior movimento horizontal da água do solo, otimizando a absorção de água e nutrientes (Abdelraouf *et al.*, 2019; Menezes *et al.*, 2020a,b; Pereira *et al.*, 2022). El-Mogy *et al.* (2012) e Eid *et al.* (2013) verificaram os maiores *IRC* em plantas de feijão verde e soja, respectivamente, com o uso da irrigação intermitente de quatro pulsos por dia.

O *TRA* é uma variável fisiológica que tem sido utilizada como indicador de deficiência hídrica em plantas, visto que reflete o status da água nas folhas (Badr & Brüggemann, 2020). Os intervalos prolongados entre irrigações (1h e 4h) além de garantir os maiores *IRC*, como provável resposta aos maiores teores de clorofila e N foliar, asseguraram ainda a maior hidratação do protoplasma.

A melhor disponibilidade hídrica ao longo do dia e o maior conteúdo de água presente nos tecidos vegetais otimizam o processo de abertura dos estômatos e a transpiração, e consequentemente reduz a temperatura foliar e maximiza a eficiência fotossintética. Neste contexto, é provável que as estratégias de manejo de irrigação

Int1 e Int2 tenham atenuado os efeitos de estresse hídrico e térmico que ocorrem naturalmente ao longo do dia mesmo em ambiente protegido. O aumento da frequência de fertirrigação diária reduz a tensão da água do solo na camada superficial ao longo do dia, aumenta as taxas transpiratórias e favorece o influxo de nutrientes nas raízes da alface (Xu *et al.*, 2004).

Acrescente-se ainda que a diminuição do teor relativo de água nas folhas é característico de plantas cultivadas sob condições de déficit hídrico (Badr & Brüggemann, 2020). Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os reportados por Elnesr *et al.* (2015) e Zamora *et al.* (2019) que também constataram maior teor relativo de água nas folhas do tomateiro e em plantas de coentro com o uso de estratégias de irrigação intermitente, respectivamente.

As estratégias de irrigação intermitente também promoveram aumentos expressivos no *D*, *A* e *CC* da alface. Esses resultados são decorrentes dos maiores *IRC* e do maior conteúdo de água presente nos tecidos vegetais observado nas referidas estratégias (Tabela 1) que favorecem o crescimento vegetativo e a atividade fisiológica. De acordo com Zamora *et al.* (2019) a irrigação intermitente é vantajosa, pois maximiza o crescimento vegetativo das plantas.

As maiores *CC* observadas em Int1 e Int2 demonstram a maior capacidade de adaptação da cultivar de mini alface Romana Verde Astorga às condições microclimáticas no interior da estufa plástica e de manejo, aumentando a eficiência das relações hídricas e das taxas fotossintéticas. Madane *et al.* (2018a) mencionam que curtos intervalos entre irrigações favorecem o crescimento ideal das culturas e garante o equilíbrio do fornecimento de água e nutrientes durante todo o período de crescimento. O aumento na altura de plantas e circunferências de frutos com o uso da estratégia de irrigação intermitente também foram reportados em outras espécies vegetais como feijão (El-Mogy *et al.*, 2012), tomate (Elnesr *et al.*, 2015), cebola (Madane *et al.*, 2018a, b) e beterraba (Mehanna *et al.*, 2020).

Apesar da ausência de significância dos tratamentos, o *C* da cultivar de mini alface romana empregada neste estudo variou de 9 a 13 cm (Tabela 1). Em alface americana o alongamento de *C* é uma característica que evidencia o florescimento, e o menor *C* favorece a formação de “cabeça”, melhora a qualidade do produto, bem como é desejável no beneficiamento, estando os valores ideais e aceitáveis na faixa de 6 a 9 cm (Yuri *et al.*, 2017). Contudo, a cultivar de alface estudada neste trabalho não apresentou indícios de florescimento, alterações no sabor e tendência ao

estiolamento por eventuais temperaturas elevadas ocorridas no interior da casa de vegetação (Figura 2), porém formaram “cabeça” pouco compactas mesmo no tratamento que apresentou menores valores de C.

O número e o tamanho das folhas são características determinantes no rendimento de hortaliças folhosas como a alface. Essas características são dependentes da disponibilidade de água e N no solo e, influenciam diretamente na interceptação da radiação solar e conseqüentemente na produção fotossintética. Neste contexto, os aumentos do *NFT* e *NFC* observados nas estratégias de irrigação Int1 e Int2 são atribuídos à melhor manutenção da umidade do solo na camada superficial ao longo do dia, uma vez que o maior número de irrigações diárias otimiza a eficiência de aplicação da água na zona radicular das plantas irrigadas por gotejamento e reduz o estresse hídrico nas raízes (Abdelraouf *et al.*, 2019).

É provável ainda que na aplicação contínua da lâmina de irrigação as plantas de alface tenham otimizado o mecanismo de adaptação aos estresses diários (hídrico e térmico) e limitado o número e tamanho das folhas de forma a evitar a perda de água por transpiração. Xu *et al.* (2004) constataram diminuição expressiva na absorção de água pela alface nos horários entre 10:00 e 14:00 h do dia com a aplicação contínua da fertirrigação diária. Os resultados constatados neste estudo corroboram com os obtidos por El-Mogy *et al.* (2012) e Madane *et al.* (2018b) que também verificaram menor emissão de folhas em plantas de feijão verde e cebola, respectivamente, com a estratégia de aplicação contínua da lâmina de irrigação.

A aplicação de 130 kg/ha de N reduziu significativamente a emissão de folhas não comerciais da alface no IC (Tabela 2). Esse resultado é explicado pela maior disponibilidade de N com a aplicação do referido tratamento, uma vez que a aplicação de altos níveis deste nutriente é benéfico para o crescimento vegetativo, aumenta a produção por planta e melhora a qualidade da alface colhida (Sylvestre *et al.*, 2019; Consentino *et al.*, 2022).

O aumento da disponibilidade de N no solo em ambos os tratamentos de fertilização nitrogenada no IIC justifica a ausência de efeito significativo e a diminuição de 34,30 e 18,38% do *NFNC* com as aplicações de 100 e 130 kg/ha de N, respectivamente, quando comparado aos valores dessa variável no IC (Tabela 2). Souza *et al.* (2017) verificaram que a aplicação de 171 kg/ha de N via fertirrigação aumentou o número de folhas comerciais da alface crespa Vera. É importante

destacar que o aumento da temperatura e da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação observado no IIC não favoreceram o aumento do *NFNC*.

Os aumentos da *AF* constatados nos tratamentos 130 kg/ha de N no IC e nas estratégias de irrigação Int1 e Int2 no IIC (Tabela 2) refletem os maiores *NFT* também observados nos referidos tratamentos, os quais emitiram folhas maiores e em maior intensidade, maximizando a interceptação da radiação solar e a capacidade de produção de fotoassimilados necessários para o crescimento vegetativo. O aumento da *AF* tem sido comum em culturas irrigadas com o uso da estratégia de irrigação intermitente (El-Mogy *et al.*, 2012; Eid *et al.*, 2013; Mehanna *et al.*, 2020).

O N eleva as taxas de assimilação líquida de CO₂, a atividade da Rubisco e os níveis de clorofila foliar nas plantas, bem como incrementa a área foliar e maximiza o crescimento vegetativo e o rendimento e, conseqüentemente a produção de biomassa vegetal (Perchlik & Tegedere, 2018). O valor de *AF* 0,179 observada neste estudo com o uso de 130 kg/ha de N está próximo dos obtidos por Stagnari *et al.* (2015) e Sobucki *et al.* (2019) que verificaram maiores *AF* 0,156 e 0,170 m² nas cultivares de alface Bionda degli ortolani e Stella com as aplicações de 150 e 180 kg/ha de N, respectivamente.

As variáveis *MFT* e *MFC* da alface tiveram seus valores aumentados com o uso de ambas as estratégias de irrigação intermitente nos dois ciclos de cultivos e pela aplicação de 130 kg/ha de N no IC (Tabela 2). Esses resultados são decorrentes do maior teor de água presente nos tecidos foliares e do aumento do número e tamanho das folhas no geral observados nesses tratamentos, refletindo diretamente no ganho em área foliar e conseqüentemente em massa fresca foliar.

O ganho em *MFT* e *MFC* da mini alface Romana Verde Astorga com a aplicação de 130 kg/ha de N no IC também é justificado pela redução do *NFNC* proporcionado por esse tratamento (Tabela 2). Os resultados constatados nesse estudo assemelham-se aos reportados por Consentino *et al.* (2022) que obtiveram maior massa fresca da cultivar de alface Canastra com a aplicação de 60 e 120 kg/ha de N nos tratamentos não inoculados por microrganismos. Contudo, divergem dos observados por Souza *et al.* (2017) que notaram maior *MFT* e *MFC* da cultivar Vera com a aplicação de 171 kg/ha de N.

2.4.3 Produtividade, eficiência de uso da água e índice comercial

A produtividade é uma variável totalmente dependente do comportamento fisiológico, do crescimento vegetativo das culturas e das estratégias de manejo empregadas, e caracteriza-se por ser um importante indicador econômico das áreas cultivadas. Neste estudo o uso de intermitências no manejo da irrigação diária promoveu aumentos significativos do *IRC*, *TRA*, *A*, *CC*, *NFT*, *NFC*, *MFT* e *MFC* em razão da melhor disponibilidade hídrica no solo ao longo do dia. Tais resultados justificam o aumento da *PT* e *PC* da alface quando irrigada pelas estratégias de manejo de irrigação Int1 e Int2. O aumento de produtividade com o uso de intermitências no manejo da irrigação também foi reportado em outras culturas olerícolas como cebola (Madane *et al.*, 2018a, b) coentro (Zamora *et al.*, 2019) e beterraba (Mehanna *et al.*, 2020).

A dose de 130 kg/ha de N promoveu ganhos consideráveis de 10,17 e 9,43% na *PT* e *PC*, respectivamente, em relação à dose de 100 kg/ha de N no IC (Tabela 3). O N é um macronutriente primário fundamental nas sínteses de aminoácidos, proteína e clorofila e atua diretamente na formação e divisão celular, e aumenta o crescimento vegetativo e o rendimento das culturas como a alface (Souza *et al.*, 2017; Perchlik & Tegedere, 2018; Sylvestre *et al.*, 2019). O maior *IRC*, *TRA*, as maiores expressões crescimento vegetativo e o ganho em produtividade observado na dose 130 kg/ha de N no IC, são indicativos do adequado nível de fertilização nitrogenada.

As maiores médias de *PT* e *PC* da cultivar de mini alface romana verde Astorga, estudada no presente trabalho, 51,61 e 48,98 t/ha são superiores aos reportados por Sylvestre *et al.* (2019) de 20,30 e 44,60 t/ha obtidas nas estações verão e inverno em alface americana Vanda com a aplicação de 60 e 120 kg/ha de N, respectivamente, de forma convencional. Com isso, pode-se inferir que essas variações nas produtividades em função da fertilização nitrogenada, dependem, dentre outros fatores, da cultivar explorada, da forma e época de aplicação do fertilizante e das condições edafoclimáticas locais.

A eficiência de uso da água (EUA) representa a quantidade produzida para cada m³ de água aplicado à cultura. Os resultados deste estudo indicaram que a *EUA_{PT}* e *EUA_{PC}* foram significativamente maiores nas estratégias de irrigação Int1 e Int2 (Tabela 3). Geralmente a maior EUA nas plantas é seguida de menor produtividade, uma vez que sob condições de estresses, como a deficiência hídrica,

as plantas maximizam a eficiência de uso da água como fator de produção, pois o ganho em produtividade não é proporcional à quantidade de água acrescida.

Conforme constatado neste estudo, as estratégias de irrigação Int1 e Int2 promoveram ganhos expressivos nas *PT* e *PC* (Tabela 3) e, conseqüentemente otimizaram a EUA como fator de produção. Os resultados deste trabalho corroboram com os reportados por El-Mogy *et al.* (2012), Eid *et al.* (2013), Abdelraouf *et al.* (2019), Mehanna *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2022) que também obtiveram aumento na EUA com o uso de estratégias de irrigação intermitente nas culturas do feijão verde, soja, laranja, beterraba e amendoim, respectivamente.

Quanto ao fator N foi possível constatar que a dose de 130 kg/ha de N incrementou a EUA_{PT} e a EUA_{PC} em 9,01 e 9,45% em relação à dose de 100 kg/ha de N no IC, respectivamente (Tabela 3). Tais resultados estão relacionados ao ganho em *PT* e *PC* também observado neste tratamento, uma vez que a aplicação de níveis adequados de fertilizantes nitrogenados durante o crescimento das plantas promove o maior rendimento, melhor qualidade dos produtos colhidos, bem como maximiza os benefícios econômicos (Du *et al.*, 2018).

O *ICO* não foi influenciado pelos tratamentos aplicados e os valores dessa variável oscilaram entre 0,94 a 0,96 (Tabela 3). O *ICO* é um índice que exprime a qualidade comercial da alface, estando os valores ideais desse índice acima de 0,70 (Rezende *et al.*, 2017). Isso indica que os tratamentos aplicados neste estudo foram eficientes na obtenção de elevado índice comercial, mantendo a cultura livre de injúrias e patógenos, e que as condições microclimáticas no interior da casa de vegetação foram adequadas para a cultivar de mini alface empregada neste estudo.

Esta pesquisa permitiu concluir que o manejo de irrigação intermitente em intervalos de 1h e 4h favoreceu as expressões de crescimento vegetativo, aumentou a produtividade e otimizou a eficiência de uso da água da alface cultivada em ambiente protegido. A fertirrigação intermitente não favoreceu a redução da dose de N a ser aplicada e recomendamos a aplicação de 130 kg/ha de N apenas no primeiro ciclo de cultivo de mini alface. Novos estudos são necessários com o uso de maiores intermitências, variados intervalos de tempo entre eventos de fertirrigação e maior número de níveis de N a serem aplicados.

2.5 Referências

Abdelraouf R E, Azab A, Tarabye H H H, Refaie K M, 2019. Effect of pulse drip irrigation and organic mulching by rice straw on yield, water productivity and quality of orange under sandy soils conditions. *Plant Archives*, 19(2): 2613-2621.

Abu-Hamdeh N H, Almitani K H, 2016. Solar liquid desiccant regeneration and nanofluids in evaporative cooling for greenhouse food production in Saudi Arabia. *Solar Energy*, 134: 202-210. DOI: 10.1016/j.solener.2016.04.048

Ali S, Hafeez A, Ma X, Tung S A, Chattha M S, Shah A N, Luo D, Ahmad S, Liu J, Yang G, 2019. Equal potassium-nitrogen ratio regulated the nitrogen metabolism and yield of high-density late-planted cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in Yangtze River valley of China. *Industrial Crops and Products*, 129: 231-241. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.12.009

Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M, 2006. *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* - FAO. Riego y Drenaje 56. Roma. 298 pp.

Badr A, Brueggemann, W, 2020. Comparative analysis of drought stress response of maize genotypes using chlorophyll fluorescence measurements and leaf relative water content. *Photosynthetica*, 58 (SI): 638-645. DOI: 10.32615/ps.2020.014

Bastos E A, Lunardi D M C, Andrade Júnior A S, Netto A D O A, 1996. Determinação dos coeficientes de cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). *Irriga*, 1(3): 2-7.

Clarkson J P, Fawcett L, Anthony S G, Young C, 2014. A model for *Sclerotinia sclerotiorum* infection and disease development in lettuce, based on the effects of temperature, relative humidity and ascospore density. *Plos One*, 9(4): e94049. DOI: 10.1371/journal.pone.0094049

Consentino B B, Aprile S, Roupael Y, Ntatsi G, De Pasquale C, Iapichino G, Alibrandi P, Sabatino L, 2022. Application of PGPB combined with variable N doses affects

growth, yield-related traits, N-fertilizer efficiency and nutritional status of lettuce grown under controlled condition. *Agronomy*, 12(2): 236. DOI: 10.3390/agronomy12020236

Du Y D, Niu W Q, Gu X B, Zhang Q, Cui B J, 2018. Water-and nitrogen-saving potentials in tomato production: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 210: 296-303. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.08.035

Eid A R, Bakry B A, Taha M H, 2013. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences* 4(5): 249-261. DOI: 10.4236/as.2013.45036

El-Mogy M M, Abuarab M E, Abdullatif A L, 2012. Response of Green bean to pulse surface drip irrigation. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4(3): 329-334. DOI: 10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.263

Elnesr M N, Alazba A A, El-Abedein A I Z, El-Adl M M, 2015. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. *Plos One*, 10(6): e0129796. DOI: 10.1371/journal.pone.0129796

Madane D A, Mane M S, Kadam U S, Thokal R T, 2018a. Study of white onion (*Alium cepa* L.) on yield and economics under pulse irrigation (drip) for different irrigation levels. *Internat J Agric Engg*, 11(1): 128-134. DOI: 10.15740/HAS/IJAE/11.1/128-134

Madane D A, Mane M S, Kadam U S, Thokal R T, Nandgude S B., Patil, S T, Dhekale J S, 2018b. Study on pulse irrigation (drip) influencing through different irrigation levels on growth, yield and quality parameters of white onion (*Alium cepa* L.). *Plant Archives* 18 (1): 365-371

Mehanna H M, Okasha E M, Mady A A, 2020. Irrigation water management for sugar beet under water scarcity conditions in Egypt. *Plant Archives*, 20(1): 3112-3118

Menezes S M, Silva G F, Silva M M, Morais J E F, Santos Júnior J A, Menezes D, Rolim, M M., 2020a. Continuous and pulse fertigation on dry matter production and

nutrient accumulation in coriander. *Dyna*, 87(212): 18-25. DOI: 10.15446/dyna.v87n212.78569

Menezes S M, Silva G F, Zamora V R, Silva M M, Silva A. C, Silva Ê F D F, 2020b. Nutritional status of coriander under fertigation depths and pulse and continuous drip irrigation. *Agriambi*, 24(6): 364-371. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p364-371.

Perchlik M, Tegeder M, 2018. Leaf amino acid supply affects photosynthetic and plant nitrogen use efficiency under nitrogen stress. *Plant Physiology*, 178(1), 174-188. DOI: 10.1104/pp.18.00597

PEREIRA L S, SAAD, J C C, CARDOSO A I I, CASTRO V A, LIMA C J G S, SILVA E M, 2022. Nutrient content and accumulation in mini lettuce as a function of fertigation management strategies. *Horticultura Brasileira* 40: 403-410. DOI: 10.1590/s0102-0536-20220408

Rezende R, Souza R S D, Maller A, Freitas P S L D, Gonçalves A C A, Rezende G S, 2017. Production and commercial quality of lettuce fertirrigated with nitrogen and potassium in greenhouse. *Revista Ceres*, 64(2): 205-211. DOI: 10.1590/0034-737X201764020014

Santos H G, Jacomine P K T, Anjos L H C, Oliveira V A, Lumbrreras J F, Coelho M R, Almeida J A, Cunha T J F, Oliveira J B, 2013. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 3ª edição. revista e ampliada – EMBRAPA, Brasília, Brasil. 353pp.

Santosh D T, Tiwar K N, Singh V K, Reddy A R G, 2017. Micro Climate Control in Greenhouse. *Int J Curr Microbiol App Sci* 6(3): 1730-1742. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.603.199

Silva A H, Santos Júnior J A, Silva M M D, Silva G F D, Cruz R I, Medeiros S D S, Freire M M, 2022. Production and water relations of peanut irrigated with brackish water under pulse and continuous drip. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(11): 789-796. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p789-796

Sobucki L, Ramos R F, Gubiani E, Brunetto G, Kaiser D R, Daroit D J, 2019. Feather hydrolysate as a promising nitrogen-rich fertilizer for greenhouse lettuce cultivation. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1): 493-499. DOI: 10.1007/s40093-019-0281-7

Souza R S D, Rezende R, Hachmann T L, Lozano C S, Andrian A F B A, Freitas P S L D, 2017. Lettuce production in a greenhouse under fertigation with nitrogen and potassium silicate. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 39(2): 211-216. DOI: 10.4025/actasciagron.v39i2.32897

Stagnari F, Galieni A, Pisante M, 2015. Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. *Scientia Horticulturae*, 192: 70-79. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.05.003

Sylvestre T B, Braos L B, Batistella Filho F, Cruz M C P, Ferreira M E, 2019. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. *Scientia Horticulturae*, 255: 153-160. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.05.032

Van Raij B, Cantarella H, Quaggio J A, Furlani A M C (eds), 1997. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, 2ª edição (Boletim técnico, 100)*. Instituto Agrônomo/Fundação IAC, Campinas, Brasil. 157-186 pp.

Xu G, Levkovitch I, Soriano S, Wallach R, Silber A, 2004. Integrated effect of irrigation frequency and phosphorus level on lettuce: P uptake, root growth and yield. *Plant and soil*, 263(1): 297-309. DOI: 10.1023/B:PLSO.0000047743.19391.42

Yuri J E, Resende G M, Costa N D, Gomes A S, 2017. Agronomic performance of crisphead lettuce genotypes at Sub-Middle São Francisco Valley. *Horticultura Brasileira*, 35: 292-297. DOI: 10.1590/S0102-053620170222

Zamora V R O, Silva M M, Silva G F, Santos Júnior J. A, Menezes D, Menezes S M D, 2019. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. *Horticultura Brasileira*, 37(1), 22-28. DOI: 10.1590/S0102-053620190103

CAPÍTULO 3

TEOR E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MINI ALFACE EM FUNÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO¹

RESUMO

A determinação da quantidade de nutrientes acumulados pelas culturas é uma ferramenta importante para definir a ordem em que os nutrientes são absorvidos e exigidos. No entanto, a ordem e a quantidade de nutrientes acumulados variam em função das características genéticas das cultivares, condições climáticas, adubação, solo e sistemas de manejo. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de estratégias de manejo de irrigação e doses de nitrogênio (N) em fertirrigação sobre o teor e acúmulo de macro e micronutrientes e a eficiência de uso do N em mini alface romana “Astorga” cultivada em ambiente protegido, em dois ciclos consecutivos de cultivos. Os tratamentos constaram da aplicação de três estratégias de irrigação: irrigação contínua (Cont), três pulsos de irrigação em intervalos de uma hora (Int1), três eventos de irrigação em intervalos de quatro horas (Int2) e duas doses de N (100 e 130 kg ha⁻¹ de N), aplicadas em fertirrigação diária. As estratégias de manejo de irrigação intermitente (Int1 e Int2) aumentaram os teores e acúmulos de massa de matéria seca e dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn e Zn. A dose de 130 kg ha⁻¹ de N aumentou apenas o teor e acúmulo de P e Mn no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. De modo geral a alface acumulou os macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K>N>Ca>P>Mg>S, enquanto os micronutrientes seguiram a ordem Fe>Mn>Zn>B>Cu. Os tratamentos Int1, Int2 e 100 kg ha⁻¹ de N otimizaram a eficiência de uso do N.

Palavras-chave: eficiência de uso de fertilizante, irrigação intermitente, irrigação por pulso, *Lactuca sativa*, nitrogênio.

¹ Capítulo redigido de acordo com as normas do periódico Horticultura Brasileira

3.1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa*) é uma hortaliça folhosa de elevado valor nutritivo e comercial, e destaca-se por ser uma das hortaliças folhosas mais produzidas e comercializadas no Brasil e no mundo. Os aspectos de crescimento, rendimento e acúmulo de nutrientes, bem como a qualidade pós-colheita dessa hortaliça são afetados por fatores como os níveis e a forma de aplicação de fertilizantes, e especialmente pelas estratégias de manejo de irrigação adotadas, uma vez que é muito sensível ao estresse causado pelo decréscimo da disponibilidade de água no solo.

Uma estratégia de manejo de água e nutrientes que pode maximizar a eficiência de absorção e acúmulo de nutrientes pela alface é o uso da fertirrigação intermitente. Essa estratégia consiste na aplicação simultânea de água e fertilizantes parcelado na forma de ciclos durante o dia, seguindo um período de aplicação, um tempo de repouso e outro período de aplicação. Este ciclo se repete até que a lâmina de fertirrigação seja totalmente aplicada à cultura. Estudos apontam que essa estratégia de fertirrigação é capaz de otimizar o crescimento vegetativo, absorção e acumulação de nutrientes em hortaliças como alface (Xu et al., 2004), pimentão (Silber et al., 2005) e coentro (Menezes et al., 2020a,b).

O nitrogênio (N) é um dos macronutrientes mais absorvidos e acumulados na massa de matéria seca da alface (Carvalho et al., 2018; Dalastro et al., 2020). Este nutriente é essencial para o desenvolvimento de hortaliças folhosas, atuando diretamente na fotossíntese, síntese de proteínas, enzimas e clorofila foliar, e quando aplicado em quantidades adequadas favorece as expressões de crescimento, aumenta o conteúdo de proteínas, vitaminas, o acúmulo de massa fresca e seca e a absorção e acumulação de outros nutrientes como P, K, Ca, Fe, Mn e Zn pela alface (Awaad et al., 2016; El-Bassyouni, 2016; Zandvakili et al., 2019).

A determinação da quantidade de nutrientes acumulados pelas culturas é uma ferramenta importante que pode ser usada tanto para auxiliar programas de adubação, quanto para definir a ordem em que os nutrientes são absorvidos e exigidos pelas culturas. Contudo, a ordem e a quantidade de nutrientes acumulados na matéria seca das plantas variam entre as cultivares, condições climáticas, solo, adubação e sistemas de cultivo e manejo.

A hipótese deste estudo é que o manejo de fertirrigação intermitente aumenta o teor e acúmulo de macro e micronutrientes e maximiza a eficiência de uso do N pela alface, bem como reduz a dosagem de N a ser aplicada. Objetivou-se avaliar a influência de estratégias de manejo de irrigação e doses de N em fertirrigação sobre o teor e acúmulo de macro e micronutrientes e a eficiência de uso do N em mini alface romana cultivada em ambiente protegido.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em dois ciclos consecutivos na condição de cultivo protegido, em área localizada na Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Botucatu, SP, Brasil (latitude 22°51'03" S, longitude 48°25'37" W, e altitude 786 m). O primeiro ciclo (IC) foi conduzido no período de 31 de outubro à 05 de dezembro de 2019, e o segundo ciclo (IIC) de 13 de dezembro de 2019 à 12 de janeiro de 2020.

O ambiente protegido era de estrutura metálica com arco simples, tendo 31m de comprimento x 7m de largura, coberto com filme plástico transparente de polietileno de baixa densidade (150 µm de espessura), pé direito de 1,85 m e 4,50 m de altura no ponto mais alto. As partes laterais, frontal e o fundo eram revestidas por telas de cor preta de 50% de sombreamento, medindo 1,85 m de altura.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 2 com quatro repetições, com os tratamentos constituídos pela combinação de três estratégias diárias de manejo de irrigação: irrigação contínua (Cont – um único evento de irrigação); irrigação intermitente com três pulsos de irrigação em intervalos de uma hora (Int1); e irrigação intermitente com aplicação da lâmina de irrigação nos horários 7:00, 11:00 e 15:00 h (Int2); associadas com duas doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação (100 e 130 kg ha⁻¹ de N) que correspondem a dose mínima e a máxima recomendadas por Van Raij et al. (1997). A fertirrigação era diária, e foram aplicadas conforme as estratégias de manejo de irrigação. Os eventos de irrigação iniciaram às 7:00h e seguiam no decorrer do dia, conforme os tratamentos.

As parcelas experimentais foram constituídas por canteiros de 2,0 m² com três fileiras de doze plantas, totalizando 36 plantas por parcela. Foram consideradas como parcela útil apenas as dez plantas da fileira central.

O solo no interior da casa de vegetação é classificado como Nitossolo vermelho distroférico de textura franco-arenoso na camada de 0-0,20 m (Santos et al., 2013).

O solo foi preparado com auxílio de enxada rotativa e, mediante a análise química, foi realizada a calagem para elevar a saturação por bases (V) a 80% e corrigir acidez (Van Raij et al., 1997). O calcário foi aplicado a lanço, na dosagem 1,60 t ha⁻¹ e incorporado a uma profundidade de 0,20 m.

Após 30 dias da correção, o solo apresentou os seguintes atributos químicos e físico-hídricos na camada de 0-0,20 m: pH (CaCl₂) = 6,0; P (resina) = 50 mg dm⁻³; saturação por bases (V) = 75%; Matéria orgânica = 19 g dm⁻³; CTC = 76 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 46 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 10 mmol_c dm⁻³; K⁺ = 1,8 mmol_c dm⁻³; condutividade elétrica = 362 μS cm⁻¹; Al³⁺ = 0,0 mmol_c dm⁻³; S = 15 mg dm⁻³; B = 0,31 mg dm⁻³; Cu = 5,5 mg dm⁻³; Fe = 19 mg dm⁻³; Mn = 11,5 mg dm⁻³; Zn = 7,0 mg dm⁻³; e físicos-hídricos: areia = 634 g kg⁻¹; silte = 99 g kg⁻¹; argila = 267 g kg⁻¹; densidade do solo = 1390 kg m⁻³; densidade de partícula = 2622 kg m⁻³; porosidade total = 47%; umidade da capacidade de campo (θ_{cc}) = 0,1974 m³ m⁻³; e umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) = 0,1546 m³ m⁻³.

As adubações de fundação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foram realizadas manualmente nos canteiros, tendo por base a análise química do solo e as recomendações de adubação proposta por Van Raij et al. (1997). Foram aplicados em cada um dos dois ciclos de cultivo, aos 7 dias antes do transplântio das mudas 40, 300 e 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O nas fontes ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente. Os canteiros foram levantados com uso de enxadas manuais, nas dimensões de 0,80 x 2,50 x 0,30 m de largura, comprimento e altura, respectivamente, e espaçados a cada 0,50 m.

Foram utilizadas sementes peletizadas de mini alface romana verde Astorga Rijk Zwaan, escolhida em virtude de sua crescente aceitação no mercado, por ser uma variedade nova, adaptada ao cultivo protegido, de tamanho menor e cultivada o ano todo. As sementes foram semeadas em bandejas plásticas finas de poliestireno de 200 células, em substrato comercial Plantmax Hortaliças™. As mudas foram mantidas em ambiente protegido e transplantadas para os canteiros aos 30 dias após a semeadura, contendo 3 a 5 folhas definitivas, no espaçamento 0,20m x 0,20 m entre linhas e entre plantas, respectivamente.

As dosagens de nitrogênio em cobertura foram aplicadas na forma de ureia, via fertirrigação diária, seguindo as estratégias de manejo de irrigação. As dosagens foram parceladas em quantidades iguais ao longo dos ciclos de cultivo, totalizando 16 fertirrigações por ciclo. As fertirrigações foram iniciadas aos 10 dias e finalizadas aos

26 dias após o transplante (DAT), em ambos os ciclos de cultivo, com a injeção das soluções diretamente pelas bombas.

A cultura foi irrigada por sistema de irrigação por gotejamento, constituído por duas bombas centrífugas Eletroplas (Modelo ICS-50AB) de potência de 1/2 CV e vazão de $1,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Para cada bomba foi instalada uma caixa d'água (500L) para diluição das doses de nitrogênio, um filtro de disco (120 mesh), um manômetro para controle de pressão e três linhas principais de 25 mm de diâmetro nominal (DN), com válvulas solenóides NaanDanJain (Modelo S390-2W-4 24VAC) posicionadas no início de cada linha principal para permitir a diferenciação das estratégias de manejo de irrigação.

As linhas laterais do sistema de irrigação eram tubos gotejadores de polietileno NaanDanJain (AmnonDrip PC CNL) de 17 mm de diâmetro nominal (DN), medindo 2,5 m de comprimento, com emissores autocompensados integrados anti-drenantes, equiespaçados a 0,20 m, de vazão nominal $2,0 \text{ L h}^{-1}$ operando na pressão de serviço de 1 bar, com eficiência de aplicação de água de 92,50%. Utilizou-se um tubo gotejador para duas linhas de plantio em cada canteiro.

Os tempos de irrigação foram programados em um controlador protótipo desenvolvido com um micro controlador Microchip PIC 16F628a, com display numérico de oito dígitos para estabelecer os tempos exatos de funcionamento de cada válvula solenóide, acoplado a um teclado que estabeleceu a interface do operador com o micro controlador. No controlador foram instalados cinco drives de relés que estabeleceram as ligações do micro controlador com as duas bombas (um relé/bomba) e as válvulas solenóides (um relé/duas válvulas), acionando uma válvula solenóide por bomba de forma sincronizada.

A água empregada na irrigação foi proveniente de poço artesiano e classificada como C1S1, indicando ausência de riscos à salinização ou sodificação do solo. O manejo diário da irrigação foi realizado pelo método climático baseado na evapotranspiração de referência (ET_o) externa à casa de vegetação, obtida pelo método de Penman-Monteith adaptado pela FAO (Allen et al., 2006). Os dados diários da ET_o foram coletados de uma estação meteorológica automática, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) em Botucatu- SP, situada a uma distância de 100 m da casa de vegetação.

Os coeficientes de cultura (K_c) utilizados foram os obtidos por Bastos et al. (1996), sendo de 0,52 para a fase I (1 – 10 DAT); 0,80 para a fase II (11 – 25 DAT); e 0,92

para a fase III (26 DAT – até a colheita do ciclo). A adoção das estratégias de irrigação iniciou-se aos 7 DAT nos dois ciclos, e finalizou aos 35 DAT (IC) e aos 30 DAT (IIC). As lâminas de irrigação aplicadas após o transplante foram 96,28 e 86,08 mm no IC e IIC, respectivamente.

As variáveis micrometeorológicas temperatura do ar e umidade relativa do ar ocorridas no interior da casa de vegetação durante os dois ciclos de cultivo foram monitoradas por uma estação meteorológica que efetuava leituras continuamente a cada segundo e armazenava as médias a cada 15 minutos em um datalogger Campbell Scientific CR10X.

As médias diárias das variáveis micrometeorológicas temperatura do ar e umidade relativa do ar ocorridas durante os períodos experimentais foram de 21,57 °C e 78,47%, oscilando entre 17,50 a 26,50 °C e 67,69 a 94,04% no IC, respectivamente. No IIC as médias foram de 22,73 °C e 81,26%, variando de 19,62 a 24,81 °C e 80,93 a 95,64%, respectivamente.

A colheita das plantas foi realizada aos 35 e 30 DAT no IC e IIC, respectivamente, identificando-se como ponto de colheita o padrão comercial e o máximo desenvolvimento vegetativo, sem indícios de florescimento. Três plantas de cada parcela foram coletadas e secas em estufa de circulação forçada sob temperatura de 65°C até atingirem massa constante para obtenção do acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (AMMS). As amostras secas foram pesadas com auxílio de balança digital de precisão 0,01 g.

As amostras secas foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP/FCA) para determinação dos teores de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), e micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). O N foi determinado pelo método semi-micro Kjeldahl, P e B por colorimetria, K por fotometria de chama e Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica.

A partir das análises químicas foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S em g kg⁻¹ de massa seca (MS), e os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn em mg kg⁻¹ de MS. O acúmulo dos nutrientes na parte aérea das plantas foi obtido pela multiplicação do teor de cada nutriente pelo AMMS das amostras. A eficiência de uso do nitrogênio (EUN) foi calculada pela relação: $EUN (\%) = (\text{Quantidade de N absorvido} / \text{Quantidade de N aplicado}) \times 100$ (Pereira et al, 2017).

Os dados foram submetidos à análise de variância ao nível de 0,05 de significância. Em caso de efeito significativo, procedeu-se análise qualitativa de comparação de médias pelo teste de Tukey à 0,05 de significância. As análises estatísticas foram realizadas no programa computacional SAS v. 9.4 (SAS Institute, Cary, Carolina do NC, EUA).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estratégias de irrigação intermitentes Int1 e Int2 promoveram aumentos significativos dos teores de N, P, Ca e Mg no IC de cultivo. No IIC as referidas estratégias de irrigação novamente aumentaram os teores de N e P e também promoveram incrementos nos teores de K e S (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de macronutrientes em mini alface romana em função de estratégias de manejo de irrigação e doses de nitrogênio em dois ciclos de cultivo.

Primeiro ciclo (IC)						
Estratégia	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg ⁻¹ de MS)					
Cont	33,87 b	4,30 b	50,50	15,87 b	3,77 b	2,10
Int1	37,25 a	5,31 a	62,00	18,62 a	4,21 a	2,38
Int2	38,00 a	5,12 a	60,87	17,62 a	4,06 a	2,35
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
100	36,08	4,75 b	55,16	17,50	4,00	2,32
130	36,66	5,07 a	60,41	17,25	4,03	2,23
Segundo ciclo (IIC)						
Estratégia						
Cont	34,25 b	3,93 b	28,37 b	18,12	3,92	1,60 b
Int1	35,50 a	5,52 a	39,00 a	20,25	4,42	1,85 a
Int2	35,87 a	5,06 a	40,12 a	20,12	4,36	1,98 a
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
100	34,83	4,78	35,08	19,58	4,10	1,79
130	35,58	4,90	36,58	19,41	4,36	1,86

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância.

Os maiores teores de macronutrientes observados com o uso de intermitências no manejo da irrigação são atribuídos à melhor disponibilidade hídrica no solo na camada superficial ao longo do dia, em razão da redução do movimento da água do solo no sentido vertical, reduzindo as taxas de percolação da água (Abdelraouf et al., 2019) e menores perdas de nutrientes por lixiviação. Além disso, a maior frequência de irrigação diária reduz a tensão da água no solo (Xu et al., 2004), aumenta o conteúdo de água presente nos tecidos vegetais, otimiza o processo de abertura dos

estômatos e a absorção de nutrientes como N, Ca, Mg e S por fluxo de massa gerado pela corrente transpiratória (Oliveira et al., 2010; McMurtrie; Näsholm, 2018; Baslam et al., 2021; Xing et al., 2021).

É provável que a combinação entre as estratégias de irrigação intermitente e as adubações fosfatada e potássica aplicadas apenas em fundação na camada superficial do solo (0 a 0,20m) nos dois ciclos de cultivo, tenham disponibilizado maiores quantidades das formas absorvidas de P e K na presença de maior conteúdo de umidade do solo ao longo do dia na referida camada, favorecendo o maior contato do sistema radicular da alface com os íons presentes na solução do solo, otimizando a extração pelas raízes.

De acordo com Oliveira et al. (2010) o maior contato do K e P do solo com as raízes ocorre por difusão e a extração destes elementos da solução do solo está diretamente relacionada à umidade do solo que atua como transporte dos íons para as raízes. Para Xu et al. (2004) o aumento da frequência dos eventos de irrigação diária limita a depleção da umidade do solo na zona radicular das plantas, otimiza o processo de transporte de nutrientes via transpiração e diminui a significância da difusão no contato nutriente-raiz no solo. Estes autores observaram incremento na concentração de P nas folhas e raízes da alface Iceberg com a aplicação de intermitências no manejo diário da irrigação.

No presente estudo houve diminuição expressiva nos teores foliares de K da alface em todos os tratamentos no IIC (Tabela 1), provavelmente em razão da competição que ocorre no solo entre os íons K^+ e NH_4^+ promovida pelo aumento da fertirrigação nitrogenada, uma vez que o incremento dos níveis de N eleva a quantidade de íons NH_4^+ e também de NO_3^- , formas de N absorvidas pelas plantas (Buragohain et al., 2019; Baslam et al., 2021). Provavelmente essa redução dos teores de K no IIC também favoreceu a maior absorção de Ca e Mg pela alface, uma vez que estes nutrientes possuem uma relação antagônica com o K (Menezes et al. (2020b).

O N, P, K, Ca, Mg e S são nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Estes nutrientes desempenham funções específicas e participam de inúmeros compostos e funções vitais para as plantas, atuando nas sínteses de aminoácidos, proteínas, DNA, RNA, controle dos processos estomáticos e enzimáticos, fotossíntese, respiração, síntese de clorofila, controle dos mecanismos hormonais, de crescimento, divisão e diferenciação celular, refletindo diretamente no ganho em acúmulo de massa de matéria seca vegetal (Carstensen et al., 2018;

Hasanuzzaman et al., 2018; Samborska et al., 2019; Zhang et al., 2020; Baslam et al., 2021 e Xing et al., 2021).

Os resultados deste estudo corroboram com os reportados por El-Mogy et al. (2012) que verificaram aumento dos teores de N, P e K no tecido vegetal do feijão-verde com a aplicação da irrigação intermitente. Menezes et al. (2020b) também constataram aumentos expressivos nos teores de N, P, K e S em coentro com o uso da fertirrigação intermitente. Silber et al. (2005) também obtiveram aumento dos teores foliares de K, Ca e Mg em pimentão com a aplicação da fertirrigação intermitente. Já Xu et al. (2004) não obtiveram resposta significativa do uso de intermitências na irrigação diária sobre os teores foliares de N, NO_3^- , K, Ca e Mg em alface.

Com exceção do teor de P no IC, os demais macronutrientes foliares não foram influenciados pela aplicação das doses de N em fertirrigação (Tabela 1). No referido ciclo produtivo a dose de 130 kg ha^{-1} de N promoveu aumento significativo de 6,31% no teor de P da alface em relação à dose de 100 kg ha^{-1} de N. Apesar de não apresentar efeito de significância, foi possível notar que o aumento do N em fertirrigação, também beneficiou o teor P no IIC.

A maior absorção de P com a aplicação de 130 kg ha^{-1} de N pode ser atribuída em parte ao efeito sinérgico existente entre estes nutrientes (Rietra et al., 2017). O P é um macronutriente que atua no crescimento e no controle hormonal das plantas, participando ainda de compostos como o ATP, NADPH, ácidos nucleicos, no armazenamento e transferência de energia e na ativação de enzimas, afetando diretamente a produção das culturas (Carstensen et al., 2018). Cabe destacar que a aplicação de N no solo como fonte de ureia, além de aumentar a disponibilidade de N, reduz levemente o pH, e eleva a disponibilidade de P no solo (Awaad et al., 2016).

O aumento dos teores foliares de P em função da maior disponibilidade de N no solo também foram observados por Awaad et al. (2016), El-Bassyouni (2016) e Taha et al. (2017) em cultivares de alface Dark green, Ovation e Balady, respectivamente. No entanto, Zandvakili et al. (2019) não constataram efeito de doses de N (ureia) sobre os teores foliares de P das cultivares de alface Iceberg, Romaine, Butterhead e Loose Leaf.

Os valores médios dos teores de macronutrientes em todos os tratamentos aplicados neste estudo estão dentro da faixa considerada adequada por Van Raij et al. (1997) de N ($30\text{-}50 \text{ g kg}^{-1}$); P ($4,0\text{-}7,0 \text{ g kg}^{-1}$); K ($50\text{-}80 \text{ g kg}^{-1}$); Ca ($15\text{-}25 \text{ g kg}^{-1}$);

Mg (4,0-6,0 g kg⁻¹) e S (1,5-2,5 g kg⁻¹), com exceção do K no IIC. A ordem decrescente nos teores de macronutrientes observados nas plantas de alface foi: K>N>Ca>P>Mg>S. Acrescente-se que o K foi o macronutriente mais absorvido pela alface explorada neste estudo. Esses resultados estão de acordo com os reportados por Xu et al. (2004) que verificaram que o K foi o macronutriente mais absorvido pela cultivar de alface Iceberg. Entretanto, divergem dos obtidos por Dalalstra et al. (2020) em que o N foi o macronutriente mais absorvido pela cultivar Betty.

Os teores dos micronutrientes B, Fe e Zn foram influenciados pelas estratégias de manejo de irrigação no IC. As estratégias de irrigação Int1 e Int2 promoveram aumentos significativos nos teores de B, Fe e Zn, porém as maiores variações nos teores de Zn foram observadas entre as estratégias Cont e Int1 no referido ciclo (Tabela 2). No IIC os aumentos proporcionados pelas estratégias de irrigação Int1 e Int2 nos teores de B, Fe e Mn em relação à estratégia Cont, foram de 37,12 e 33,85%; 21,44 e 32,46% e 30,13 e 28,09%, respectivamente, entretanto, as maiores diferenças dos teores de Fe ocorreram entre as estratégias Cont e Int2 (Tabela 2).

Tabela 2. Teores de micronutrientes em mini alface romana em função de estratégias de manejo de irrigação e doses de nitrogênio em dois ciclos de cultivo.

Primeiro ciclo (IC)					
Estratégia	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg kg ⁻¹ de MS)				
Cont	25,00 b	14,12	1276,62 b	107,37	32,62 b
Int1	32,75 a	14,00	1998,62 a	120,12	52,75 a
Int2	35,75 a	13,62	2174,00 a	123,37	49,12 ab
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-
100	32,50 a	14,41	1931,08 a	115,83	49,08
130	29,83 b	13,41	1701,75 b	118,08	45,25
Segundo ciclo (IIC)					
Estratégia					
Cont	20,75 b	10,62	1307,87 b	107,50 b	35,62
Int1	33,00 a	11,75	1664,50 ab	153,87 a	50,62
Int2	31,37 a	10,50	1936,50 a	149,50 a	47,25
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-
100	27,58	11,16	1510,66	123,50 b	41,16
130	29,16	10,75	1761,91	150,41 a	47,83

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância.

O manejo de irrigação intermitente favorece a maior disponibilidade de água e nutrientes na região radicular das culturas e maximiza a significância do fluxo de massa no transporte de nutrientes do solo como o B (Xu et al., 2004; Silber et al., 2005; Dridi et al., 2018). Essa maior disponibilidade hídrica aumenta o contato

nutriente-raiz por difusão, uma vez que este transporte contribui em mais de 99% na absorção do Fe, Zn e Mn pelas raízes (Oliveira et al., 2010). O aumento dos teores foliares de Fe, Mn e Zn com a aplicação de intermitências no manejo de irrigação também foi observado em plantas de coentro por Menezes et al. (2020b). Já Silber et al. (2005) verificaram aumento dos teores de Mn em frutos de pimentão em maiores intermitências de fertirrigação diária.

Os teores de B e Fe foram influenciados pelo fator N no IC, no qual a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N em fertirrigação aumentou significativamente em 8,21 e 11,87% os teores destes micronutrientes quando comparados à maior dose (Tabela 2). Esse aumento no teor de B pode estar relacionado ao menor decréscimo do pH do solo em razão da menor dose de ureia aplicada como fonte de fertilizante nitrogenado, o que resulta na melhor disponibilidade de B no solo e conseqüentemente aumenta a possibilidade de extração pelas raízes (Awaad et al., 2016; Bahia et al., 2019). Neste contexto, o aumento constatado no teor de Fe pode estar associado à maior absorção de B pela alface, uma vez que há relatos na literatura de que o B influencia a disponibilidade, a absorção e a translocação de nutrientes como P, K, Zn, Fe e Cu nas plantas (Shireen et al., 2018).

As doses de N influenciaram significativamente o teor de Mn no IIC de cultivo. No referido ciclo a dose de 130 kg ha⁻¹ de N incrementou os teores de Mn em 17,89% em relação à menor dose (Tabela 2). Esse comportamento também foi observado no IC apesar da ausência de diferença entre as médias do fator N (Tabela 3). Tal resultado pode ser explicado pela redução do pH do solo causado pela aplicação da ureia, favorecendo a maior disponibilidade e aquisição de Mn pelas raízes da cultura. Awaad et al. (2016) e Zandvakili et al. (2019) também verificaram aumento do teor de Mn em alface com o aumento da aplicação de N no solo.

Os micronutrientes B, Fe, Zn e Mn são essenciais para as plantas, e quando presentes em níveis adequados atuam em processos fisiológicos como a fotossíntese, respiração, regulação enzimática, formação da parede celular, síntese e transporte de carboidratos, metabolismo hormonal, favorecem a resistência às doenças e contribuem no crescimento vegetativo e rendimento das culturas (Shireen et al., 2018; Singh; Dwivedi, 2019).

Com exceção do Fe, os demais teores de micronutrientes obtidos neste trabalho estiveram próximo da faixa considerada adequada por Van Raij et al. (1997) de B (30-60 mg kg⁻¹); Cu (7,0-20 mg kg⁻¹); Fe (50-150 mg kg⁻¹); Mn (30-150 mg kg⁻¹) e Zn (30-

100 mg kg⁻¹). Acrescente-se que o Fe foi o micronutriente mais absorvido pela alface em todos os tratamentos e que as plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência ou excesso de algum nutriente, mesmo em condições de teores inferiores ou superiores. Tais resultados estão de acordo com os encontrados por Dalastra et al. (2020) em que o Fe foi o micronutriente mais extraído e alocado na parte aérea da cultivar de alface Betty, porém com valor muito aquém aos descritos neste trabalho.

O acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (AMMS) foi influenciado apenas pelo fator estratégias de irrigação. No IC a estratégia de irrigação intermitente Int2 promoveu o maior ganho no AMMS com diferenças de 15,28 e 11,98% em relação às estratégias Cont e Int1, respectivamente. No IIC as estratégias de irrigação intermitentes (Int1 e Int2) aumentaram significativamente a produção de matéria seca em 9,41e 13,22% em relação ao manejo de irrigação Cont, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Acúmulo de massa de matéria seca e de macronutrientes em mini alface romana em função de estratégias de manejo de irrigação e doses de nitrogênio em dois ciclos de cultivo.

Primeiro ciclo (IC)							
Estratégia	AMMS	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g por planta)						
Cont	8,48 b	0,287 b	0,036 b	0,435 b	0,134 b	0,031 b	0,018 b
Int1	8,81 b	0,328 ab	0,046 a	0,545 ab	0,163 a	0,037 a	0,021 ab
Int2	10,01 a	0,379 a	0,051 a	0,610 a	0,179 a	0,040 a	0,023 a
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
100	8,82	0,310	0,042 b	0,490	0,155	0,035	0,020
130	9,39	0,340	0,047 a	0,570	0,162	0,037	0,021
Segundo ciclo (IIC)							
Estratégia							
Cont	8,27 b	0,283 b	0,033 b	0,233 b	0,151 b	0,032 b	0,013 b
Int1	9,13 a	0,324 a	0,050 a	0,354 a	0,185 a	0,040 a	0,016 a
Int2	9,53 a	0,341 a	0,048 a	0,380 a	0,191 a	0,041 a	0,018 a
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-
100	9,17	0,320	0,043	0,322	0,180	0,037	0,016
130	8,79	0,312	0,043	0,323	0,171	0,038	0,016

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância.

O aumento do AMMS nas estratégias de irrigação intermitentes é explicado em razão da melhor disponibilidade hídrica diária na zona radicular da alface, que favorece o aumento da condutância estomática e da taxa transpiratória, e a maior absorção de nutrientes, otimizando a assimilação líquida de CO₂ e o crescimento vegetativo (dados fisiológicos não apresentados). O ganho no AMMS com o uso de

intermitências no manejo de irrigação também foi observado em outras culturas como pimentão (Silber et al., 2005) e coentro (Menezes et al., 2020a).

Os acúmulos de macronutrientes na matéria seca foram influenciados pelas estratégias de irrigação nos dois ciclos de cultivo. No IC a estratégia Int2 aumentou os acúmulos de todos os macronutrientes em comparação a estratégia Cont, enquanto a estratégia Int1 aumentou apenas os acúmulos de P, Ca e Mg. No IIC as diferenças entre as médias das estratégias foram mais expressivas, e tanto a estratégia Int1 como a Int2 promoveram incrementos nos acúmulos de todos os macronutrientes em relação à estratégia Cont (Tabela 3). O aumento no acúmulo dos macronutrientes são creditados ao maior crescimento e AMMS observados nas estratégias de irrigação intermitentes. Tais resultados corroboram com os reportados por Menezes et al. (2020a) que constataram incrementos significativos no acúmulo de N, P, K e S em coentro com o uso da fertirrigação intermitente.

Apenas a quantidade acumulada de P na matéria seca foi influenciada pelas doses de N no IC de cultivo. A dose de 130 kg ha⁻¹ de N incrementou em 10,61% o acúmulo do P em relação à menor dose (Tabela 3). O maior crescimento vegetativo e consequente ganho em AMMS em função do aumento da dose de N aplicada foi seguido de maior extração de P, indicando ausência de efeito de diluição e melhor proporção na relação extração/crescimento.

De maneira geral, os macronutrientes se acumularam na seguinte ordem decrescente: K > N > Ca > P > Mg > S. Entretanto, apenas a estratégia de irrigação Cont promoveu uma inversão entre K e N na ordem de acúmulo no IIC. Esses resultados assemelham-se aos reportados por Carvalho et al. (2018) e Dalastra et al. (2020) que também verificaram que o K e N foram os nutrientes mais acumulados na massa de matéria seca da alface.

Os valores médios de acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca obtidos neste estudo estão acima dos encontrados por Dalastra et al. (2020) de 0,160; 0,030; 0,120; 0,050; 0,030 e 0,010 g por planta na cultivar de alface Betty, respectivamente. Essas diferenças nos acúmulos de nutrientes podem estar relacionadas dentre outros fatores às características genéticas das cultivares exploradas, épocas de cultivo e às formas de condução dos estudos.

As estratégias de irrigação intermitentes (Int1 e Int2) aumentaram significativamente o acúmulo de micronutrientes B, Fe e Zn em comparação ao Cont no IC e apenas a estratégia Int2 diferiu para o Mn. Para o B e o Fe a estratégia Int2

também resultou em acúmulos superiores a Int1. No IIC as estratégias de irrigação Int1 e Int2 promoveram aumento do acúmulo de todos os micronutrientes na matéria seca em relação à estratégia Cont (Tabela 4).

Tabela 4. Acúmulo de micronutrientes e eficiência de uso do N em mini alface romana em função de estratégias de manejo de irrigação e doses de nitrogênio em dois ciclos de cultivo.

Estratégia	Primeiro ciclo (IC)					EUN (%)
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	(mg por planta)					
Cont	0,212 c	0,120	10,722 c	0,913 b	0,337 b	30,09 b
Int1	0,286 b	0,123	17,660 b	1,061 ab	0,461 a	32,85 a
Int2	0,356 a	0,137	21,700 a	1,229 a	0,494 a	33,41 a
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
100	0,288	0,128	17,314	1,026	0,434	36,07 a
130	0,289	0,125	16,074	1,109	0,428	28,16 b
Estratégia	Segundo ciclo (IIC)					EUN (%)
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Cont	0,170 b	0,088 b	10,977 b	0,891 b	0,494 b	30,21 b
Int1	0,300 a	0,106 a	15,080 a	1,396 a	0,462 a	31,39 ab
Int2	0,298 a	0,102 a	18,441 a	1,422 a	0,453 a	31,63 a
N (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
100	0,251	0,101	13,913	1,137 b	0,380	34,86 a
130	0,261	0,094	15,745	1,335 a	0,426	27,29 b

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância.

A diminuição do acúmulo de micronutrientes com o uso da estratégia de irrigação Cont evidencia ter havido restrição no crescimento vegetativo, com conseqüente redução do AMMS da alface. O efeito de diminuição do acúmulo de micronutrientes Mn, Cu, Zn e Fe na matéria seca com o uso da estratégia de manejo de irrigação contínua também foi reportado por Menezes et al. (2020a) em plantas de coentro.

A dose de 100 kg ha⁻¹ de N reduziu o acúmulo de Mn em 14,83% quando comparado à maior dose no IIC (Tabela 4). O maior crescimento vegetativo e AMMS foi seguido de menor acumulação de Mn na parte aérea, evidenciando um leve efeito de diluição deste nutriente na matéria seca e menor relação na extração/crescimento.

Neste estudo os micronutrientes se acumularam na seguinte ordem decrescente: Fe > Mn > Zn > B > Cu. Esses resultados são concordantes com os encontrados por Carvalho et al. (2018) e Dalastra et al. (2020) que constataram que o Fe foi o micronutriente mais acumulado na massa de matéria seca da alface. Cabe destacar que com exceção do Zn, os valores médios de acúmulo de Fe, Mn, B e Cu na matéria seca obtidos neste trabalho estão acima dos reportados por Dalastra et al. (2020) de

0,86; 0,54; 0,55; 0,13 e 0,05 mg por planta de Fe, Mn, Zn, B e Cu, respectivamente. Com isso, pode-se inferir que diferenças nos acúmulos de micronutrientes estão relacionadas dentre outros fatores, às características genéticas das cultivares e às formas de condução dos experimentos.

As estratégias de irrigação influenciaram significativamente a EUN nos dois ciclos de cultivo. No IC as intermitências Int1 e Int2 aumentaram a EUN em 8,4 e 9,9% em relação à estratégia Cont (Tabela 4). No IIC os aumentos foram menos expressivos, 3,75 e 4,48%, respectivamente, e não houve diferença entre as estratégias Int1 e Cont (Tabela 4). A maior EUN nas estratégias de irrigação intermitente possivelmente está associada ao menor caminhamento de íons NH_4^+ e especialmente do NO_3^- com a frente de umidade do solo para zonas inexploradas pelo sistema radicular da alface, otimizando a aquisição e a eficiência de aplicação deste nutriente.

A EUN também foi influenciada significativamente pelas doses de N nos dois ciclos de cultivo. O tratamento de 100 kg ha^{-1} de N otimizou a EUN em 21,92 e 21,71% em relação à maior dose no IC e IIC, respectivamente (Tabela 4). Esses resultados indicam que o aumento na aquisição do N pela alface foi proporcionalmente menor que a quantidade de N acrescida, reduzindo a eficiência deste fator de produção. Os resultados deste estudo estão de acordo com os encontrados por Pereira et al. (2017) que constataram diminuição da EUN em alface cultivada com doses de N acima de 112 kg ha^{-1} .

O uso de intermitências no manejo da irrigação beneficia a aquisição de nutrientes e otimiza a EUN pela alface cultivada em ambiente protegido.

K e N são os macronutrientes mais extraídos e acumulados em plantas de alface. A ordem decrescente de acúmulo de nutrientes pela alface é: $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$.

As doses de 100 e 130 kg ha^{-1} de N não apresentam diferenças expressivas quanto à aquisição e acúmulo de nutrientes pela alface, no entanto a dose de 100 kg ha^{-1} mostra-se mais eficiente quanto ao uso do N.

3.4 REFERÊNCIAS

ABDELRAOUF, R. E., AZAB, A., TARABYE, H. H. H. & REFAIE, K. M. 2019. Effect of pulse drip irrigation and organic mulching by rice straw on yield, water productivity and quality of orange under sandy soils conditions. *Plant Archives*, 19(2), 2613-2621.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D. & SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0).

AWAAD, M. S., BADR, R. A., BADR, M. A. & ABD-ELRAHMAN, A. H. 2016. Effects of different nitrogen and potassium sources on lettuce (*Lactuca sativa* L.) yield in a sandy soil. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(4), 299-306. doi: 10.18393/ejss.2016.4.299-306

BAHIA, B. L., SOUZA, I. V. B., MAFESSONI, A. B., COUTRIM, R. L., DA SILVA, R. F., NEVES, B. R., SILVA, J. C. G. & SÃO JOSÉ, A. R. 2019. Nitrogen Doses and Humic Substances in Custard Apple Nutrition. *Journal of Applied Life Sciences International*, 20(4), 1-9. doi: 10.9734/JALSI/2019/v20i430091

BASLAM, M., MITSUI, T., SUEYOSHI, K. & OHYAMA, T. 2021. Recent Advances in Carbon and Nitrogen Metabolism in C3 Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 318. doi: 10.3390/ijms22010318

BASTOS, E. A., LUNARDI, D. M. C., DE ANDRADE JÚNIOR, A. S. & NETTO, A. D. O. A. 1996. Determinação dos coeficientes de cultura da alface (*Lactuca sativae* L.). *Irriga*, 1(3), 2-7.

BURAGOHAIN, P., SREEDEEP, S., LIN, P., NI, J. & GARG, A. 2019. Influence of soil variability on single and competitive interaction of ammonium and potassium: experimental study on seven different soils. *Journal of Soils and Sediments*, 19(1), 186-197. doi: 10.1007/s11368-018-2004-5

CARSTENSEN, A., HERDEAN, A., SCHMIDT, S. B., SHARMA, A., SPETEA, C., PRIBIL, M. & HUSTED, S. 2018. The impacts of phosphorus deficiency on the photosynthetic electron transport chain. *Plant physiology*, 177(1), 271-284. doi: 10.1104/pp.17.01624

CARVALHO, R. D. S. C., BASTOS, R. G. & SOUZA, C. F. 2018. Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system. *Agricultural Water Management*, 203, 311-321. doi: 10.1016/j.agwat.2018.03.028

DALASTRA, C., TEIXEIRA FILHO, M., DA SILVA, M. R., NOGUEIRA, T. A. & FERNANDES, G. C. 2020. Head lettuce production and nutrition in relation to nutrient solution flow. *Horticultura Brasileira*, 38(1), 21-26. doi: 10.1590/S0102-053620200103

DRIDI, I., TLILI, A., FATNASSI, S., HAMROUNI, H. & GUEDDARI, M. 2018. Effects of boron distribution on sugar beet crop yield in two Tunisian soils. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15), 400. doi: 10.1007/s12517-018-3741-x

EL-BASSYOUNI, M. S. (2016). Effect of Different Nitrogen Sources and Doses on Lettuce Production. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 5(4), 647-654.

EL-MOGY, M. M., ABUARAB, M. E. & ABDULLATIF A. L, 2012. Response of Green bean to pulse surface drip irrigation. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4(3): 329-334. doi: 10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.263

HASANUZZAMAN, M., BHUYAN, M. H. M., NAHAR, K., HOSSAIN, M., MAHMUD, J. A., HOSEN, M., MASUD, A. A. C., MOUMITA. & FUJITA, M. 2018. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. doi:10.3390/agronomy8030031

MCMURTRIE, R. E., & NÄSHOLM, T. 2018. Quantifying the contribution of mass flow to nitrogen acquisition by an individual plant root. *New Phytologist*, 218(1), 119-130. doi: 10.1111/nph.14927

MENEZES, S. M., FERREIRA DA SILVA, G., MESQUITA DA SILVA, M., FLORENTINO DE MORAIS, J. E., SANTOS JÚNIOR, J. A., MENEZES, D. & MONTEIRO ROLIM, M. 2020a. Continuous and pulse fertigation on dry matter production and nutrient accumulation in coriander. *Dyna*, 87(212), 18-25. doi: 10.15446/dyna.v87n212.78569

MENEZES, S. M., SILVA, G. F., ZAMORA, V. R., DA SILVA, M. M., DA SILVA, A. C. & SILVA, Ê. F. D. F. 2020b. Nutritional status of coriander under fertigation depths and pulse and continuous drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(6), 364-371. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p364-371

OLIVEIRA, E. M. M., RUIZ, H. A., ALVAREZ V, V. H., FERREIRA, P. A., COSTA, F. O. & ALMEIDA, I. C. C. 2010. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plants in response to soil aggregate size and water potential. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(2), 317-328.

PEREIRA, E. I. P., CONZ, R. F. & SIX, J. 2017. Nitrogen utilization and environmental losses in organic greenhouse lettuce amended with two distinct biochars. *Science of the Total Environment*, 598, 1169-1176. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.062

RIETRA, R. P., HEINEN, M., DIMKPA, C. O. & BINDRABAN, P. S. 2017. Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1895-1920. doi: 10.1080/00103624.2017.1407429

SAMBORSKA, I. A., KALAJI, H. M., SIECZKO, L., BORUCKI, W., MAZUR, R., KOUZMANOVA, M. & GOLTSEV, V. 2019. Can just one-second measurement of chlorophyll a fluorescence be used to predict sulphur deficiency in radish (*Raphanus sativus* L. *sativus*) plants?. *Current Plant Biology*, 19, 100096. doi: 10.1016/j.cpb.2018.12.002

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBREERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., CUNHA, T. J. F. & OLIVEIRA, J. B, 2013. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 3ª edição. revista e ampliada – EMBRAPA, Brasília, Brasil. 353p.

SHIREEN, F., NAWAZ, M. A., CHEN, C., ZHANG, Q., ZHENG, Z., SOHAIL, H., SUN, J., CAO, H., HUANG, Y. & BIE, Z. 2018. Boron: functions and approaches to enhance

its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1856. doi: 10.3390/ijms19071856

SILBER, A., BRUNER, M., KENIG, E., RESHEF, G., ZOHAR, H., POSALSKI, I., YEHEZKEL, H., SHMUEL, D., COHEN, S., DINAR, M., MATAN, M., DINKIN, I., COHEN, Y., KARNI, L. & ASSOULINE, S. 2005. High fertigation frequency and phosphorus level: Effects on summer-grown bell pepper growth and blossom-end rot incidence. *Plant and soil*, 270(1), 135-146. doi: 10.1007/s11104-004-1311-3

SINGH, P. & DWIVEDI, P. 2019. Micronutrients zinc and boron enhance stevioside content in *Stevia rebaudiana* plants while maintaining genetic fidelity. *Industrial Crops and Products*, 140, 111646. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111646

TAHA, A., EL-SHAZLY, M. & ALI, N. 2017. Impact of Nitrogen and Organic Fertilization on Nutrients Uptake by Lettuce Plants. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8(7), 341-346.

VAN RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C (eds), 1997. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, 2ª edição (Boletim técnico, 100)*. Instituto Agrônomo/Fundação IAC, Campinas, Brasil. 157-186.

XING, Y., ZHU, Z. L., WANG, F., ZHANG, X., LI, B. Y., LIU, Z. X., WU, X. X., GE, S. F. & JIANG, Y. M. 2021. Role of calcium as a possible regulator of growth and nitrate nitrogen metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Scientia Horticulturae*, 276, 109740. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109740

XU, G., LEVKOVITCH, I., SORIANO, S., WALLACH, R. & SILBER, A. 2004. Integrated effect of irrigation frequency and phosphorus level on lettuce: P uptake, root growth and yield. *Plant and soil*, 263(1), 297-309. doi: 10.1023/B:PLSO.0000047743.19391.42

ZANDVAKILI, O. R., BARKER, A. V., HASHEMI, M., ETEMADI, F., AUTIO, W. R. & WEIS, S. 2019. Growth and nutrient and nitrate accumulation of lettuce under different

regimes of nitrogen fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 42(14), 1575-1593. doi: 10.1080/01904167.2019.1617313

ZHANG, Z., LIU, D., MENG, H., LI, S., WANG, S., XIAO, Z., SUN, J., CHANG, L. & LI, N. 2020. Magnesium alleviates aluminum toxicity by promoting polar auxin transport and distribution and root alkalization in the root apex in populus. *Plant and Soil*, 1-21. doi: 10.1007/s11104-020-04459-7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estratégia de manejo de irrigação intermitente é promissora como uma alternativa viável para melhorar o manejo da água em ambiente protegido, possibilitando o incremento de produtividade e a ótima eficiência de uso dos fatores de produção água e nitrogênio.

É necessário o desenvolvimento de novas pesquisas com o uso de maiores intermitências, variados intervalos de tempo entre eventos de fertirrigação e maior número e quantidade de nutrientes a serem diluídos em uma única solução fertilizante, visando maximizar a eficiência da fertirrigação intermitente.

Apesar dos inúmeros benefícios da irrigação intermitente, também se torna necessário a realização de estudos afim de investigar o comportamento dos nutrientes no solo e a possibilidade de geração de novas recomendações de fertilizantes, uma vez que o manejo da irrigação exerce influência direta no processo de absorção de nutrientes do solo pelas plantas.

REFERÊNCIAS

- ABDELRAOUF, R. E.; ABOU-HUSSEIN, S. D.; ABD-ALLA, A. M.; ABDALLAH, E. F. Effect of short irrigation cycles on soil moisture distribution in root zone, fertilizers use efficiency and productivity of potato in new reclaimed lands. **Journal of Applied Sciences Research**, n. July, p. 3823-3833, 2012a.
- ABDELRAOUF, R. E.; ABOU-HUSSEIN, S. D.; REFAIE, K. M.; EL-METWALLY, I. M. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 3, p. 807-816, 2012b.
- ABDELRAOUF, R. E.; AZAB, A.; TARABYE, H. H. H.; REFAIE, K. M. Effect of pulse drip irrigation and organic mulching by rice straw on yield, water productivity and quality of orange under sandy soils conditions. **Plant Archives**, v. 19, n. 2, p. 2613-2621, 2019.
- ALMEIDA, W. F. D.; PAZ, V. P. D. S.; JESUS, A. P.; SILVA, J. S. D., GONÇALVES, K. S.; OLIVEIRA, A. S. D. Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 7, p. 476-481, 2018.
- ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on American crisphead lettuce yield. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 1009-1018, 2015.
- AWAAD, M. S.; BADR, R. A.; BADR, M. A.; ABD-ELRAHMAN, A. H. Effects of different nitrogen and potassium sources on lettuce (*Lactuca sativa* L.) yield in a sandy soil. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 5, n. 4, p. 299-306, 2016.
- BAKEER, G. A. A.; EL-EBABI, F. G.; EL-SAIDI, M. T.; ABDELGHANY, A. R. E. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, v. 26, n. 2, p. 736-765, 2009.
- DALASTRA, C.; TEIXEIRA FILHO, M.; DA SILVA, M. R.; NOGUEIRA, T. A., FERNANDES, G. C. Head lettuce production and nutrition in relation to nutrient solution flow. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 21-26, 2020.
- EID, A. R.; BAKRY, B. A.; TAHA, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. **Agricultural Sciences**, v. 4, n. 5, p. 249-261, 2013.
- EL-BASSYOUNI, M. S. Effect of different nitrogen sources and doses on lettuce production. **Middle East J. Agric. Res**, v. 5, n. 4, p. 647-654, 2016.
- EL-MOGY, M. M.; ABUARAB, M. E.; ABDULLATIF, A. L. Response of Green bean to pulse surface drip irrigation. **Journal of Horticultural Science and Ornamental plants**, v. 4, n. 3, p. 329-334, 2012.

ELNESR M. N.; ALAZBA A. A.; EL-ABEDEIN A. I. Z.; EL-ADL M. M. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. **PloS one**, v. 10, n. 6, p. e0129796, 2015.

ELNESR M. N.; ALAZBA, A. A. The effects of three techniques that change the wetting patterns over subsurface drip-irrigated potatoes. **Spanish journal of agricultural research**, v. 13, n. 3, p. 20, 2015.

EL-SAIDI, M. T.; KASSAB, O. M.; OKASHA, S. A.; ABDELGHANY, A. R. E. Effect of drip irrigation systems, water regimes and irrigation frequency on growth and quality of potato under organic agriculture in sandy soils. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, n. 9, p. 4131-4141, 2010.

FRANCA, R. J. F.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; CAMPECHE, L. F. S. M. Produtividade do tomate cereja em ambiente protegido e céu aberto em função das lâminas e intermitências de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, 2017.

GARCÍA-PRATS, A.; GUILLEM-PICÓ, S. Adaptation of pressurized irrigation networks to new strategies of irrigation management: Energy implications of low discharge and pulsed irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 169, p. 52-60, 2016.

MADANE, D. A.; MANE, M. S.; KADAM, U. S. Study on White Onion (*Allium cepa* L.) Growth, Yield and Economics under Pulse (Drip) Irrigation. **Journal of Allium Research**, v. 1, n. 1, 2018.

MENEZES, S. M.; SILVA, G. F.; SILVA, M. M.; MORAIS, J. F. E. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MENEZES, D.; ROLIM, M. M. Continuous and pulse fertigation on dry matter production and nutrient accumulation in coriander. **Dyna**, v. 87, n. 212, p. 18-25, 2020a.

MENEZES, S. M.; SILVA, G. F.; ZAMORA, V. R.; SILVA, M. M.; SILVA, A. C.; SILVA, Ê. F. D. F. Nutritional status of coriander under fertigation depths and pulse and continuous drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 364-371, 2020b.

NASCIMENTO, T.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; LIMA, V. L. A.; WANDERLEY, J. A. C. Velocidade da frente de umidade em Neossolo Quartzarênico sob irrigação intermitente por gotejamento. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 41-49, 2013.

PERCHLIK M.; TEGEDER M. Leaf amino acid supply affects photosynthetic and plant nitrogen use efficiency under nitrogen stress. **Plant physiology**, v. 178, n. 1, p. 174-188, 2018.

SHESHBAHREH, M. J.; DEHNAVI, M. M.; SALEHI, A.; BAHREININEJAD, B. Physiological and yield responses of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.)

Moench) to nitrogen sources at different levels of irrigation. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, n. 1, p. 177-187, 2018.

SYLVESTRE, T. B.; BRAOS, L. B.; BATISTELLA FILHO, F.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 153-160, 2019.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C (eds). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**, 2ª edição (Boletim técnico, 100). Instituto Agrônômico/Fundação IAC, Campinas, Brasil. 157-186, 1997.

WANG, H.; YANG, Z.; YU, Y.; CHEN, S.; HE, Z.; WANG, Y.; JIANG, L.; WANG, G.; YANG, C.; LIU, B.; ZHANG, Z. Drought enhances nitrogen uptake and assimilation in maize roots. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 1, p. 39-46, 2017.

WANG, K.; ZHANG, X.; ERVIN, E. Antioxidative responses in roots and shoots of creeping bentgrass under high temperature: Effects of nitrogen and cytokinin. **Journal of plant physiology**, v. 169, n. 5, p. 492-500, 2012.

ZAMORA, V. R. O.; SILVA, M. M.; SILVA, G. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A, MENEZES, D.; MENEZES, S. M. D. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 22-28, 2019.

ZIN EL-ABEDIN, T. K. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. **Misr Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 'new trends in Agricultural Engineering', v. 23, 2006.

APÊNDICE A - Variáveis climáticas externas temperatura do ar máxima (T_{max}), mínima (T_{min}) e média (T_{med}), umidade relativa do ar máxima (UR_{max}), mínima (UR_{min}) e média (UR_{med}), Radiação solar global ($R. Global$), saldo de radiação ($S. Rad$), velocidade do vento, precipitação pluviométrica ($Precip$), índice de nebulosidade ($Nebul$) e evapotranspiração de referência (ET_o) ocorridas durante os períodos experimentais. Botucatu, SP.

Variáveis climáticas externas - 1º ciclo de cultivo												
<i>Data</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmed</i>	<i>URmax</i>	<i>URmin</i>	<i>URmed</i>	<i>R. Global</i>	<i>S. Rad</i>	<i>Vento</i>	<i>Precip</i>	<i>Nebul.</i>	<i>ETo</i>
	-----°C-----			-----%-----			---MJ/m ² /dia---	m/s	mm	-	mm/dia	
31/10/2019	30,63	20,33	24,90	88,20	43,44	66,05	24,21	13,22	1,80	0,00	0,39	4,66
01/11/2019	30,93	19,62	24,01	88,00	39,98	67,57	26,96	14,56	3,01	0,00	0,32	4,83
02/11/2019	31,71	19,65	25,04	86,10	32,14	63,41	27,09	14,79	1,89	0,00	0,32	5,21
03/11/2019	33,58	20,60	26,80	89,50	30,95	58,60	25,99	14,59	1,61	0,00	0,35	5,21
04/11/2019	34,73	20,46	26,99	87,00	27,18	60,12	25,34	13,33	1,79	0,00	0,37	5,06
05/11/2019	32,80	18,73	24,37	95,20	44,80	73,93	19,86	12,52	2,18	6,86	0,51	3,72
06/11/2019	23,47	17,44	20,26	97,80	66,93	83,30	9,55	6,64	2,90	0,51	0,76	1,57
07/11/2019	29,17	16,91	21,90	89,80	52,13	76,66	21,11	12,46	2,01	0,00	0,48	3,80
08/11/2019	24,14	19,04	20,84	99,40	74,02	89,40	7,42	4,41	1,54	18,03	0,82	1,32
09/11/2019	27,47	18,67	22,21	99,50	59,73	83,70	16,86	10,95	1,77	1,02	0,58	3,08
10/11/2019	24,65	19,04	21,20	97,60	60,61	86,80	7,33	3,87	1,07	9,65	0,82	1,34
11/11/2019	26,42	18,53	22,09	90,40	63,23	79,50	18,44	11,47	2,12	0,00	0,54	3,30
12/11/2019	28,01	17,88	21,56	86,60	53,18	73,75	24,83	14,01	3,34	0,00	0,39	4,15
13/11/2019	27,61	17,55	22,21	98,20	57,25	77,31	19,50	11,36	2,36	10,67	0,52	3,47
14/11/2019	27,54	18,70	21,53	98,30	65,26	89,30	12,14	27,05	2,04	45,97	0,70	2,15
15/11/2019	29,40	17,58	22,25	98,40	44,39	85,20	17,77	15,25	2,49	1,78	0,56	3,13
16/11/2019	26,32	15,89	20,34	99,10	48,61	66,59	27,87	16,30	2,48	0,00	0,32	4,75
17/11/2019	27,88	14,00	20,01	85,30	34,28	63,13	28,72	15,12	2,50	0,00	0,30	4,86
18/11/2019	29,57	15,12	20,63	89,40	33,63	73,17	25,84	14,05	2,38	0,00	0,37	4,45
19/11/2019	29,03	16,84	21,86	91,80	49,55	76,88	23,82	13,26	2,15	0,00	0,42	4,25
20/11/2019	29,20	18,16	22,25	89,50	51,86	75,01	21,11	11,30	2,23	0,00	0,48	3,78
21/11/2019	30,59	18,02	23,67	90,20	41,41	70,62	25,29	14,53	1,98	0,00	0,38	4,72
22/11/2019	31,68	18,50	23,68	94,50	39,50	72,92	23,70	13,88	1,83	0,00	0,42	4,46

23/11/2019	32,15	18,80	24,07	91,40	38,28	69,95	21,40	13,46	2,29	0,00	0,48	3,97
24/11/2019	21,70	14,13	17,54	98,50	60,15	80,30	18,43	11,62	3,22	10,92	0,55	2,80
25/11/2019	25,74	13,25	18,94	86,20	56,37	72,93	22,30	12,48	2,61	0,00	0,46	3,65
26/11/2019	31,24	15,28	22,28	96,90	47,21	75,04	24,45	15,28	2,23	28,96	0,41	4,39
27/11/2019	24,89	18,67	20,72	99,90	83,60	96,30	5,46	4,62	1,45	42,67	0,87	0,96
28/11/2019	20,69	16,26	19,39	99,30	82,80	92,90	6,57	4,08	1,79	3,56	0,84	1,11
29/11/2019	27,44	14,47	20,27	91,20	59,09	76,07	26,97	16,22	2,16	0,25	0,35	4,66
30/11/2019	31,20	17,88	22,64	99,00	51,08	80,60	24,22	15,47	1,02	26,67	0,41	4,66
01/12/2019	29,95	16,70	22,64	99,00	53,96	82,70	19,92	12,65	1,59	24,89	0,52	3,71
02/12/2019	25,30	15,69	19,91	96,40	61,50	81,10	22,76	13,79	2,79	0,25	0,45	3,75
03/12/2019	27,44	14,00	20,35	91,70	45,92	73,16	27,58	15,83	2,33	0,00	0,33	4,73
04/12/2019	29,20	17,04	22,56	98,30	56,75	79,28	19,97	11,78	1,48	8,13	0,52	3,74
05/12/2019	27,47	20,69	22,39	99,30	73,31	92,40	9,94	6,22	1,51	3,30	0,76	1,83

Variáveis climáticas externas - 2º ciclo de cultivo

<i>Data</i>	<i>Tmax</i>	<i>Tmin</i>	<i>Tmed</i>	<i>URmax</i>	<i>URmin</i>	<i>URmed</i>	<i>R. Global</i>	<i>S. Rad</i>	<i>Vento</i>	<i>Precip</i>	<i>Nebul.</i>	<i>ETo</i>
	-----°C-----			-----%-----			---MJ/m ² /dia---	m/s	mm	-	mm/dia	
13/12/2019	30,00	19,60	23,75	95,73	60,73	79,28	21,20	11,30	1,61	0,00	0,47	3,85
14/12/2019	29,37	18,97	23,12	94,64	59,64	78,19	20,54	10,69	1,63	0,00	0,50	3,93
15/12/2019	29,61	19,21	23,36	98,08	63,08	81,63	14,08	6,85	1,61	0,00	0,66	2,74
16/12/2019	29,97	19,57	23,72	91,39	56,39	74,94	20,01	10,74	1,62	0,00	0,50	3,40
17/12/2019	28,58	18,18	22,33	99,52	64,52	83,07	6,88	4,45	1,61	0,00	0,79	1,20
18/12/2019	26,85	16,45	20,60	100,00	65,00	87,45	12,74	7,76	1,61	0,00	0,71	2,70
19/12/2019	28,47	18,07	22,22	96,89	61,89	80,44	18,37	9,93	1,61	0,00	0,53	3,00
20/12/2019	28,73	18,33	22,48	97,21	62,21	80,76	19,25	10,86	1,61	0,00	0,53	3,21
21/12/2019	28,28	19,07	22,06	97,00	51,45	83,10	19,77	12,08	2,80	4,06	0,52	3,41
22/12/2019	23,94	18,63	20,60	99,40	77,96	91,20	10,14	6,20	1,79	4,06	0,76	1,77
23/12/2019	29,68	17,24	21,79	99,10	54,40	83,60	21,39	12,84	1,37	12,45	0,48	3,97
24/12/2019	28,22	16,77	22,23	97,80	47,31	75,26	29,30	15,75	1,90	0,25	0,29	5,34
25/12/2019	32,42	18,67	24,94	89,90	27,97	63,55	31,55	16,14	1,55	0,00	0,24	6,16
26/12/2019	32,15	19,89	25,31	89,60	28,75	59,60	29,49	14,24	1,71	0,00	0,29	5,75

27/12/2019	31,14	17,73	23,82	86,10	43,44	70,21	31,38	15,58	2,17	0,00	0,24	5,82
28/12/2019	32,59	19,85	24,74	88,30	43,17	71,40	28,02	12,97	2,00	0,76	0,32	5,33
29/12/2019	32,02	19,82	24,90	92,10	34,14	68,59	25,72	13,76	1,76	0,00	0,38	4,96
30/12/2019	31,88	18,77	24,76	89,90	38,79	68,20	28,89	14,54	1,69	0,00	0,30	5,58
31/12/2019	32,09	20,26	25,11	85,20	38,18	68,02	24,14	11,33	1,39	6,35	0,42	4,75
01/01/2020	32,26	19,53	24,51	97,70	42,73	76,82	24,40	14,85	1,65	12,45	0,41	4,69
02/01/2020	29,00	19,34	22,32	99,70	60,00	88,50	16,29	3,51	1,47	19,81	0,61	3,03
03/01/2020	26,62	18,77	21,58	99,60	63,36	83,70	21,84	13,32	2,21	0,00	0,47	3,85
04/01/2020	27,27	17,85	21,48	96,60	61,02	81,60	19,35	11,95	2,04	2,54	0,53	3,44
05/01/2020	27,23	18,02	19,96	99,40	64,18	89,80	11,77	7,11	1,27	8,13	0,71	2,10
06/01/2020	29,20	17,38	23,16	99,50	53,89	80,50	25,02	16,53	1,13	3,81	0,39	4,83
07/01/2020	30,59	21,04	24,92	98,30	53,28	78,70	23,99	14,10	1,86	0,00	0,42	4,60
08/01/2020	30,86	20,43	23,84	99,60	54,03	86,80	20,67	14,25	1,60	4,57	0,50	3,93
09/01/2020	28,83	21,37	23,55	99,30	69,47	91,90	14,04	9,76	0,91	31,24	0,66	2,74
10/01/2020	29,91	20,42	24,51	100,00	62,18	84,80	19,38	11,72	1,08	2,54	0,53	3,83
11/01/2020	28,73	21,51	24,99	97,00	64,48	83,30	13,11	6,80	1,07	0,00	0,68	2,60
12/01/2020	27,50	20,76	23,52	99,70	78,57	93,10	8,64	5,29	0,60	7,11	0,79	1,70

APÊNDICE B - Variáveis microclimáticas temperatura do ar média (*Tmed*), umidade relativa do ar média (*URmed*) e velocidade do vento ocorridas no interior da casa de vegetação durante os períodos experimentais. Botucatu, SP.

Variáveis climáticas interna - 1º Ciclo				Variáveis climáticas interna - 2º Ciclo			
<i>Data</i>	<i>Tmed</i>	<i>URmed</i>	<i>Vento</i>	<i>Data</i>	<i>Tmed</i>	<i>URmed</i>	<i>Vento</i>
	°C	%	m/s		°C	%	m/s
31/10/2019	24,41	67,70	0,00270	13/12/2019	23,26	80,93	0,00243
01/11/2019	23,52	69,22	0,00452	14/12/2019	22,63	79,84	0,02510
02/11/2019	24,55	65,06	0,00284	15/12/2019	22,87	83,28	0,00150
03/11/2019	26,31	60,25	0,00242	16/12/2019	23,23	76,59	0,01540
04/11/2019	26,50	61,77	0,00269	17/12/2019	21,84	84,72	0,00100
05/11/2019	23,88	75,58	0,00326	18/12/2019	20,11	89,10	0,00100
06/11/2019	19,77	84,95	0,00435	19/12/2019	21,73	82,09	0,00100
07/11/2019	21,41	78,31	0,00302	20/12/2019	21,99	82,41	0,00010
08/11/2019	20,35	91,05	0,00230	21/12/2019	21,60	85,47	0,00200
09/11/2019	21,72	85,35	0,00266	22/12/2019	20,34	93,10	0,00000
10/11/2019	20,71	88,45	0,00161	23/12/2019	21,48	84,97	0,00100
11/11/2019	21,60	81,15	0,00317	24/12/2019	21,88	75,91	0,00200
12/11/2019	21,07	75,40	0,00501	25/12/2019	24,57	63,49	0,00100
13/11/2019	21,72	78,96	0,00354	26/12/2019	24,81	59,42	0,00040
14/11/2019	21,04	90,95	0,00305	27/12/2019	23,33	70,73	0,00200
15/11/2019	21,76	86,85	0,00374	28/12/2019	24,15	73,36	0,00100
16/11/2019	19,85	68,24	0,00372	29/12/2019	24,45	68,93	0,00000
17/11/2019	19,52	64,78	0,00375	30/12/2019	24,30	68,89	0,00200
18/11/2019	20,14	74,82	0,00357	31/12/2019	24,53	70,45	0,00100
19/11/2019	21,37	78,53	0,00322	01/01/2020	23,83	80,05	0,00100
20/11/2019	21,76	76,66	0,00334	02/01/2020	21,76	91,17	0,00400
21/11/2019	23,18	72,27	0,00297	03/01/2020	21,18	84,84	0,01400
22/11/2019	23,19	74,57	0,00274	04/01/2020	21,16	82,47	0,00500
23/11/2019	23,58	71,60	0,00344	05/01/2020	19,62	91,27	0,01000

24/11/2019	17,05	81,95	0,00483	06/01/2020	22,33	84,46	0,00000
25/11/2019	18,45	74,58	0,00392	07/01/2020	24,46	80,08	0,00600
26/11/2019	21,79	76,69	0,00334	08/01/2020	23,51	87,51	0,00110
27/11/2019	20,23	97,95	0,00218	09/01/2020	23,20	93,22	0,00020
28/11/2019	18,90	94,55	0,00269	10/01/2020	23,84	87,46	0,00000
29/11/2019	19,78	77,72	0,00324	11/01/2020	24,09	87,29	0,00020
30/11/2019	22,15	82,25	0,00153	12/01/2020	22,82	95,64	0,00010
01/12/2019	22,15	84,35	0,00239	-	-	-	-
02/12/2019	19,42	82,75	0,00419	-	-	-	-
03/12/2019	19,86	74,81	0,00350	-	-	-	-
04/12/2019	22,07	80,93	0,00221	-	-	-	-
05/12/2019	21,90	94,05	0,00226	-	-	-	-

APÊNDICE C - Parcela experimental (A e B), vista de um bloco experimental com seis canteiros (C) e arranjo das caixas d'água e componentes do sistema de irrigação (D). Botucatu-SP. Fonte: arquivo pessoal.



APÊNDICE D - Válvulas solenóides NaanDanJain (Modelo S390-2W-4 24VAC) posicionadas no início de cada linha principal (A), linhas principais (B) e laterais (C) do sistema de irrigação e controlador dos tempos de irrigação (D), analisador de gás a infravermelho portátil (IRGA- MODELO LI-6400XT - LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA (E) e avaliação com o uso do equipamento (F). Botucatu-SP. Fonte: Arquivo pessoal.



APÊNDICE E - Detalhe das parcelas experimentais (A) e dos equipamentos tensiômetro, extratores de solução do solo e hastes de sensores TDR instalados nas parcelas experimentais (B). Botucatu-SP. Fonte: Arquivo pessoal.



APÊNDICE F - Detalhe das caixas d'água (A) e do sistema de irrigação (B).
Botucatu-SP. Fonte: Arquivo pessoal.



APÊNDICE G - Detalhe dos sensores de temperatura do solo instalados nas profundidades de 5, 10, 20 e 30 cm (A) e da estação de controle e armazenamento de dados de temperatura do solo (B). Botucatu-SP. Fonte: Arquivo pessoal.



APÊNDICE H - Avaliação do índice relativo de clorofila aos 21 dias após a aplicação das estratégias de irrigação (A) e resultado do tratamento Int2 N130 no IC de cultivo (B). Botucatu-SP. Fonte: Arquivo pessoal.

