



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



JAILSON LOPES DA PENHA

**MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE ALFACE HIDROPÔNICO SOB
SALINIDADE E ADUBAÇÃO FOLIAR COM SILÍCATO DE POTÁSSIO**

Campina Grande, PB

2021

JAILSON LOPES DA PENHA

**MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE ALFACE HIDROPÔNICO SOB
SALINIDADE E ADUBAÇÃO FOLIAR COM SILÍCATO DE POTÁSSIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento

Campina Grande, PB

2021

P399m

Penha, Jailson Lopes da.

Morfofisiologia e produção de alface hidropônico sob salinidade e adubação foliar com silicato de potássio / Jailson Lopes da Penha. – Campina Grande, 2024.

60 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento".

Referências.

1. Alface (*Lactuca sativa* L.,) Hidropônico – Cultura. 2. Fisiologia Vegetal. 3. Salinidade e Adubação Silicatada. 4. Irrigação e Drenagem. I. Nascimento, Ronaldo do. II. Título.

CDU 635.52(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

JAILSON LOPES DA PENHA

MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE
ALFACE HIDROPÔNICO SOB SALINIDADE E
ADUBAÇÃO FOLIAR COM SILÍCATO DE
POTÁSSIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola como
pré-requisito para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 16/12/2021

Ronaldo do Nascimento – Orientador – PPGEA/CTRN/UFCG

Maria Sallydelândia Sobral de Farias – Examinadora Interna - PPGEA/CTRN/UFCG

José Dantas Neto – Examinador Interno - PPGEA/CTRN/UFCG

Lauriane Almeida dos Anjos Soares - Examinadora Externa - CCTA/UFCG

José Alberto Ferreira Cardoso - Examinador Externo - IFTO



Documento assinado eletronicamente por **LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/02/2022, às 12:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RONALDO DO NASCIMENTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/03/2022, às 18:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 03/03/2022, às 17:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/05/2022, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2139075** e o código CRC **09A1AC51**.

Referência: Processo nº 23096.072863/2021-03.

SEI nº 2139075



Documento assinado digitalmente

JOSE ALBERTO FERREIRA CARDOSO

Data: 15/07/2024 19:22:51-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Ao meu avô, Jerônimo Lopes, pelo testemunho e inspiração.

A minha Mãe que é o puro Amor – Dona Gercina, e ao meu Pai que atende por trabalho – Seu Chico, este mesmo sem nunca ter frequentado escola sempre me dizia: “O que posso deixar para você é o saber”, e para tanto, nunca mediu esforços.

A minha esposa, Michelline Silva, pelo amor e companheirismo, e, aos meus Filhos, Juan e Arthur, porque literalmente ressignificaram minha Vida.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo!

A minha família, por me proporcionar tantos momentos felizes e de acolhimento sempre.

À Universidade Federal de Campina Grande, ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais por oportunizar sonhos de tantos que transformam Vidas.

Ao Professor Ronaldo, pela amizade, dedicação e orientação durante o curso.

As Professoras Sally e Lauriane, e os Professores Adalberto e Zé Dantas, pelo convívio, aprendizado compartilhado e as sugestões apresentadas.

Aos Professores, pelos ensinamentos transmitidos no decorrer do curso, em especial, aos professores Carlos, Vera e Geovani.

Aos funcionários que fazem o CTRN.

Aos meus amigos de Curso, Pietro, Adaan, Vanies, Mariana, Rafaela, Kecinha, Jailton, João Victor, Carlos, Robson, Rômulo, Benedito, Luderlândio e Richard, gratidão por tanta partilha, que os levo para toda Vida.

Aos Amigos que fazem parte da EMPAER-PB e da SEAFDS-PB, que tanto torceram pelo êxito neste Curso, demonstrando apoio, compreensão e servidão.

LISTA DE TABELAS

Capítulo II: Crescimento e produção de cultivares de alface crespa sob salinidade e adubação com silício

Pag.

Tabela 1. Resumo da análise de variância referente às variáveis de número de folhas (NF), diâmetro de caule (CC), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca total (MFT), massa seca das folhas (MSF) e massa seca total (MST) aos 15 dias após o transplântio.....	39
---	----

Capítulo III: Fisiologia e trocas gasosas de cultivares de alface sob distintas salinidade e adubação silicatada

Tabela 1. Resumo da análise de variância referente às variáveis condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de fotossíntese líquida (A), eficiência do uso de água (EUA) e concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência do uso da água (EUA), eficiência instantânea da carboxilação (EiC), clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Cl total) e carotenoides (Carot) de cultivares de alface aos 15 DAT.....	53
---	----

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II: Crescimento e produção de cultivares de alface crespa sob salinidade e adubação com silício

	Pag.
Figura 1. Vista frontal da estufa agrícola.....	33
Figura 2. Vista lateral da estufa agrícola.....	34
Figura 3. Vista frontal da Casa da solução.....	34
Figura 4. Vista de corte lateral da Casa da solução.....	35
Figura 5. Esquema de bombeamento e retorno da solução nutritiva.....	36
Figura 6. Número de folhas de alface (A) e diâmetro do caule (B) em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT.....	40
Figura 7. Massa fresca da parte aérea (A) e massa fresca total (B) em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT.....	41
Figura 8. Massa seca da parte aérea (A) e massa seca total (B) em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT.....	42

Capítulo III: Fisiologia e trocas gasosas de cultivares de alface sob distintas salinidades e adubação silicatada

Figura 1. Condutância estomática - g_s (A), taxa de fotossíntese líquida - A (B) transpiração - E (C) e eficiência do uso da água - EUA (D) em cultivares de alface cultivada em sistema hidropônico com solução nutritiva de diferentes salinidades, aos 15 dias após o transplante (DAT)	54
Figura 2. Concentração interna de CO_2 - C_i (A) e eficiência instantânea da carboxilação - E_iC (B) em função da salinidade da solução nutritiva aos 15 dias após do transplante.....	56
Figura 3. Clorofila a - Cl a (A), clorofila b - Cl b (B), clorofila total - Cl total (C) e carotenoides (D) em função da salinidade das soluções aos 15 DAT.....	57

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	xi
GENERAL ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Aspectos gerais da cultura da alface	16
2.2 Efeitos da salinidade na cultura da alface	17
2.3 Silício como atenuante dos efeitos deletérios da salinidade nas plantas	19
2.4 Sistema hidropônico na alface	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO 2: CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ALFACE CRESPA SOB SOLUÇÃO NUTRITIVA SALINA E ADUBAÇÃO COM APLICAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO	29
RESUMO	30
ABSTRACT	31
1 INTRODUÇÃO.....	32
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1 Localização e caracterização da área experimental	33
2.2 Delineamento experimental	36
2.3 Condução experimental	36
2.4 Preparo e manejo da solução nutritiva	37
2.5.1 Crescimento e componentes de produção.....	38
2.6 Análise estatística	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO 3: FISIOLOGIA DE CULTIVARES DE ALFACE SOB SALINIDADE DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E ADUBAÇÃO SILICATADA	46
RESUMO	47
ABSTRACT	48
1 INTRODUÇÃO.....	49
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52

4 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

PENHA, J. L. MORFOFISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE ALFACE HIDROPÔNICO SOB SALINIDADE E ADUBAÇÃO FOLIAR COM SILÍCATO DE POTÁSSIO. 2021. 60f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB.

RESUMO GERAL

Com base no cenário mundial corrente da demanda hídrica para manutenção de cultivos intensos e sucessivos, se faz necessária a busca por alternativas para o manejo correto da água a fim de reduzir seu desperdício. A hidroponia, por exemplo, tem se tornado alternativa viável para produção de hortaliças com uso de águas com qualidade inferior, sobretudo, em regiões semiáridas, em que são predominantes. Na busca por alternativas estão as substâncias biológicas ou sintéticas que gerem respostas fisiológicas e bioquímicas que promovam a adaptação das plantas às condições ambientais adversas, como o nutriente silício. Assim, objetivou-se estudar o crescimento, fisiologia e produção de cultivares de alface hidropônico submetidos à salinidade e adubação foliar à base de silício. O experimento, por sua vez, ocorreu entre os meses de setembro e outubro de 2021, na Propriedade Rural Vale dos Ipês, localizada no Município de São Mamede, PB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, o primeiro fator está relacionado a quatro condutividades elétricas da solução nutritiva (1,4; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m^{-1}) com duas concentrações de Si (silicato de potássio) (0,0 e 0,6 mM) e duas cultivares de alface crespa (Leila e Isabel), totalizando oito repetições. O experimento foi realizado em casa de vegetação com quatro bancadas de plantio hidropônico em sistema NFT (técnica de nutrientes em filme), espaçadas uma das outras em 0,50 m e perfis espaçados em 0,14 m e declividade de 5%. Foram avaliados o número de folhas, diâmetro do caule, a massa seca do caule e das folhas, as trocas gasosas, os pigmentos fotossintéticos e a produção. Constatou-se que a salinidade reduziu o crescimento das plantas de alface aos 15 dias após o transplantio a partir da CE de 2,4 dS m^{-1} . O uso de soluções nutritivas com CE até 2,4 dS m^{-1} é recomendado para a produção de alface. Os incrementos na condutividade elétrica da solução nutritiva acima de 2,4 dS m^{-1} aumentam os pigmentos fotossintetizantes das plantas de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; solução nutritiva; fisiologia, adubação silicatada

GERAL ABSTRACT

Based on the current global scenario of water demand to maintain intense and successive crops, it is necessary to search for alternatives for the correct management of water in order to reduce waste. Hydroponics, for example, has become a viable alternative for vegetable production using lower quality water, especially in semi-arid regions, where they are predominant. The search for alternatives includes biological or synthetic substances that generate physiological and biochemical responses that promote plant adaptation to adverse environmental conditions, such as the nutrient silicon. Thus, the objective was to study the growth, physiology and production of hydroponic lettuce cultivars subjected to salinity and silicon-based foliar fertilization. The experiment, in turn, took place between the months of September and October 2021, at the Vale dos Ipês Rural Property, located in the Municipality of São Mamede, PB. The experimental design was completely randomized in a $4 \times 2 \times 2$ factorial scheme, the first factor is related to four electrical conductivities of the nutrient solution (1.4; 2.0; 2.6 and 3.2 dS m^{-1}) with two concentrations of Si (potassium silicate) (0.0 and 0.6 mM) and two curly lettuce cultivars, Leila and Isabel, totaling eight replications. The experiment was carried out in a greenhouse with four hydroponic planting benches in the NFT system (nutrient film technique), spaced 0.50 m apart and profiles spaced 0.14 m apart and a slope of 5%. The number of leaves, stem diameter, dry mass of the stem and leaves, gas exchange, photosynthetic pigments and production were evaluated. It was found that salinity reduced the growth of lettuce plants 15 days after transplanting from an EC of 2.4 dS m^{-1} . The use of nutrient solutions with EC up to 2.4 dS m^{-1} is recommended for lettuce production. Increases in the electrical conductivity of the nutrient solution above 2.4 dS m^{-1} increase the photosynthetic pigments of lettuce plants.

Key words: *Lactuca sativa* L.; nutrient solution; physiology, silicate fertilizer

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa muito consumida no mundo, a produção mundial em 2018 totalizou 27,3 milhões de toneladas, em uma área de 1,27 milhão de hectares (FAO, 2020). Sua importância econômica, alimentar e seu consumo aumenta por causa da mudança no hábito alimentar da população e também por ser considerada uma boa fonte de vitaminas e sais minerais, além de apresentar baixo valor calórico (Monteiro et al., 2015).

O seu cultivo em sistema hidropônico NFT (Nutrient Film Technique) em ambiente protegido cresce cada vez mais em regiões áridas e semiáridas, principalmente, pela fácil adaptação da cultura, resultando em maiores rendimentos, com maior eficiência do uso da água e redução do ciclo produtivo em relação aos cultivos tradicionais (Ohse et al., 2001; Silva et al., 2010).

O cultivo em regiões quentes apresenta como um dos principais gargalos as condições edafoclimáticas locais (Diamanti et al., 2013). Muitas fórmulas de soluções nutritivas têm sido usadas e avaliadas quanto à produtividade das hortaliças em sistema hidropônico, porém, elevadas concentrações salinas da solução nutritiva com condições de altas temperaturas, umidade e luminosidade causam dificuldades na sua utilização, os possíveis distúrbios fisiológicos nas plantas podem ser considerados como os mais preocupantes, a exemplo da murcha excessiva nas horas mais quentes do dia, queima das bordas das folhas e perda na produtividade (Fernandes et al., 2018).

Pois, a salinidade da solução nutritiva é responsável por influenciar os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem ao longo do desenvolvimento da planta (Paulus et al., 2010), interferindo no comportamento, ocasionando efeitos osmóticos, tóxicos, de ordem nutricional que levam a redução do crescimento e podem ser potencializados pelo estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra no momento de exposição a salinidade da solução (Dias et al., 2011).

No entanto, o silício (Si) é um elemento benéfico que tem ganhado destaque como fertilizante para o enfrentamento do estresse abiótico (Santos et al., 2021). Pois, em resposta aos estresses auxilia na ação de defesa antioxidativa das plantas atuando no aumento da resistência estomática e reduzindo o dano oxidativo em moléculas funcionais (Crusciol et al., 2009; Gunes et al., 2007).

Segundo Lana et al. (2003), uma diversidade de espécies importantes na alimentação humana, incluindo gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, aveia, trigo, milho) e não gramíneas (feijão, repolho e alface) apresentam a capacidade de acumular silício em

seus tecidos, essas plantas absorvem o Si de forma passiva, sendo potencializado pelo fluxo em massa da água. A maior concentração de Si nas plantas se localiza em tecidos de suporte do caule e das folhas, sendo que 99% do elemento acumulado na forma de ácido silícico polimerizado, apresentando reduzida solubilização, conseqüentemente, baixa redistribuição (Menegale et al., 2015).

Dessa forma, a adubação silicatada pode resultar em benefícios às culturas agrícolas, tais como: resistência às doenças e pragas, resistência à toxidez provocada por metais no solo, menor evapotranspiração, promoção de nodulação em leguminosas, aumento da atividade enzimática, efeitos na composição mineral, dentre outros (Epstein, 2001).

O uso do Si como atenuante da salinidade nas plantas vem sendo o foco de várias pesquisas ao longo dos anos em algumas culturas, como milho, algodão, soja, tomate (Guo et al., 2001; Curvelo et al., 2013; Pereira et al., 2009; Ludwig et al., 2015) porém, seus efeitos no cultivo da alface ainda são escassos, de modo que são essenciais informações sobre a cultura, sobretudo, as que relacionam os efeitos da salinidade da água em cultivo hidropônico.

Diante disso, objetivou-se avaliar o crescimento, produção, trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos de cultivares de alface hidropônico submetidos à salinidade e adubação foliar à base de silício.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa, pertence à família *Asteraceae* (Bonett et al., 2019), é um dos produtos vegetais mais importantes, mais comercializados e consumidos no mundo (Menezes et al., 2016; Moreira et al., 2014), principalmente, por ser uma boa fonte de vitaminas (A1, B1, B2, B5 e C) e minerais (Ca, Fe, Mg, P, K e Na), além de apresentar conteúdo calórico reduzido (Menezes et al., 2001).

Atualmente, a alface ocupa uma área plantada de 49,9% de todas as folhosas produzidas no Brasil. A área pode ultrapassar 86,8 mil hectares cultivados por mais de 670 mil produtores, com volume produzido de 575,5 mil toneladas (Pessoa; Machado Junior, 2021). Segundo dados do último censo agropecuário, no país a produção foi de 671.509 toneladas, sendo São Paulo o maior produtor, a Paraíba, por sua vez, produziu 6.548 toneladas, tendo Alagoa Nova a maior produção (IBGE, 2017).

No Brasil, é a principal hortaliça produzida e comercializada, sendo consumida como salada, é um alimento de ciclo rápido, por isso, carrega pesquisadores com novas técnicas, para otimizar a produção e garantir a sustentabilidade ambiental nas áreas agrícolas (Moreira et al., 2014).

Dentre as regiões brasileiras, o Nordeste cresce em área cultivada com essa hortaliça, mas apresenta limitações ao seu cultivo devido ao seu clima de características tropicais, tendo em vista, a insolação e, conseqüentemente, as elevadas temperaturas do solo nos períodos mais quentes do dia (Moreira et al., 2014). As condições favorecem o pendoamento precoce, tornando as folhas leitosas e amargas, perdendo seu valor comercial (Filgueira, 2003).

Porém, com a disponibilidade de numerosas cultivares de alface melhoradas e com a cultura sob casa de vegetação, implantada no solo ou em hidroponia, a oferta do produto se estabiliza ao longo do ano, pois, no campo, o ciclo da alface varia de 65 a 80 dias, da semeadura à colheita, enquanto em estufa, o ciclo é reduzido de 45 a 50 dias (Filgueira, 2013).

O desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de cultivo do território nacional tem sido efetivado por meio de programas de melhoramento genético de alface desenvolvidos por empresas nacionais e instituições de pesquisa (Sala; Costa, 2012). Conforme Filgueira (2008), o uso de novas tecnologias de cultivo contribuem para o aumento da produção da hortaliça, sendo o cultivo hidropônico o mais utilizado atualmente, pois, embora sejam plantas de regiões temperadas, a entrada de cultivares

melhoradas geneticamente proporciona seu cultivo em climas tropicais, com disponibilidade da cultura durante todo o ano.

Assim, sabe-se que os fatores climáticos podem interferir de forma favorável ou desfavorável na produção de hortaliças (Santos et al., 2010), pois a intensidade luminosa afeta o desenvolvimento. Entretanto, quando conduzidas dentro de uma variação ótima de luz, dentre outros fatores positivos, a fotossíntese é elevada (Ribeiro et al., 2007) e a quantidade de matéria seca acumulada é alta (Bezerra Neto et al., 2005).

O estudo da fisiologia do seu ciclo de desenvolvimento compreende as fases vegetativa e reprodutiva como influenciadas pelos fatores climáticos. Na fase vegetativa, a planta desenvolve caule curto (10 a 15 cm de comprimento), ao redor nascem as folhas formando uma roseta, o encerramento ocorre quando a cabeça está completamente desenvolvida. Na sequência, inicia-se a fase reprodutiva, na qual o caule sofre alongamento e se ramifica, cada ramificação forma uma inflorescência (Tibiriçá et al., 2004).

As cultivares de alface disponíveis são diversas e podem ser classificadas basicamente pelas características, tais como: formato da folha, tamanho e coloração das plantas (Suinaga et al., 2013). Logo, as cultivares de alface podem ser agrupadas em seis diferentes tipos, a citar: repolhuda manteiga, repolhuda crespa (americana), solta lisa, solta crespa, mimosa e romana, de acordo com o tipo de folha e a formação ou não da cabeça repolhuda (Santos et al., 2011).

2.2 Efeitos da salinidade na cultura da alface

No Brasil, é crescente o número de áreas com solos afetados por sais, principalmente, no Nordeste, por ser uma região caracteristicamente semiárida, o manejo inadequado da irrigação e a qualidade da água, associada à evaporação e temperaturas altas, contribuem para a salinização do solo e redução da produtividade das plantas (Sá et al., 2016; Brito et al., 2018).

O efeito do estresse salino sobre as plantas é consequência de dois componentes distintos, a citar: osmótico resultante da elevada concentração de solutos na solução do solo, que provoca um déficit hídrico pela redução do potencial osmótico e do iônico decorrente dos elevados teores de sódio (Na^+) e cloro (Cl^-), e da alteração na relação Na^+/K^+ (Mendes et al., 2011).

As adversidades em cultivo sob estresse salino ocorrem devido o excesso de sais na água, ocasionando efeitos negativos na planta, como a redução na disponibilidade de água,

ou seja, efeito osmótico, desequilíbrio nutricional e toxicidade de íons específicos, especialmente, o sódio (Na^+) e o cloro (Cl^-) em altas concentrações, que comprometem os rendimentos morfológicos e fisiológicos (Taiz et al., 2017).

A cultura da alface é classificada como “moderadamente sensível” à salinidade do solo, apresentando salinidade limiar de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ e redução no rendimento de 13% para cada acréscimo unitário na salinidade acima do limiar (Ayers; Westcot, 1999). No entanto, essa tolerância depende do cultivar, do estágio fenológico, do tipo de saís, da intensidade e duração do estresse salino (Taiz et al., 2017), logo, um dos problemas que podem afetar o pleno desenvolvimento dessa cultura é a utilização de água salina, que poderá inibir o crescimento vegetal por efeito osmótico.

Sobre o tema, Ayers e Westcot (1999) ressaltam que, os valores que apresentam devem ser considerados apenas como de tolerância relativa entre grupos de cultura, tendo em vista que, a tolerância das culturas varia em função de vários fatores como o estágio de desenvolvimento da cultura, cultivar, condições climáticas e manejo, por exemplo.

No entanto, a classificação da alface proposta por Ayers e Westcot (1999), como cultura “moderadamente sensível” a salinidade, é contestada por pesquisadores (Rodrigues, 2002; Resh, 1992) especializados em hidroponia, que indicam a alface como hortaliça tolerante à salinidade. Pasternak et al. (1986), por exemplo, encontraram um valor de salinidade limiar igual a $1,98 \text{ dS m}^{-1}$, que proporcionou uma diminuição no rendimento da cultura de 5,6% para cada aumento unitário na salinidade acima do limiar. Segundo os autores, essa divergência entre os resultados pode ser pela diferença na condução de manejo da cultura, reclassificando como plantas resistentes a saís.

Oliveira et al. (2011), ao avaliarem o desempenho de cultivares de alface em condições de salinidade observaram uma redução no desenvolvimento das plantas com o aumento da salinidade da água, mas que, o nível de resposta variou entre as cultivares estudadas. Semelhante ao que ocorreu na pesquisa de Rodrigues et al. (2015), a utilização de níveis crescentes de saís na água de irrigação influenciou o desenvolvimento das cultivares, diminuindo linearmente a massa da parte aérea fresca, a massa da parte aérea seca, o número de folhas e a massa da raiz seca, além da evapotranspiração das cultivares de alface, que foi reduzida com os níveis crescentes de saís na água de irrigação.

Dias et al. (2011) avaliando a resposta de cultivares de alface à salinidade da solução nutritiva com rejeito salino em hidroponia, também concluíram que as duas cultivares de alface estudadas mostraram-se sensíveis ao incremento da salinidade da

solução nutritiva com rejeito salino, reduzindo o número de folhas, a área foliar e a massa de matéria fresca e seca da parte aérea, para as duas cultivares estudadas.

Sousa et al. (2020) ao estudarem o uso de diferentes concentrações salinas da solução nutritiva na produção de cultivares de alface em cultivo hidropônico observaram que, as cultivares Bruma e Astra apresentaram melhor desempenho produtivo com a condutividade elétrica da solução nutritiva (CEs) de 1,31 e 1,03 dS m⁻¹ respectivamente, valores superiores ocasionaram redução dos valores de massa fresca e perímetro da cabeça.

Como a tolerância da alface muda em função de vários fatores, o método de cultivo também pode ser considerado para viabilizar o uso de água salinas, como a técnica de cultivo hidropônico associada ao uso de soluções nutritivas suplementadas com silício.

2.3 Silício como atenuante dos efeitos deletérios da salinidade nas plantas

É um elemento químico considerado não essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas tem sido associado a diversos efeitos benéficos, como baixo coeficiente de transpiração, melhor aproveitamento da água, maior teor de clorofila e rigidez estrutural dos tecidos, com o aumento da resistência mecânica das células, deixando as folhas mais eretas e elevando a área fotossintética e a absorção de CO₂ (Ferraz et al., 2015; Costa et al., 2016).

A adubação silicatada vem demonstrando potencial para aumentar a produção de algumas culturas e reduzir anomalias fisiológicas mantendo a integridade celular das plantas (Galati et al., 2015; Cantuário et al., 2014). Barbosa Filho et al. (2001) afirmam que, na alface o Si atua também na parte estrutural das plantas, na síntese de hemicelulose e lignina presentes nas paredes celulares, que deixam as células mais rígidas e, conseqüentemente, aumentam a firmeza das folhas.

O Silício é absorvido pelas plantas através das raízes ou via foliar na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄) (Epstein, 2006). Após absorção, atua no mecanismo transpiratório e graças a uma camada dupla de sílica cuticular, minimiza a perda de água durante o período pós-colheita (Faria, 2000). A pulverização foliar, a fertirrigação ou introdução do elemento na composição da solução nutritiva em hidroponia tem sido recomendada, sobretudo, em hortaliças folhosas como a alface, que é uma cultura de ciclo curto (Resende; Yuri, 2017). Para atender às necessidades das plantas de Si, existem várias fontes do elemento, como o silicato de potássio, silicato de sódio, ácido monossilícico, silicato de cálcio, silicato de magnésio e o metassilicato de sódio (Currie; Perry, 2007).

Segundo Marschner (1995), de acordo com sua capacidade de absorver e acumular silício nos tecidos as plantas podem ser classificadas em três grupos, a citar: Plantas acumuladoras, que possuem teor elevado de silício, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica, arroz e a cana-de-açúcar são exemplos desse grupo; Plantas não acumuladoras, com baixo teor de Si, mesmo contendo altas concentrações no meio, indicando um mecanismo de exclusão e com maior ocorrência nas dicotiledôneas como a alface, por exemplo; Plantas intermediárias, que acumulam quantidades consideráveis de Si, quando há alta concentração no meio.

Em plantas cultivadas sob condições de estresse salino, presume-se que o Si poderia melhorar a fotossíntese mantendo a integridade dos órgãos fotossintéticos, aumentar a taxa de utilização de CO₂ nas plantas, regular a homeostase de íons através da mediação da absorção, transporte e compartimentação de Na⁺ e expressão correspondente do gene. Além de regular a atividade/concentração de antioxidantes enzimáticos e/ou não enzimáticos e o acúmulo endógeno de poliamina para aliviar os danos oxidativos causados pelo estresse de salino, aprimora a condutância hidráulica das raízes, regulando as atividades das aquaporinas, que melhora a capacidade osmorregulatória, contribuindo para aumento na captação e transporte de água, homeostase de íons e diminui o dano oxidativo através da regulação do metabolismo da poliamina (Zhu; Gong; Yin, 2019).

Lemos Neto et al. (2018), avaliando o potencial do silício como atenuador dos efeitos deletérios do estresse salino na germinação e no crescimento inicial de cinco cultivares de alface, notaram que quando o silício foi adicionado aos tratamentos com NaCl, os efeitos do estresse salino foram reduzidos, resultando em maiores valores para a germinação e as variáveis de crescimento.

Galati et al. (2015), analisando o efeito da aplicação de silício em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana 'Lucy Brown' minimamente processada, verificaram que a concentração de 84 mg L⁻¹ de silício, propiciou maior firmeza das folhas das alfaces minimamente processadas, deixando-as mais túrgidas e conservando sua vida útil por 16 dias.

Neves et al. (2020), estudando sobre o silício no crescimento e desenvolvimento de plantas de alface cultivadas em vasos, constataram efeito contrário, o aumento da concentração de silício até a dose de 5,6 mmol L⁻¹ na solução nutritiva reduziu o crescimento e desenvolvimento das plantas de alface, entretanto, a intensidade desse efeito varia de uma cultivar para outra.

Estudos com silício em condição de salinidade demonstram efeitos positivos em outras culturas, como na germinação e crescimento inicial de tomate (*Solanum lycopersicum*) e de melãozinho (*Momordica charantia*) (Wang et al., 2010; Almutairi, 2016). Almutairi (2016), sugeriu que a maior capacidade de tolerar o estresse nas mudas de tomate que receberam Si poderia estar relacionado com a transcrição e ativação da resposta de genes para este tipo de estresse. Tuna (2008) e Gurmani et al. (2013), trabalhando com trigo sob condições salinas também relataram efeitos positivos da suplementação com silício para diminuição dos efeitos nocivos da salinidade.

2.4 Sistema hidropônico na alface

A depleção quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos nos últimos anos tem conduzido à busca de técnicas para uso mais eficiente da água e para aproveitamento racional de águas consideradas de qualidade inferior (Alves et al., 2011) visando, principalmente, uma alternativa para comunidades isoladas do Semiárido, onde a escassez de água doce se torna um problema ainda mais dramático, mas, de acordo com algumas pesquisas a técnica da hidroponia pode ser uma resolução (Alves et al., 2011).

A hidroponia é o cultivo de plantas em meio líquido, associado ou não a substratos não orgânicos naturais, com adição de uma solução nutritiva necessária ao desenvolvimento da cultura (Aquino et al., 2017). O uso de soluções nutritivas preparadas com água de baixa qualidade ou o reuso de soluções nutritivas são consideradas possibilidades para a cultura da alface (Paulus et al., 2012).

Embora seja conhecida como planta típica de clima temperado, a alface possui cultivares melhoradas geneticamente com maior tolerância as temperaturas elevadas, o que possibilita seu cultivo todo ano em países de clima tropical (Aquino et al., 2017).

O cultivo em ambiente protegido tem crescido em regiões áridas e semiáridas em razão da adaptação da cultura, que resulta em maiores rendimentos, com maior eficiência do uso da água e redução do ciclo produtivo em relação aos cultivos tradicionais (Ohse et al., 2001; Silva et al., 2010).

Nos sistemas de cultivo em solo, o potencial mátrico tem grande contribuição na diminuição do potencial total da água (Cardoso; Klar, 2009), dificultando a absorção de águas pelas plantas, esta diminuição é ainda maior quando o potencial mátrico soma-se ao potencial osmótico das águas salobras (Santos et al., 2010).

Segundo Soares et al. (2007), uma opção para se dispor o rejeito da dessalinização, é a sua aplicação na solução nutritiva em cultivos hidropônicos de hortaliças, já que a

tolerância das plantas à salinidade em sistemas hidropônicos é maior em relação ao sistema convencional, pois a inexistência do potencial mátrico sobre o potencial total da água irá reduzir a dificuldade de absorção de água pelas plantas. Nesse sentido, espera-se que em sistemas hidropônicos, em especial, para culturas de ciclo rápido, proporcionem o uso sustentável de águas residuárias do processo de dessalinização, garantido também a produção de alimentos para as comunidades em que têm sido implantadas as estações de tratamento (Dias et al., 2011).

Silva et al. (2018) avaliando a viabilidade técnica da utilização de águas subterrâneas salobras do Semiárido e do Recôncavo Baiano na produção hidropônica de alface, concluíram que, é viável tecnicamente para produção de alface, com aspectos positivos quanto a produção relativa da massa de matéria seca da parte aérea.

Moraes et al. (2014), observando os efeitos do uso de rejeito salino e solução nutritiva em alface cultivada em sistema hidropônico, verificaram que o rejeito da dessalinização da água pode ser usado para produção de alface em sistema hidropônico na proporção de 23% em solução nutritiva, sem comprometer a massa seca da parte aérea.

Assim, cultivo hidropônico representa uma alternativa ao cultivo convencional, com vantagens para o consumidor, para o produtor e para o ambiente, com a obtenção de produtos de alta qualidade, com ciclo curto, maior produtividade, menor gasto de água, de insumos agrícolas e de mão de obra (Paulus et al., 2012). Além de poder permitir melhor eficiência no uso da água, devido à redução das perdas por evaporação, a hidroponia pode amplificar a vantagem da irrigação localizada, no que diz respeito ao menor efeito da salinidade sobre as plantas, reduzindo ainda os riscos ambientais associados ao acúmulo de sais no ambiente (Alves et al., 2011).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almutairi, Z. M. Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. *POJ*, v.9, p.106-114, 2016.
- Alves, M. S.; Soares, T. M.; Silva, L. T.; Fernandes, J. P.; Oliveira, M. L. A.; Paz, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.421-498, 2011.
- Aquino, C. F.; Silva, H. P. da; Neves, J. M. G.; Costa, C. A.; Aquino, F. F.; Costa, C. P. M. de. Desempenho de cultivares de alface sob cultivo hidropônico nas condições do norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, p.1382-1388, 2017.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. FAO. (Estudos Irrigação e Drenagem, 29)
- Barbosa Filho, M. P.; Snyder, G. H.; Fageria, N. K.; Datnoff, L. E.; Silva, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.325-330, 2001.
- Bezerra Neto, F.; Rocha, R. C. C.; Negreiros, M. Z.; Rocha, R. H.; Queiroga, R. C. F. Produtividade de alface em função de condições de sombreamento, temperatura e luminosidade elevadas. *Horticultura Brasileira*, v.23, p.189-192, 2005.
- Bonett, L. P.; Oliveira, K. M.; Kabayashi, G. H.; Gino, B. G.; Magalhães, H. M.; Cruz, R. M. S. Produtividade da alface cv. Isabela® sob aplicação de fontes e doses de fertilizantes líquidos. *Colloquium Agrariae*, v.15, p.74-81, 2019.
- Brito, M. E.; Soares, L. A.; Soares Filho, W. S.; Fernandes, P. D.; Silva, E. C.; Sá, F. V.; Silva, L. A. Emergence and morphophysiology of Sunki mandarin and other citrus genotypes seedlings under saline stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v.16, e0801, 2018.
- Cantuário, F. S.; Luz, J. M. Q.; Pereira, A. I. A., Salomão, L. C.; Rebouças, T. N. H. Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. *Horticultura Brasileira*, v.32, p.215-219, 2014.
- Cardoso, G. G. G.; Klar, A. E. Potenciais de água no solo na produção de alface. *Irriga*, v.14, p.170-179, 2009.
- Costa, B. N. S.; Costa, I. J. S.; Dias, G. M. G.; Assis, F. A.; Pio, L. A. S.; Soares, J. D. R.; Pasqual, M. Morpho-anatomical and physiological alterations of passion fruit fertilized with silicone. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.53, p.163-171, 2016.
- Crusciol, C. A. C.; Pulz, A. L.; Lemos, L. B.; Soratto, R. P.; Lima, G. P. P. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Science*, v.49, p.949-954, 2009.
- Currie, H. A.; Perry, C. C. Silica in plants: biological biochemical and chemical studies. *Annals of Botany*, v.100, p. 1383-1389, 2007.

- Curvelo, C. R. S.; Rodrigues, F. Á.; Pereira, L. F.; Silva, L. C.; Damatta, F. M.; Berger, P. G. Leaf gas exchange and oxidative stress on cotton plants supplied with silicon and infected by *Ramularia areola*. *Bragantia*, v.72, p.346-359, 2013.
- Diamante, M. S.; Seabra Júnior, S.; Inagaki, A. M.; Silva, M. B. da; Dallacort, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. *Revista de Ciências Agronômicas*, v.44, p.133-140, 2013.
- Dias, N. S. da; Sousa Neto, O. N. de; Cosme, C. R.; Jales, A. G. O. de; Rebouças, J. R. L.; Oliveira, A. M. de. Resposta de cultivares de alface à salinidade da solução nutritiva com rejeito salino em hidroponia. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.991-995, 2011
- Dias, N. S.; Jales, A. G. O.; Sousa Neto, O. N.; Gonzaga, M. I. S.; Queiroz, I. S. R.; Porto, M. A. F. Uso de rejeito da dessalinização na solução nutritiva da alface, cultivada em fibra de coco. *Revista Ceres*, v.58, p.632-7, 2011.
- Epstein, E. Silicon in plants: Facts vs. Concepts. In: Datnoff, L. E.; Snyder, G. H.; Korndörfer, G. H. (ed.). *Silicon on Agriculture*. Amsterdam: Elsevier Science p.1-15, 2001.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- FAO - Food and Agricultural Organization - Statistical Yearbook. New York, 2020. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#home> >. Acesso em: 25 set. 2021.
- Faria, R. Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000. 125f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras. Viçosa, 2000.
- Fernandes, J. M. P.; Fernandes, A. L. M.; Dias, N. S. da; Cosme, C. R.; Nascimento, L. V.; Queiroz, I. S. R. de. Salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema hidropônico NFT. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.2570-2578, 2018.
- Ferraz, R. L. S.; Magalhães, I. D.; Beltrão, N. E. M.; Melo, A. S.; Brito Neto, J. F.; Rocha, M. S. Photosynthetic pigments, cell extrusion and relative leaf water content of the castor bean under silicon and salinity. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.841–848, 2015.
- Filgueira, F. A. R. *Novo manual de olericultura*. 3.ed. Viçosa: UFV, 2008. 300p.
- Filgueira, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. 421p.
- Filgueira, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003, 412p.

- Galati, V. C.; Guimarães, J. E. R.; Marques, K. M.; Fernandes, J. D. R.; Cecílio Filho, A. B.; Mattiuz, B. H. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana '*Lucy Brown*' minimamente processada. *Ciência Rural*, v.45, p.1932-1938, 2015.
- Gunes, A.; Inal, A.; Bagci, E. G.; Coban, S. Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. *Journal of Plant Interactions*, v.2, p.105-113, 2007.
- Guo, Y.; Marschner, H. Uptake, distribution, and binding of cadmium and nickel in different plant species. In: Ferreira, M. E. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p.58-70, 2001.
- Gurmani, A. R.; Bano, A.; Najeeb, U.; Zhang, J.; Khan, S. U.; Flowers, T. J. Exogenously applied silicate and abscisic acid ameliorates the growth of salinity stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through Na⁺ exclusion. *Australian Journal of Crop Science*, v.7, p.1123-1130, 2013.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PAB – Produção Agropecuária Brasileira. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/alface/pb>> Acesso em: 19 de outubro de 2021.
- Lana, R. M. Q.; Korndorfer, G. H.; Zanão Júnior, L. A.; Silva, A. F.; Lana, A. M. Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. *Bioscience Journal*, v.19, p.15-20, 2003.
- Lemos Neto, H. S. de; Guimarães, M. A. de; Sampaio, I. M. G.; Hendges, R. A. A. de; Oliveira, A. B. de; Medeiros Filho, S. de. Silicon (Si) reduces the effects of salt stress on germination and initial growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Australian Journal of Crop Science*, v.12, p.1410-1418, 2018.
- Ludwig, F.; Behling, A. Schmitz, J. A. K. Silício na produção e qualidade fitossanitária do tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Scientia Agraria Paranaensis*, v.14, p. 60-66, 2015.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889 p
- Mendes, B. S. S. da; Willadino, L.; Cunha, P. C. da; Oliveira Filho, R. A. de; Camara, T. R. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. *Revista Caatinga*, v.24, p.71-77, 2011.
- Menegale, M. L. C.; Castro, G. S. A.; Mancuso, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. *Journal of Agronomic Sciences*, v.4, p.435-454, 2015.
- Menezes, N. B.; Moreira, M. A.; Souza, I. M. de; Bianchini, F. G. Crescimento e produtividade de alface sob diferentes tipos de cobertura do solo. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.10, p.123 - 129, 2016.
- Menezes, N. L.; Santos, O. S.; Schmidt, D. Lettuce seed production in hydroponic system. *Ciência Rural*, v.31, p.705-706. 2001.

- Monteiro, A. V. V. M.; Vegro, C. L. R.; Ferreira, C. R. R. P. T.; Barbosa, M. Z.; Nachiluk, K.; Ramos, R. C.; Miura, M.; Fagundes, P. R. S.; Silva, R. O. P. E. de; Filho, W. P. C. de; Carvalho, Y. M. C. de. A Produção da Agropecuária Paulista: considerações frente à anomalia climática. *Análises e Indicadores do Agronegócio*, v.10, p.1-16, 2015.
- Moraes, D. P. de; Fernandes, A. L. M.; Dias, N. S. da; Cosme, C. R.; Souza Neto, O. N. de. Rejeito salino e solução nutritiva em alface cultivada em sistema hidropônico. *Magistra*, v.26, p.353-360, 2014.
- Moreira, M. A.; Santos, C. A. P.; Lucas, A. A. T.; Bianchini, F. G.; Souza, I. M.; Viégas, P. R. A. Lettuce production according to different sources of organic matter and soil cover. *Agricultural Sciences*, v.5, p.99-105, 2014.
- Neves, M. G.; Pinheiro, S. M. G.; Cardoso, F. L.; Machado, R. S. dos; Mambri, A. P. S. de; Andriolo, J. L. Silício no crescimento e desenvolvimento de plantas de alface em cultivo fora do solo. *Brazilian Journal of Development*, v.6, p.2330-2337, 2020.
- Ohse, S.; Dourado Neto, D.; Manfron, P. A.; Santos, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidas em hidroponia. *Scientia Agrícola*, v.58, p.181-185, 2001.
- Oliveira, F. A. de; Carilho, M. J. S. O. de; Medeiros, J. F. de; Maracajá, P. B.; Oliveira, M. K. T. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.771-777, 2011.
- Pasternak, D.; Malach, Y.; Borovic, I.; Shram, M.; Aviram, C. Irrigation with brackish water under desert conditions IV. Salt tolerance studies with lettuce (*Lactuca sativa* L.), *Agricultural Water Management*, v.11, p.303-311, 1986.
- Paulus, D.; Dourado Neto, D.; Frizzone, J. A.; Soares, T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia água salina. *Revista Horticultura Brasileira*. v.28, p.29-35, 2010.
- Paulus, D.; Paulus, E.; Nava, G. A.; Moura, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. *Revista Ceres*, v.59, p.110-117, 2012.
- Pereira, S. C.; Rodrigues, F. A.; Carré-Missio, V.; Oliveira, M. G. A.; Zambolim, L. Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. *Tropical Plant Pathology*, v.34, p.164-170, 2009.
- Pessoa, H. P.; Machado Junior, R. Folhosas: Em destaque no cenário nacional. *Revista Campo & Negócios*. 2021. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/folhosas-em-destaque-no-cenario-nacional/>> Acesso em: 20 de outubro de 2021.
- Resende, G. M. de; Yuri, J. E. Silício: a ferramenta contra doença nas hortaliças. *Boletim Técnico – Campo & Negócios*, v.12, p.56-58, 2017. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/silicio-e-ferramenta-contra-doencas-das-folhosas/>. Acesso em: 20 de outubro de 2021.

- Resh, H. M. Cultivos Hidropônicos: nuevas técnicas de producción. 3. ed. Madri: Mundi-Prensa. 1992. 369p.
- Ribeiro, M. C. C.; Benedito, C. P.; Lima, M. S. de; Freitas, R. S. de; Moura, M. C. F. da. Influência do sombrite no desenvolvimento da alface em cultivo hidropônico. Revista Verde, v.2, p.69-72, 2007.
- Rodrigues, L. R. F. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 726p.
- Rodrigues, R. R.; Bertossi, A. P. A.; Garcia, G. O. de; Almeida, J. R. de; Silva, E. A. da. Salinidade no desenvolvimento de cultivares de alface. Agrarian Academy, Centro Científico Conhecer, v.2, p.70-81, 2015.
- Sá, F. V. S., Paiva, E. P., Torres, S. B., Brito, M. E. B., Nogueira, N. W., Frade, L. J. G.; Freitas, R. M. O. de. Seed germination and vigor of diferente cowpea cultivars under salt stress. Comunicata Scientiae, v.7, p.450-455, 2016.
- Sala, F. C.; Costa, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. Horticultura Brasileira, v.30, p.187-194, 2012.
- Santos, A. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Silva, D. J. R.; Montenegro, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.961-969, 2010.
- Santos, C. M. dos; Endres, L.; de Araújo Gomes, T. C.; Jadoski, C. J.; de Nascimento, L. A.; dos Santos, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v.3, p.1-8, 2010.
- Santos, D.; Mendonça, R. M. N.; Silva, S. M.; Espínola, J. E. F.; Souza, A. P. Produção comercial de cultivares de alface em bananeiras. Horticultura Brasileira, v.29, p.609-612, 2011.
- Santos, L. C. dos; Silva, G. A. M. da; Abranches, M. O. de; Rocha, J. L. A.; SILVA, S. T. A. de; Ribeiro, M. D. S.; Gomes, V. R.; Severo, P. J. S. da; Brilhante, C. L.; Sousa, F. Q. de. O papel do silício nas plantas. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v.10, e3810716247, 2021.
- Santos, L. L.; Seabra Junior, S.; Nunes, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. Revista de Ciências Agro-Ambientais, v.8, p.83- 93, 2010.
- Silva, D. R. G.; Rodrigues, L.; Macedo, F. S.; Carlos, L.; Veiga, A. D.; Faquin, V.; Souza, M. A. S. Desenvolvimento de cebolinha em cultivo hidropônico em função de doses de boro e zinco. Magistra, v.22, p.64-70, 2010.

- Silva, J. S. da; Paz, V. P. S. da; Soares, T. M.; Almeida, W. F. de; Fernandes, J. P. Production of lettuce with brackish water in NFT hydroponic system. *Semina: Ciências Agrárias*, v.39, p.947-962, 2018.
- Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Duarte, S. N.; Melo, R. F.; Jorge, C. A.; Bonfim-Silva, E. M. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. *Irriga*, v.12, p.235-248, 2007.
- Sousa, J. I. de; Freitas, C. A. S. de; Santos, F. G. B. dos; Saraiva, K. R.; Carvalho, C. M. de; Cunha, L. S. de; Freitas, R. M. O. de. Utilização de diferentes concentrações salinas da solução nutritiva na produção de cultivares de alface em cultivo hidropônico. *Research, Society and Development*, v.9, e4299108606, 2020.
- Suinaga, F. A; Boiteux, L. S.; Cabral, C. S.; Rodrigues, C. S. Métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal crespa. Embrapa Hortaliças, (Comunicado técnico). 2013.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- Tibiriçá, A. C. G.; Brito, A. A. A.; Baêta, F. C. Produção de alface no verão: estufas como ambiente de cultivo. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, Novembro de 2004.
- Tuna, A.; Kaya, C.; Higgs, D.; Murillo-Amador, B.; Aydemir, S.; Girgin, A.R. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany*, v.62, p.10-16, 2008.
- Wang, X. D.; Ou-Yang, C.; Fan, Z. R.; Gao, S.; Chen, F.; Tang, L. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, v.6, p.700-708, 2010.
- Zhu, Y. X.; Gong, H. J.; Yin, J. L. Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: A review. *Plants*, v.8, p.147-170, 2019.

**CAPÍTULO 2: CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ALFACE CRESPA SOB
SOLUÇÃO NUTRITIVA SALINA E ADUBAÇÃO COM APLICAÇÃO FOLIAR DE
SILÍCIO**

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CULTIVARES DE ALFACE CRESPA SOB SALINIDADE E ADUBAÇÃO COM SILÍCIO

RESUMO

O cultivo hidropônico se apresenta como uma alternativa viável à produção de hortaliças com uso de águas salinas, sobretudo, em regiões semiáridas, pois são predominantes. Com potencial de reduzir os efeitos causados pela salinidade o silício é apontado como promissor em aumentar a tolerância das plantas. Nesse sentido, objetivou-se estudar o crescimento e a produção de cultivares de alface sob solução nutritiva salina e aplicação de silício. O experimento foi conduzido entre os meses de setembro e outubro de 2021, na Propriedade Rural Vale dos Ipês, localizada no Município de São Mamede, PB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, sendo o primeiro relacionado a quatro condutividades elétricas da solução nutritiva (1,4; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m^{-1}) com duas concentrações de Si (silicato de potássio) (0,0 e 0,6 mM) e duas cultivares de alface crespa, Leila e a Isabel, com oito repetições. O experimento foi realizado em casa de vegetação com quatro bancadas de plantio hidropônico em sistema NFT (técnica de nutrientes em filme), espaçadas uma das outras em 0,50 m e perfis espaçados em 0,14 m e declividade de 5%. Os dados apontam que, a salinidade reduziu o crescimento das plantas de alface aos 15 dias após o transplântio a partir da CE de 2,4 dS m^{-1} . E que soluções nutritivas com CE até 2,4 dS m^{-1} são recomendadas para a produção de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L, águas salinas, atenuação, NFT, morfologia

GROWTH AND PRODUCTION OF CURLY LETTUCE CULTIVARS UNDER SALINITY AND SILICON FERTILIZATION

ABSTRACT

Hydroponic cultivation presents itself as a viable alternative to vegetable production using saline water, especially in semi-arid regions, as they are predominant. With the potential to reduce the effects caused by salinity, silicon is seen as promising in increasing plant tolerance. In this sense, the objective was to study the growth and production of lettuce cultivars under saline nutrient solution and silicon application. The experiment was conducted between the months of September and October 2021, at the Vale dos Ipês Rural Property, located in the Municipality of São Mamede, PB. The experimental design was completely randomized in a $4 \times 2 \times 2$ factorial scheme, with four electrical conductivities of the nutrient solution (1.4; 2.0; 2.6 and 3.2 dS m^{-1}), two doses of Si (silicate of potassium) (0.0 and 0.6 mM) and two curly lettuce cultivars (Leila and Isabel), with eight replications. The experiment was carried out in a greenhouse with four hydroponic planting benches in the NFT system (nutrient film technique), spaced 0.50 m apart and profiles spaced 0.14 m apart and a slope of 5%. The data indicate that salinity reduced the growth of lettuce plants 15 days after transplanting from an EC of 2.4 dS m^{-1} . And that nutrient solutions with EC up to 2.4 dS m^{-1} are recommended for lettuce production.

Keywords: *Lactuca sativa* L, saline water, mitigating, NFT, morphology

1 INTRODUÇÃO

Assim como outras hortaliças, o suprimento hídrico para a alface é essencial, sendo o manejo adequado da irrigação importante não apenas para suprir as necessidades hídricas da cultura, mas também por minimizar problemas com doenças e lixiviação de nutrientes (Koetz et al., 2006). Segundo a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM), em 2018, a alface foi considerada a 3ª hortaliça mais consumida no país, totalizando 1,5 milhão de toneladas produzidas e movimentando cerca de R\$ 8 bilhões, apenas no varejo. No estado de São Paulo, a área produzida com alface foi estimada em 11.704 ha, com produção de 475.235 t e produtividade em torno de 40,6 t ha⁻¹ (IEA, 2017).

Na região Nordeste, a escassez hídrica leva a busca por formas de cultivo que consigam aproveitar os recursos existentes, como é o caso das águas salinas para o cultivo de plantas. Ao longo dos anos, diversos estudos mostram que é possível usar água salobra para produzir alface hidroponicamente, e a tolerância aos sais pode ser superior ao cultivo convencional no solo (Moraes et al., 2014; Sousa et al., 2020).

Para Domingues et al. (2012) e Oliveira et al. (2014), a produção satisfatória da alface em cultivo hidropônico depende essencialmente da qualidade e formulação da solução nutritiva, em especial, no que se refere ao pH, a temperatura e a composição salina, (teor, concentração e tipos de sais) com reflexos no crescimento e desenvolvimento da cultura. De acordo com Monteiro Filho et al. (2017), as oscilações na condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsn) estão relacionadas ao consumo de água e nutrientes pelas plantas e a evaporação das soluções nutritivas durante a condução do experimento.

Quanto aos aspectos nutricionais, devido ao seu curto ciclo de crescimento, é uma cultura muito exigente em nutrientes, por isso, a deficiência deles causam sintomas que podem ser identificados visualmente como coloração anormal, crescimento, queima e distorção de partes da planta (Meireles et al., 2017; Santos et al., 2020).

Uma alternativa para produção de plantas sob estresse salino seria o uso do silício, cujos benefícios estão relacionados ao aumento da resistência mecânica das células, devido ao depósito de silício na forma de sílica amorfa (SiO₂ nH₂O), na parede celular que forma uma dupla camada de sílica cuticular, proporcionando um melhor ajuste osmótico, diminuindo a transpiração e melhorando a capacidade fotossintética (Ahmed et al., 2011). Conforme menciona Faquin (2001), o silicato de potássio, além de fornecer o silício, também fornece o potássio que é um nutriente essencial.

A aplicação foliar de silicato de potássio (K₂SiO₃) é realidade na agricultura brasileira, sendo uma forma alternativa de fornecer o elemento benéfico silício (Si) para

plantas tidas como não acumuladoras desse nutriente (Rodrigues et al., 2016). Dessa forma, a aplicação foliar de fontes de silício líquido solúvel tem sido foco de vários estudos pela sua praticidade, eficácia, com uso de doses menores e por ser uma técnica adaptável aos pulverizadores, normalmente, utilizados por produtores (Figueiredo et al., 2010).

Sendo assim, objetiva-se estudar o crescimento e produção de cultivares de alface sob salinidade da solução nutritiva e adução com silício.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de setembro e outubro de 2021, na Propriedade Rural Vale dos Ipês, localizada ao Município de São Mamede - PB, com as coordenadas geográficas de 6° 57' 44" latitude sul e 37° 09' 35" de longitude oeste, com uma altitude de 275,72 m. O Município encontra-se delimitado no Semiárido Brasileiro, com clima quente e seco, na porção do Seridó Ocidental, com precipitação total anual de 780,8 mm, temperatura máxima de 32,4 °C, mínima de 20,6 °C e umidade relativa do ar de 55%.

A estufa agrícola para hortaliças, Modelo com arco com abertura superior (lanternim) para regiões de temperaturas altas, em aço galvanizado em banho de zinco fundente (à fogo) conforme norma da ABNT NBR 6323. Coberta com filme de polietileno difusor, revestido por Tela lateral Polysombra preta 35%, e uso móvel de aluminet à 50% para controle da intensidade de irradiação (Figura 1).

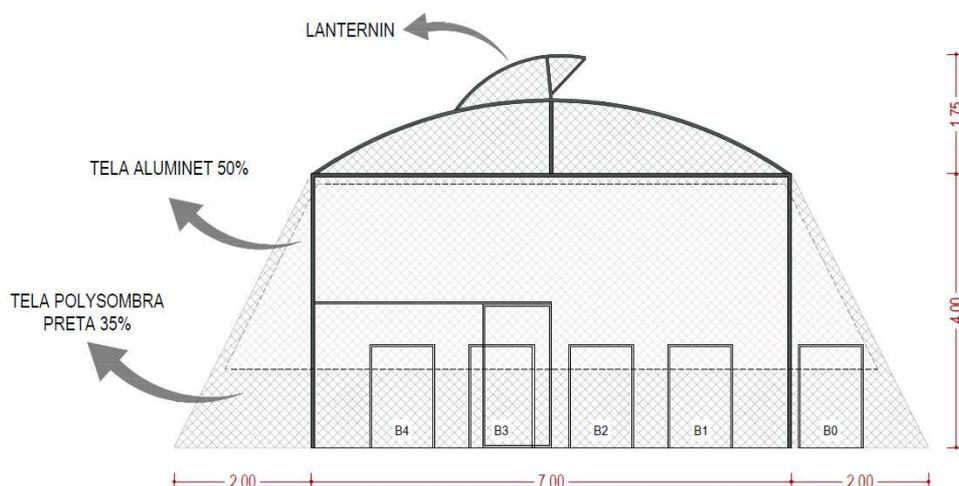


Figura 1. Vista frontal da estufa agrícola.

A estufa agrícola tem pé direito de quatro (04) metros de altura, dispendo de 05 bancadas, sendo uma (01) de berçário e as outras quatro (04) para crescimento final, sendo constituídas de perfis fabricados em polipropileno (PP) dupla face, ou seja, preto no corpo do perfil e branco na sua parte externa, aspectos permitidos pela ANVISA para produção de alimentos. A parte escura no interior voltada para evitar a propagação de luz, a proliferação de algas e a ocorrência de doenças, já a parte externa na cor branca, para refletir a luz e evitar o aquecimento da solução nutritiva. As bancadas foram dispostas com declividade de 5%, para diminuir o tempo da solução nutritiva nos perfis, diminuindo a exposição ao calor (Figura 2).

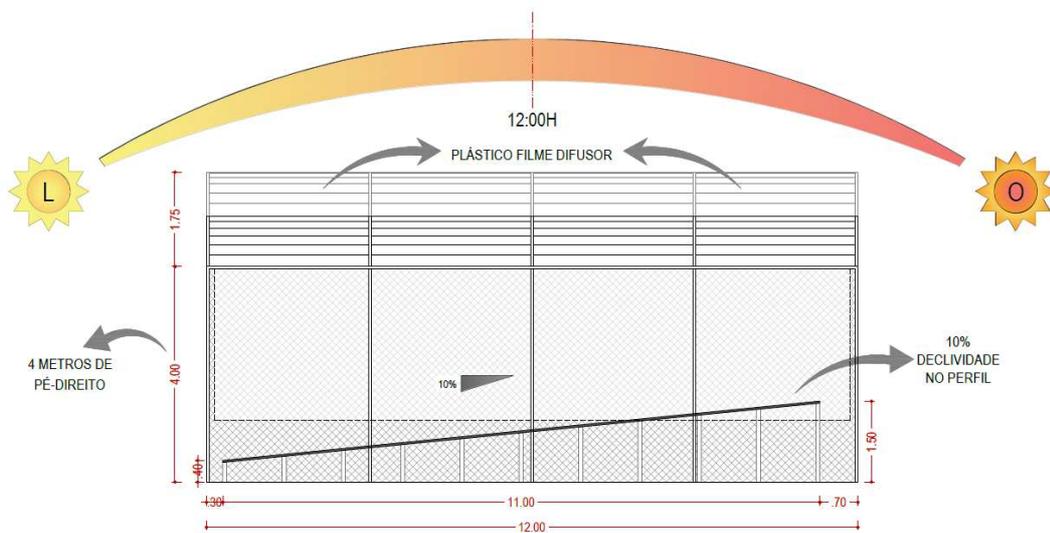


Figura 2. Vista lateral da estufa agrícola.

A solução nutritiva ficava abrigada em casa da solução, construída em sentido leste a oeste, para diminuir a incidência solar nas paredes, uma construção simples em alvenaria, medindo 4 x 8 m de dimensão, coberta em telha cerâmica e pé direito de três (03) metros de altura (Figura 3).

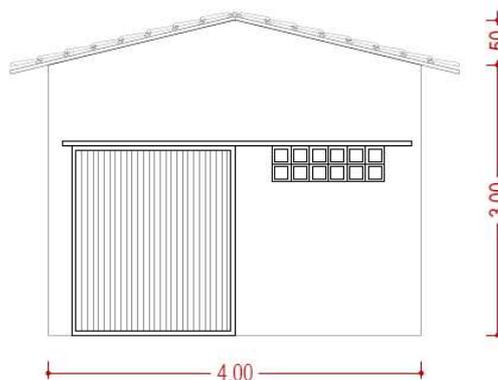


Figura 3. Vista frontal da Casa da solução.

A porção final da casa de solução correspondia a metade (4 metros) mais a leste, fora rebaixado o piso em 1,3 m, e em mais 0,5 m para colocação das bombonas, com a colocação de janelas vazadas de bloco de cimento, para proporcionar melhor aeração do ambiente. No interior do cômodo foi instalado uma caixa d'água de 1.000 L para reabastecimento das bombonas, com água de abastecimento público (Figura 4).

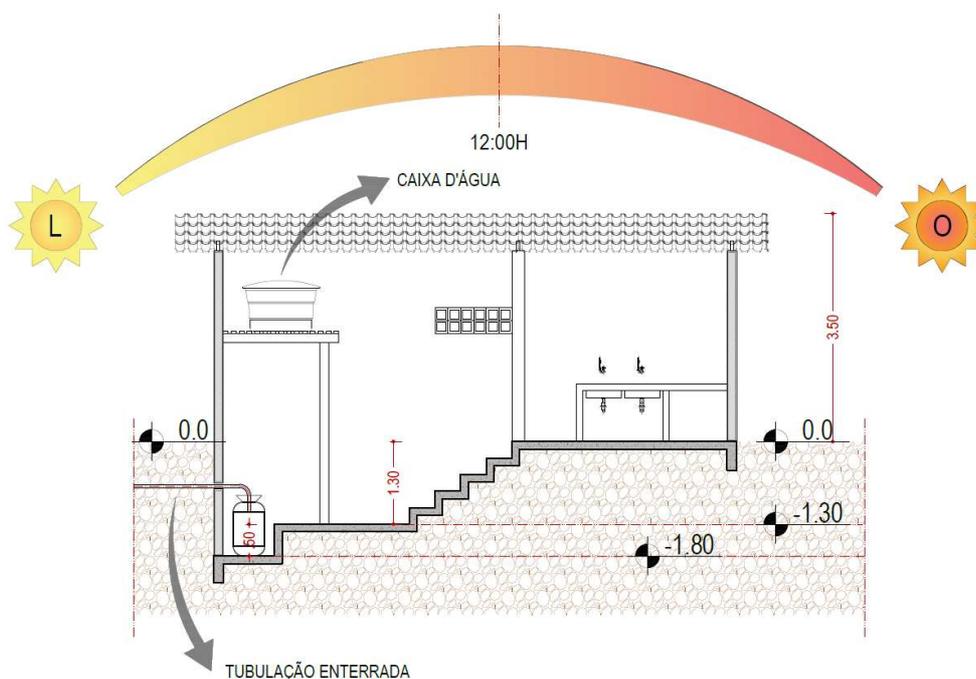


Figura 4. Vista de corte lateral da casa da solução.

A solução nutritiva transportada por mangueira de 16 mm enterrada, no percurso correspondente entre a casa de solução e a estufa, pressurizada por bomba submersa de 2.740 L h^{-1} de vazão e altura manométrica de 2,45 m, até a cabeça de bancada, seguindo por gravidade pelos perfis, caindo em caixa coletora, que por tubulação específica por bancada e por gravidade segue para bombona originária na casa de solução (Figura 5).

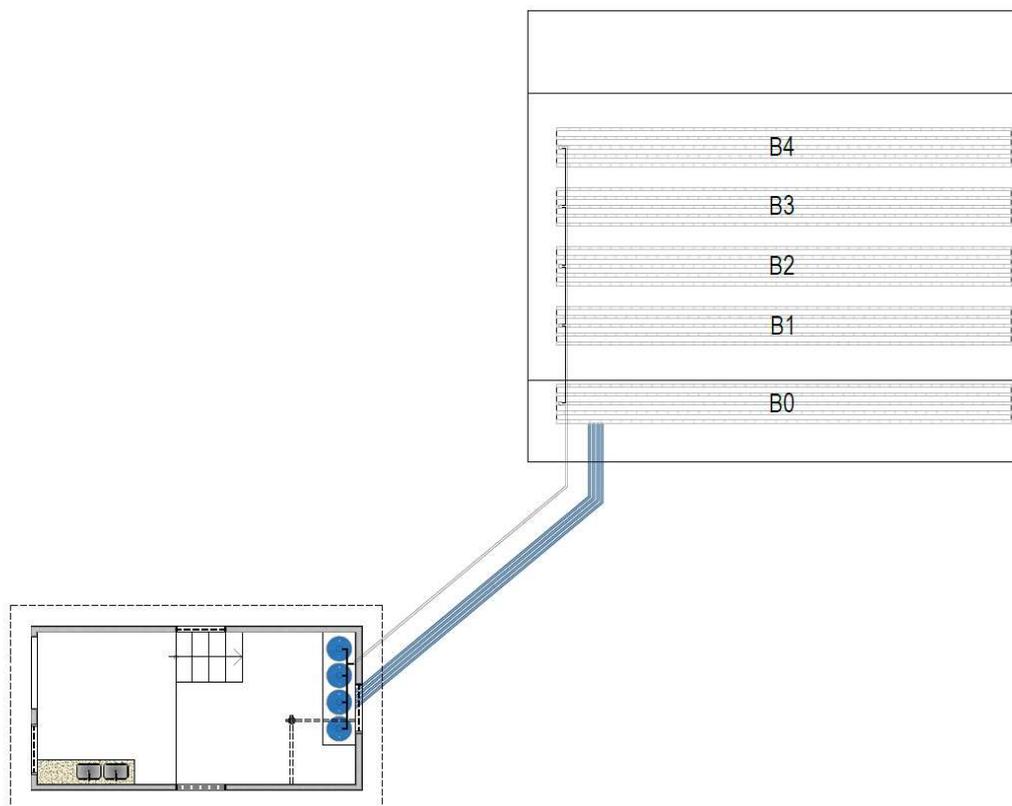


Figura 5. Esquema de bombeamento e retorno da solução nutritiva.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, totalizando 16 tratamentos com 8 repetições. O primeiro fator correspondeu a quatro condutividades elétricas (1,4; 2,0; 2,6 e $3,2 \text{ dS m}^{-1}$) combinados com duas doses de silicato de potássio aplicadas na forma de adubação foliar (0,0 e 0,6 mM) em duas cultivares de alface crespa, a Leila (C_1) e a Isabel (C_2), conforme exemplificado na Figura 6.

2.3 Condução experimental

A vazão da solução nos canais e a potência da bomba foram determinadas considerando a recomendação de Furlani et al. (2009). Cada bomba foi conectada a um temporizador analógico, ligado a energia elétrica para manter a solução circulando automaticamente.

As sementes das cultivares do grupo Crespa Leila e Isabel, foram semeadas em espuma fenólica e mantidas na sombra por 24 h, em seguida postas ao sol já na estufa para completar o período de maternidade de 10 dias, recebendo apenas água de baixa CE três vezes ao dia. Logo após, foram encaminhadas para o berçário de mudas e lá permaneceram

por mais dez dias, recebendo adubação via solução nutritiva recomendada por Furlani et al. (1998), com 100% da força iônica para suprir possíveis demandas nutricionais das plântulas.

2.4 Preparo e manejo da solução nutritiva

A solução nutritiva foi preparada com água de abastecimento público, sendo ajustada de acordo com a metodologia de Richards (1954); para obtenção das diferentes salinidades das soluções nutritivas tomando por base Guimarães et al. (2019). Quando as plantas atingiram entre 6 e 8 folhas definitivas, aproximadamente 20 dias, foram transplantadas para bancada definitiva e submetidas aos tratamentos com as concentrações determinadas de silicato de potássio (12% de SiO_3 e 12% de K_2O). As doses de silicato de potássio (K_2SiO_3) foram 0,0; e 0,6 mM, com base na recomendação de Lemos Neto et al. (2018). Conforme recomendação de Furlani et al. (1998), o preparo e manejo da solução nutritiva foram efetuados de modo a suprir a demanda nutricional da cultura em todo ciclo de cultivo.

Para o preparo da solução foi utilizado um composto comercial que contém todos os macronutrientes necessários para o desenvolvimento da cultura junto com o Nitrato de Cálcio e Ferro quelatizado, sendo eles: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e micronutrientes: Boro (B), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Manganês (Mn) e Zinco (Zn).

Nos perfis foram transplantadas 18 plantas de alface espaçadas em 0,25 m entre plantas. Os perfis referentes a cada tratamento foram interligados a um reservatório de plástico rígido com capacidade de 200 L, local de armazenamento da solução nutritiva. É importante ressaltar que, duas plantas de cada perfil foram deixadas como bordadura, a primeira e a última, com o intuito de terem o mesmo nível de competição por luz e espaço para o seu crescimento normal. Os temporizadores foram programados para irrigações a cada 15 minutos durante o dia (Bliska; Honório, 1996), e intervalos de uma hora no período noturno.

A reposição e monitoramento das soluções ocorreram diariamente. Para garantir a condutividade elétrica definida ($3,2 \text{ dS m}^{-1}$), a verificação ocorreu através de um condutivímetro portátil, e quando necessário, o ajuste foi efetuado pela diluição do tratamento com uma solução nutritiva de ajuste, previamente preparada conforme recomendação de Furlani et al. (1998) e armazenada em reservatório extra ou através da adição de NaCl, quando necessário concentrar mais a solução. A cada seis dias a solução

foi totalmente renovada para garantir a ação da fonte de silício, totalizando 4 renovações até o dia da coleta de dados, que ocorreu aos 24 dias após o transplântio (DAT).

Também foi feito o controle diário do pH, através de um pHmetro de bancada modelo LUCA-210, mantendo a solução nutritiva entre 5,5 e 6,5, com ajuste quando necessário, através de uma solução base composta por hidróxido de sódio e uma solução ácida composta por ácido sulfúrico.

2.5 Variáveis analisadas

2.5.1 Crescimento e componentes de produção

Aos 15 DAT, foram analisados o número de folhas (NF) pela contagem simples das folhas totalmente expandidas e o diâmetro caulinar (DC) por meio de um paquímetro digital.

Ao final do experimento, aos 24 DAT, foram mensuradas a massa fresca da parte aérea (MFF) e a massa fresca total (MFT), logo após a retirada das plantas dos perfis através da pesagem. Para determinação da massa seca da parte aérea (MSF) e massa seca total (MST), os materiais frescos foram previamente pesados e acondicionados em sacos de papel devidamente identificados, depois passaram pelo processo de secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65°C por 72 horas, após esse procedimento, ocorreu a pesagem final para se obter a massa da matéria seca. As pesagens foram realizadas em balança analítica de precisão 0,0001 g.

2.6 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância pelo teste F, em caso de significância os níveis salinos passaram pela análise de regressão e as concentrações de silício e cultivares de alface pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o programa computacional SISVAR (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se através do resumo do teste de F efeito isolado para os níveis de salinidade da solução nutritiva em todas as variáveis analisadas, que não houve efeito significativo para as concentrações de silício e cultivares de alface, bem como para a interação entre os fatores em estudo. Ao se direcionar os estudos para os fatores isolados são verificados efeitos significativos para todas as variáveis no fator salinidade.

Tabela 1. Resumo do teste de F referente às variáveis de número de folhas (NF), diâmetro de caule (CC), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca total (MFT), massa seca das folhas (MSF) e massa seca total (MST) em função da salinidade da solução nutritiva e concentrações de silício em cultivares de alface aos 15 dias após o transplântio.

Análise de variância							
FV	GL	NF	DC	MFPA	MFT	MSF	MST
Sal (S)	3	**	**	**	**	**	**
Cultivares (C)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S x C	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Silício (Si)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x Si	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S x C x Si	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	-	11,79	11,85	21,07	17,09	29,46	26,51

*, **, ns. Significativo a 1%, 5% pelo teste F e não significativo, respectivamente; FV: fontes de variação; CV: Coeficiente de variação.

De acordo com a equação de regressão para o número de folhas em função dos níveis salinos da solução nutritiva (Figura 6A), houve efeito quadrático dos níveis de CE da solução nutritiva sobre o NF, com aumento do número de folhas até a salinidade 2,4 dS m⁻¹, com 14,94 folhas de média, a partir desse nível salino, com decréscimo acentuado no número de folhas das plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico. Reduções do número de folhas também foram observadas por Paulus et al. (2012), analisando o cultivo da alface crespa cv. Verônica sob salinidade da solução nutritiva evidenciaram as reduções aos 23 dias após o transplântio. Essas respostas das plantas ao meio salino dependem de suas características genéticas e das condições do meio, podendo cultivares diferentes apresentarem respostas distintas à salinidade (Gorham et al., 1988).

O diâmetro do caule (DC) das plantas de alface em função do aumento da condutividade elétrica da água da solução nutritiva aumentou até o nível estimado de 2,4 dS m⁻¹, seguindo a mesma tendência do número de folhas (Figura 6B). Sob condições de deficiência hídrica induzida pelo efeito osmótico (seca fisiológica) é comum alterações morfológicas e anatômicas nas plantas, como medida de manter a absorção de água e reduzir a taxa de transpiração; dentre as mudanças morfológicas, destaca-se a redução do tamanho e do número de folhas, como constatado neste estudo (Taiz et al., 2017).

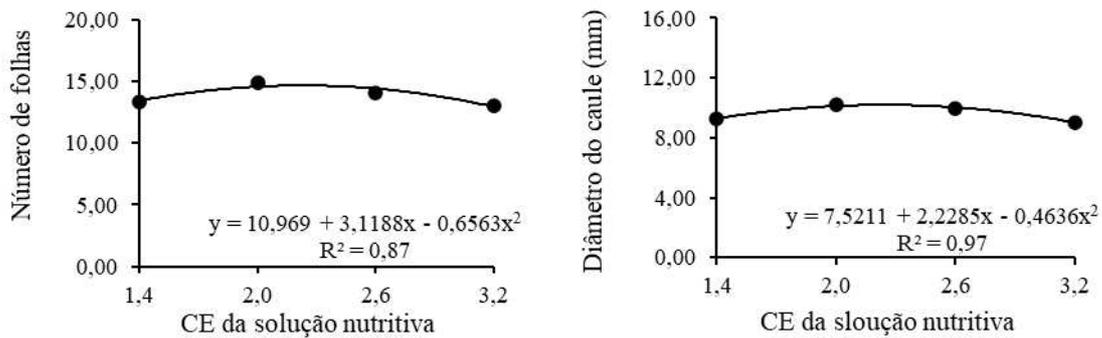


Figura 6. Número de folhas de alface (A) e diâmetro do caule (B) em função da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT.

Com relação à massa fresca das folhas (MFPA) de alface, houve um efeito significativo dos níveis de salinidade aos 15 DAT com efeito quadrático para dados de massa fresca em função da salinidade da solução nutritiva com ponto máximo na CE_{sn} 2,29 $dS\ m^{-1}$ (Figura 7A). Os valores se aproximaram do peso médio comercial encontrado por Ferreira et al. (2009), quando avaliaram as cultivares Simpson, Marisa e Vera em sistema hidropônico de cultivo (163,43, 171,06 e 141,61 g por planta). A utilização de água salobra na produção se torna uma alternativa para os produtores com disponibilidade de águas salobras e restrição de água doce, mesmo com redução na produtividade (Lira et al., 2015; Soares et al., 2015).

Na massa fresca total das plantas de alface em função da salinidade da solução nutritiva, os dados tiveram ajuste ao modelo quadrático com maior acúmulo de fitomassa (122,39 g por planta) com o cultivo sob condutividade elétrica de 2,0 $dS\ m^{-1}$ aos 15 DAT (Figura 7B). Os resultados em questão são semelhantes aos de Fernandes et al. (2018), que estudaram o efeito da salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema NFT e obtiveram médias de 136,5 g por planta.

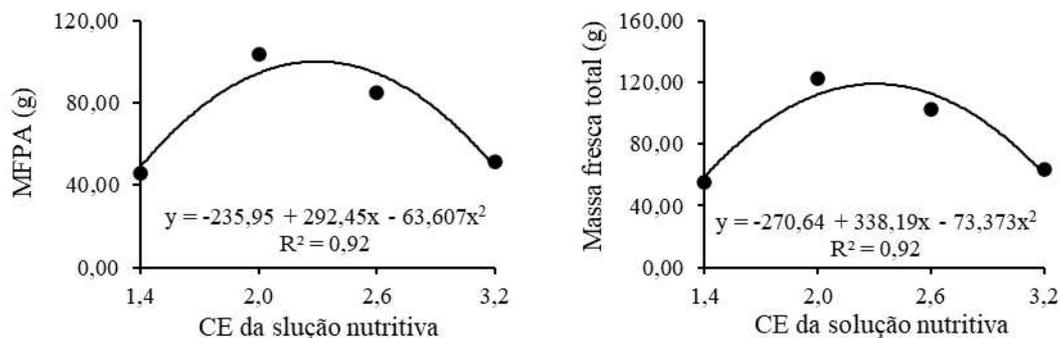


Figura 7. Massa fresca da parte aérea (A) e massa fresca total (B) da alface em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT.

O aumento da salinidade da solução nutritiva exerceu efeito quadrático na massa seca das folhas de alface aos 15 DAT. Conforme a equação de regressão verifica-se (Figura 8A) que, o maior valor (5,04 g por planta) ocorreu quando as plantas foram irrigadas com a solução de até 2,3 dS m⁻¹ com decréscimos variáveis a partir desse nível salino, cujo menor valor foi de 3,98 g por planta obtido com a CE da solução nutritiva de 3,2 dS m⁻¹. Essas reduções corroboram com os resultados encontrados por Soares et al. (2015), Paulus et al. (2010) e Santos et al. (2010), que relatam reduções da massa seca da parte aérea da alface em cultivo hidropônico em função do aumento da salinidade da solução nutritiva.

Com base na Figura 8B, é possível visualizar comportamento semelhante para a massa seca total (MST). De acordo a equação de regressão, o maior valor da MST (6,99 g por planta) foi na irrigação com a solução de até 2,4 dS m⁻¹ em seguida, um decréscimo na variável, cujo menor valor foi de 4,75 g por planta com a CE da solução de 3,2 dS m⁻¹. Dias et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes quando verificaram uma redução maior da matéria fresca da parte aérea em relação à redução da matéria seca da alface, respectivamente de 6,68 e 5,48% as reduções do maior nível de salinidade (3,1 dS m⁻¹) em relação ao tratamento testemunha (0,3 dS m⁻¹).

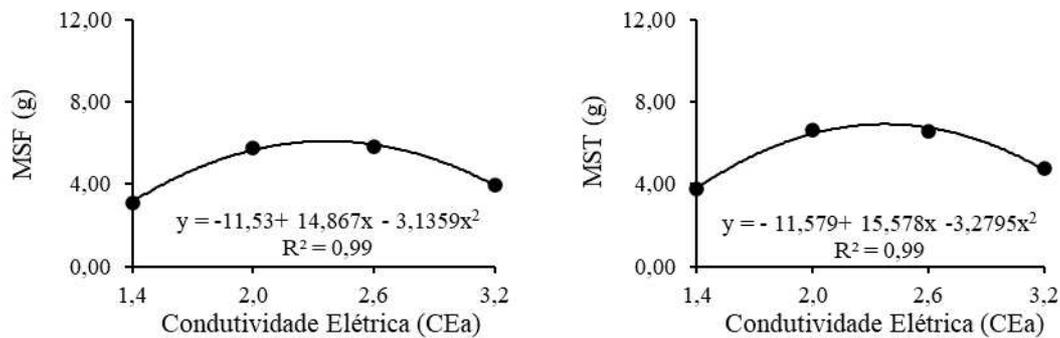


Figura 8. Massa seca da parte aérea (A) e massa seca total (B) da alface em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT.

4 CONCLUSÕES

A utilização de solução nutritiva com condutividade elétrica até 2,4 dS m⁻¹ resulta no acréscimo no crescimento e acúmulo de fitomassa da alface crespa em cultivo hidropônico.

A solução nutritiva com condutividade elétrica de 3,2 dS m⁻¹ reduz o número de folhas, diâmetro do caule e o acúmulo de fitomassa da alface crespa em cultivo hidropônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, M.; Hassen, F. U.; Qadeer, U.; Aslam, M. A. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research*, v.6, p.594-607, 2011.
- Bliska, J. A.; Honório, S. L. Cartilha tecnológica: hidroponia. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1996. 51p.
- Dias, N. S. da; Sousa Neto, O. N. de; Cosme, C. R.; Jales, A. G. O. de; Rebouças, J. R. L.; Oliveira, A. M. de. Resposta de cultivares de alface à salinidade da solução nutritiva com rejeito salino em hidroponia. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.991-995, 2011.
- Domingues, D. S.; Takahashi, H. W.; Camara, C. A. P.; Nixdorf, S. L. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.84, p.53-61, 2012.
- Faquin, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.
- Fernandes, J. M. P.; Fernandes, A. L. M.; Dias, N. S. da; Cosme, C. R.; Nascimento, L. V.; Queiroz, I. S. R. de. Salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema hidropônico NFT. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.2570-2578, 2018.
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista brasileira de biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- Ferreira, R. L. F.; Neto, S. E. A.; Silva, S. S.; Abud, E. A.; Rezende, M. I. F. L.; Kusdra, J. L. Combinações entre cultivares, ambientes, preparo e cobertura do solo em características agrônômicas de alface. *Horticultura Brasileira*, v.27, p.383-388, 2009.
- Figueiredo, F. C.; Botrel, P. P.; Teixeira, C. P.; Petrazzini, L. L.; Locarno, M.; Carvalho, J. G. de. Pulverização foliar e fertirrigação com silício nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.1306-1311, 2010.
- Furlani, P. R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia – NFT. Campinas: Instituto Agrônomo, (Documentos IAC, 168). 1998. 30 p.
- Furlani, P. R.; Silveira, L.C.P.; Bolonhezi, D.; Faquin, V. Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico. Artigo em Hypertexto. 2009.
- Gorham, J.; Tomar, O. S.; Wyn Jones, R. G. Salinity induced changes in the chemical composition of *Leucaena leucocephala* and *Sesbania bispinosa*. *Plant Physiology*, v.132, p.678-682, 1988.
- Guimarães, R. F. B.; Maia Júnior, S. O. de; Nascimento, R. do; Melo, D. F. de; Ramos, J. G.; Andrade, J. R. de. Trocas gasosas em cultivares de alface crespa em cultivo

- hidropônico com água salina. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.13, p.3599-3609, 2019.
- IEA/CATI ANUÁRIOS - Instituto de Economia Agrícola. 2017. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/> acessado em 12 de novembro de 2021.
- Koetz, M.; Coelho, G.; Costa, C. C. da; Lima, E. P.; Souza, R. J. de. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface americana em ambiente protegido. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.730-737, 2006.
- Lemos Neto, H. S. de; Guimarães, M. A. de; Sampaio, I. M. G.; Hedges, R. A. A. de; Oliveira, A. B. de; Medeiros Filho, S. de. Silicon (Si) reduces the effects of salt stress on germination and initial growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Australian Journal of Crop Science*, v.12, p.1410-1418, 2018.
- Lira, R. M.; Silva, E. F. F.; Silva, G. F.; Santos, A. N.; Rolim, M. M. Production, water consumption and nutrient content of *Chinese cabbage* grown hydroponically in brackish water. *Revista Ciência Agronômica*, v.46, p.497-505, 2015.
- Meirelles, A. F. M.; Baldotto, M. A.; Baldotto, L. E. B. Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em resposta à aplicação de ácidos húmicos e bactérias diazotróficas, em condições de campo. *Revista Ceres*, v.64, p.553-556, 2017.
- Monteiro Filho, A. F.; Azevedo, M. R. Q. A.; Azevedo, C. A. V.; Fernandes, J. D.; Silva, C. R. da; Silva, Y. S. dos. Growth of hydroponic lettuce with optimized mineral and organomineral nutrient solutions. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.21, p.191-6, 2017.
- Moraes, D. P. de; Fernandes, A. L. M.; Dias, N. S. da; Cosme, C. R.; Souza Neto, O. N. de. Rejeito salino e solução nutritiva em alface cultivada em sistema hidropônico. *Magistra*, v.26, p.353-360, 2014.
- Oliveira, L. L. P.; Farias, W. C.; Linhares, P. S. F.; Melo, M. R. S.; Cavalcante, J. J.; Dombrowski, J. L. D. Análise de diferentes dosagens de solução nutritiva no cultivo de mudas de alface americana (*Lactuca sativa* L.). *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*, v.10, p.14-7, 2014.
- Paulus, D.; Dourado Neto, D.; Frizzone, J. A.; Soares, T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia água salina. *Revista Horticultura Brasileira*. v.28, p.29-35, 2010.
- Paulus, D.; Paulus, E.; Nava, G. A.; Moura, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. *Revista Ceres*, v.59, p.110-117, 2012.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, Washington: U.S, Department of Agriculture, 1954.
- Rodrigues, C. R.; Rodrigues, T. M.; Luz, J. M. Q.; Sousa, V. B. F. de; Sousa, J. B.; Nunes, A. C. P.; Trindade, P. R. Clorofila a e b de tomateiro tratado com silicato de potássio e fungicida. *Gl. Sci Technol*, v.9, p.54-64, 2016.

- Santos, A. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Silva, D. J. R.; Montenegro, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.961-969, 2010.
- Santos, M. R. A.; Gomes Filho, R. R.; Faccioli, G. G.; Carvalho, C. M.; Nunes, T. P.; Carvalho, L. L. S.; Araújo Filho, R. N.; Pedrotti, A.; Valnir Júnior, M.; Lima, S. C. R. V. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) irrigated with domestic sewage treated in protected environment. *International Journal of Engineering Research and Applications*, v.10, p.47-52, 2020.
- Soares, H. R.; Silva, Ê. F. de F. E.; Silva, G. F. da; Pedrosa, E. M.; Rolim, M. M.; Santos, A. N. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.636-642, 2015.
- Sousa, J. I. de; Freitas, C. A. S. de; Santos, F. G. B. dos; Saraiva, K. R.; Carvalho, C. M. de; Cunha, L. S. de; Freitas, R. M. O. de. Utilização de diferentes concentrações salinas da solução nutritiva na produção de cultivares de alface em cultivo hidropônico. *Research, Society and Development*, v.9, e4299108606, 2020.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

**CAPÍTULO 3: FISIOLOGIA DE CULTIVARES DE ALFACE SOB SALINIDADE DA
SOLUÇÃO NUTRITIVA E ADUBAÇÃO SILICATADA**

FISIOLOGIA E TROCAS GASOSAS DE CULTIVARES DE ALFACE SOB DISTINTAS SALINIDADE E ADUBAÇÃO SILICATADA

RESUMO

No semiárido brasileiro, grande parte dos recursos hídricos subterrâneos são salinos, limitando assim, o cultivo de algumas espécies. Nesse cenário, surgem como alternativas, o sistema hidropônico como uso eficiente da água para produção de alimentos e a adubação com silício, como tecnologia promissora para mitigar o efeito da salinidade. Nesse sentido, objetivou-se avaliar as trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos de cultivares de alface crespa sob diferentes salinidades da solução nutritiva e aplicação de silício. O experimento foi conduzido entre os meses de setembro e outubro 2021, na Propriedade Rural Vale dos Ipês, localizada no Município de São Mamede, PB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, sendo quatro condutividades elétricas da solução nutritiva (1,4; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m^{-1}), duas doses de Si (silicato de potássio) (0,0 e 0,6 mM) e duas cultivares de alface crespa (Leila e a Isabel), com oito repetições. O experimento foi realizado em casa de vegetação com quatro bancadas de plantio hidropônico em sistema NFT (técnica de nutrientes em filme), espaçadas uma das outras em 0,50 m e perfis espaçados em 0,14 m e declividade de 5%. Foram avaliados as trocas gasosas, teores de clorofila a, clorofila b, total e carotenoide. Soluções nutritivas com condutividades elétricas no intervalo de 1,4 a 2,4 dS m^{-1} podem ser utilizadas na produção de alface hidropônico sem ocasionar interferência nos processos fisiológicos das plantas. A elevação da condutividade elétrica acima de 2,4 dS m^{-1} da solução nutritiva compromete as trocas gasosas da cultura da alface cultivada em sistema hidropônico tipo NFT. Incrementos na condutividade elétrica da solução nutritiva acima de 2,4 dS m^{-1} aumentam os pigmentos fotossintetizantes das plantas de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., condutividade elétrica, pigmentos fotossintetizantes, parâmetros fisiológicos.

PHYSIOLOGY AND GASEOUS EXCHANGES OF LETTUCE CULTIVARS UNDER DIFFERENT SALINITY AND SILICATED FERTILIZATION

ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, a large part of the underground water resources are saline, thus limiting the cultivation of some species. In this scenario, alternatives arise: the hydroponic system as an efficient use of water for food production and silicon fertilization, as a promising technology to mitigate the effect of salinity. In this sense, the objective was to evaluate gas exchange and photosynthetic pigments of curly lettuce cultivars under different salinities of the nutrient solution and application of silicon. The experiment was conducted between the months of September and October 2021, at the Vale dos Ipês Rural Property, located in the Municipality of São Mamede, PB. The experimental design was completely randomized in a $4 \times 2 \times 2$ factorial scheme, with four electrical conductivities of the nutrient solution (1.4; 2.0; 2.6 and 3.2 dS m⁻¹), two doses of Si (silicate of potassium) (0.0 and 0.6 mM) and two curly lettuce cultivars (Leila and Isabel), with eight replications. The experiment was carried out in a greenhouse with four hydroponic planting benches in the NFT system (nutrient film technique), spaced 0.50 m apart and profiles spaced 0.14 m apart and a slope of 5%. Gas exchange, chlorophyll a, chlorophyll b, total and carotenoid levels were evaluated. Nutrient solutions with electrical conductivities in the range of 1.4 to 2.4 dS m⁻¹ can be used in the production of hydroponic lettuce without causing interference in the physiological processes of the plants. The increase in electrical conductivity above 2.4 dS m⁻¹ of the nutrient solution compromises the gas exchange of the lettuce crop grown in an NFT - type hydroponic system. Increases in the electrical conductivity of the nutrient solution above 2.4 dS m⁻¹ increase the photosynthetic pigments of lettuce plants.

Keywords: *Lactuca sativa* L., electrical conductivity, nutrient solution, photosynthetic pigments, physiological parameters.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os estresses abióticos, a salinidade é, sem dúvidas, um dos fatores que mais limitam o desenvolvimento das plantas. Com predominância em regiões semiáridas, devido a temperaturas elevadas, baixos índices pluviométricos distribuídos irregularmente e a predominância de rochas cristalinas no subsolo, proporcionam características salobras e salinas às águas subterrâneas, que na maioria das vezes, é a única fonte de suprimento hídrico para a produção agrícola em diversos locais (Brito et al., 2018; Paulus et al., 2012; Sala; Costa, 2012).

O excesso de sais presentes na água e/ou no solo pode causar alterações nas funções fisiológicas das plantas, por causa do mecanismo de fechamento estomático, visando reduzir as perdas de água por transpiração, entretanto, também diminuem o suprimento de CO₂ para as folhas, resultando em distúrbios das relações hídricas, alterações na absorção e uso de nutrientes essenciais, além do acúmulo de íons potencialmente tóxicos, em especial, Na⁺ e Cl⁻ no metabolismo vegetal (Amorim et al., 2010).

Contudo, a intensidade com que o estresse salino afeta as trocas gasosas, os pigmentos cloroplastídicos e provoca dano na membrana celular das plantas, depende de outros fatores como espécie, cultivar, tipos de sais, intensidade e duração do estresse, manejo cultural e da irrigação, condições edafoclimáticas e adubação (Munns; Tester, 2008).

Nesse contexto, o silício (Si) pode ser uma alternativa que pode vir a minimizar os efeitos dos sais nas plantas, os benefícios que ele pode viabilizar para plantas na resistência ao estresse abiótico são divididos em dois grupos: físicos e fisiológicos (Cantuário et al., 2014). O trabalho de Gao et al. (2006), por exemplo, mostrou o efeito da aplicação de Si na taxa transpiratória do milho, as plantas foram cultivadas em soluções nutritivas com e sem Si, nas doses de 0 a 2 mmol L⁻¹, além da administração de dois níveis de estresse hídrico, após a avaliação dos resultados foi possível concluir que, a aplicação de Si reduziu consideravelmente a taxa transpiratória, tanto na parte abaxial quanto na adaxial das folhas.

Com base no que foi apresentado, objetiva-se avaliar as trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos de cultivares de alface crespa sob diferentes salinidades da solução nutritiva e aplicação com silício.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido (estufa agrícola para hortaliças) pertencente à Propriedade Rural Vale dos Ipês, localizada no Município de São

Mamede, Paraíba, sob as coordenadas geográficas de 6° 57' 44'' latitude sul e 37° 09' 35'' de longitude oeste, com uma altitude de 275,72 m. Os valores de temperatura e umidade relativa do ar (máximas e mínimas) foram anotados diariamente com auxílio de higrômetro digital.

Os tratamentos consistiram em quatro níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva (1,4; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m^{-1}) com duas doses de Si (silicato de potássio) na forma de adubação foliar nas doses (0,0 e 0,6 mM) em duas cultivares de alface crespa (C_1 – Leila e C_2 – Isabel), distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, com 8 repetições, perfazendo o total de 128 unidades experimentais. As doses de silicato de potássio (K_2SiO_3) foram estabelecidas de acordo com a recomendação de Lemos Neto et. al. (2020).

As sementes das cultivares Leila e Isabel, do grupo crespa, com pureza de 99,9% e germinação de 95%, foram colocadas para germinar em espuma fenólica e mantidas na sombra por 24 h, em seguida, postas ao sol já na estufa para completar período de maternidade de 10 dias, recebendo água apenas três (03) vezes ao dia. Logo após, foram encaminhadas para o berçário de mudas por mais dez (10) dias, recebendo adubação via solução nutritiva recomendada por Furlani et al. (1998) com 100% da força iônica para suprir possíveis demandas nutricionais das plântulas.

A solução nutritiva foi preparada com água de abastecimento da Companhia de Esgotos da Paraíba – CAGEPA, sendo ajustada de acordo com a metodologia de Richard (1954), para simular água salina nas respectivas CE de tratamentos, até CE final da solução nutritiva de 3,2 dS m^{-1} tomando por base Guimarães et. al. (2019). Ao atingirem de 6 a 8 folhas definitivas, aproximadamente 20 dias, as plântulas foram transplantadas para bancada definitiva e foram submetidas aos tratamentos com as concentrações determinadas de silicato de potássio (12% de SiO_3 e 12% de P_2O).

A casa de vegetação possui quatro bancadas de plantio hidropônico em sistema NFT (técnica de nutrientes em filme), espaçadas uma das outras em 0,50 m e perfis espaçados em 0,14m com declividade de 10% para permitir que a solução referente a cada tratamento percorra o perfil apenas por gravidade, ao final encontra-se uma estrutura montada para direcionar a solução à tubulação de retorno para o reservatório, também por gravidade. A tubulação de retorno é fundamental para promover a oxigenação da solução, cada bancada possui 5 perfis (R80) de cultivo individualizados, constituídos por tubos de polipropileno específicos para hidroponia. O sistema ainda é constituído por mangueiras

injetoras de solução nutritiva, tubos e conexões para o adequado funcionamento do sistema.

Para a circulação da solução nutritiva foram quatro bombas d'água para realizar efetuar a sucção e recalque da solução do reservatório aos perfis, as bombas trabalham "afogadas", ou seja, num nível inferior ao da solução (do lado de fora do reservatório) para evitar a entrada de ar no sistema. Com base na recomendação de Furlani et al. (2009), foram encontradas a vazão da solução nos canais e a potência da bomba, sendo cada uma conectada a um temporizador analógico, ligado a energia elétrica para manter a solução circulando automaticamente. Os temporizadores foram programados para irrigações a cada 15 minutos durante o dia (Bliska; Honório, 1996), e intervalos de uma hora no período noturno.

Nos perfis foram transplantadas 18 plantas de alface espaçadas em 0,25m entre si. Os perfis referentes a cada tratamento foram interligados a um reservatório de plástico rígido com capacidade de 200 litros com a solução nutritiva. O preparo e manejo da solução nutritiva foram efetuados de modo a suprir a demanda nutricional da cultura em todo ciclo de cultivo, conforme recomendação de Furlani et al. (1998).

Todos os dias ocorreram a reposição e monitoramento das soluções. Para garantir a condutividade elétrica definida ($3,2 \text{ dS m}^{-1}$), a verificação se deu através de um condutivímetro portátil, e quando necessário, o ajuste através da diluição do tratamento com uma solução nutritiva de ajuste, previamente preparada conforme recomendação de Furlani et al. (1998) e armazenada em reservatório extra, ou através da adição de NaCl, caso precisasse concentrar mais a solução. A cada 6 DAT a solução foi totalmente renovada para garantir a ação da fonte de silício, totalizando 4 renovações até o dia da coleta de dados aos 24 DAT.

A formulação utilizada para o preparo da solução foi realizada por meio de um composto comercial contendo todos os macronutrientes, a citar: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e micronutrientes, a citar: Boro (B), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) necessários para o desenvolvimento da cultura junto com o Nitrato de Cálcio e Ferro quelatizado.

Também foi feito o controle diário do pH, com auxílio de um pHmetro de bancada modelo LUCA-210, para que ele se mantenha entre 5,5 e 6,5 (devido se tratar do intervalo ótimo para absorção de nutrientes), ajustando-o quando necessário, através de uma solução base composta por hidróxido de sódio e uma solução ácida composta por ácido sulfúrico.

Os tratos culturais seguiram conforme necessidade de acordo com as recomendações da cultura.

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados com base em análises de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos. A avaliação das trocas gasosas foi realizada aos 15 DAT, analisadas no terceiro par de folhas totalmente expandidas com um analisador de gás por vermelho – IRGA (Infra-Red Gas Analysis) modelo, LI-6400XT, Licor, USA. Sendo mensuradas a taxa de assimilação de CO₂ ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($gs - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração ($E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de CO₂ (C_i). De posse desses dados foi possível estimar a eficiência instantânea de carboxilação ($E_i C_i$), obtida pela razão entre A/C_i e eficiência instantânea de uso da água ($EUA - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$), calculada pela razão entre A/E . Essas avaliações tiveram início às 08:00 h do dia.

Na mesma ocasião foram realizadas as análises de pigmentos fotossintéticos, clorofila a, b, totais e carotenoides, determinados através da metodologia propostas por (Lichtenthaler; Welburn, 1983; Hendry; Prince, 1993) com um espectrofotômetro nas absorvâncias 470 (carotenoides),

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância pelo teste F, os tratamentos com variáveis quantitativas submetidos à análise de regressão e os tratamentos com variáveis qualitativas ao teste de Tukey a 1 e 5% de significância com o programa computacional SISVAR (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados das análises das variâncias (Tabela 1), verifica-se que houve efeito significativo isolado ($p \leq 0,05$) dos níveis de salinidade da solução nutritiva em todas as variáveis de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos aos 15 DAT, enquanto os fatores isolados de cultivares doses de silício e interação entre os fatores não diferiram estatisticamente.

Tabela 1. Resumo do teste de F referente a condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*), eficiência do uso de água (*EUA*), eficiência instantânea da carboxilação (*EiC*), concentração interna de CO₂ (*Ci*), clorofila a (*Cl a*), clorofila b (*Cl b*), clorofila total (*Cl T*) e carotenoides (*Carot*) das cultivares de alface sob diferentes salinidades da solução nutritiva e concentrações de silício aos 15 DAT.

Análise de Variância											
FV	GL	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>EUA</i>	<i>EiC</i>	<i>Ci</i>	<i>Cl a</i>	<i>Cl b</i>	<i>Cl T</i>	<i>Carot</i>
Sal.(S)	3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Cult. (C)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Silício (Si)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S x Si x C	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloco	3	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	-	24,38	16,76	28,88	21,05	40,73	11,76	21,76	23,64	20,45	20,02

*, **, ns. Significativo a 5%, 1% pelo teste F e não significativo, respectivamente; FV: fontes de variação; CV: Coeficiente de variação.

Com base nos dados de condutância estomática aos 15 DAT (Figura 1A), os dados se ajustaram de forma quadrática e de acordo com a equação de regressão, a maior média de *gs* foi de 0,40 mol H₂O m⁻² s⁻¹ na CE_{sn} de 2,2 dS m⁻¹, ocorrendo decréscimos acentuados da *gs* a partir desse nível salino, com o menor valor registrado na CE_{sn} de 3,2 dS m⁻¹. Conforme os estudos de Soares et al. (2015) pesquisando a cultivar Tainá, usando água com diferentes composições catiônicas em sistema hidropônico tipo NFT, observaram valor de condutância estomática de 0,65 mol H₂O m⁻² s⁻¹ para plantas normais e 0,10 mol H₂O m⁻² s⁻¹ para plantas sob estresse.

Já Guerra, Costa e Tavares (2017) observaram valores variando de 0,92 a 1,13 mol m⁻² s⁻¹ quando avaliaram a cultivar Elba em diferentes condições de sombreamento, valores superiores ao encontrados na presente pesquisa. É importante notar que nos trabalhos citados, além de outros fatores, o material genético da alface influencia significativamente a variável em análise, mas o comum entre os estudos é que sempre em condições limitantes as plantas reduzem a condutância estomática, ou seja, fecham os estômatos.

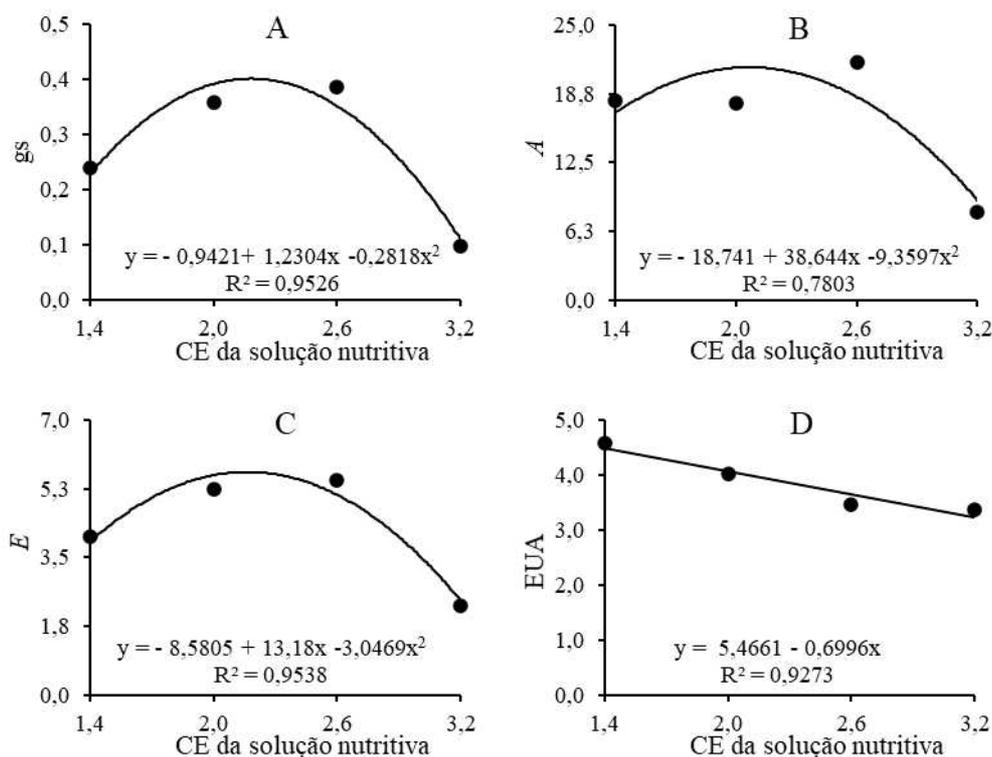


Figura 1. Condutância estomática - g_s (A), taxa de assimilação de CO_2 - A (B) transpiração - E (C) e eficiência do uso da água - EUA (D) da alface crespa em sistema hidropônico com solução nutritiva de diferentes salinidades, aos 15 dias após o transplântio (DAT).

O incremento da salinidade da solução nutritiva exerceu efeito quadrático na taxa de assimilação de CO_2 de alface aos 15 DAT e, conforme a equação de regressão (Figura 1B) o maior valor ($21,14 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi quando as plantas foram irrigadas com a solução de até $2,1 \text{ dS m}^{-1}$ e na sequência decréscimo dessa variável, cujo o menor valor foi de $8,01 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ obtido com a CEsn de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$. Para as trocas gasosas, a redução na taxa de assimilação de CO_2 , está associada ao decréscimo na condutância estomática (g_s), o que significa menor abertura do poro estomático para entrada de CO_2 e, consequentemente, menor taxa transpiratória (E).

Seguindo a mesma tendência observada para a g_s e A , a transpiração foi afetada pelo incremento da condutividade elétrica da solução nutritiva registrando o ponto máximo de $5,6 \mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ da equação de regressão na CE de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$, cujo menor valor foi registrado na CE da solução nutritiva de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ com redução de 43,28% quando comparada ao menor nível salino ($1,4 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 1C). A redução da condutância estomática, nesse caso, está estritamente relacionada a redução da transpiração. Santos et

al. (2010) trabalhando com a cultivar Saia Veia relataram que, a transpiração variou de 2,9 a 5,4 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. No trabalho de Guerra, Costa e Tavares (2017) a cultivar Elba apresentou valores de transpiração variando de 4,70 a 5,85 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

No entanto, com base nos resultados vê-se que A , g_s e E reduziram com o incremento da salinidade da solução nutritiva até atingirem um ponto de máximo, sendo que a partir desse ponto, ocorreu decréscimo em todos esses parâmetros. Para Rosa et al. (2014), em sistemas hidropônicos, normalmente, são encontrados valores mais elevados para a variável em análise. Os autores atribuem esse incremento ao aumento da concentração de CO_2 e temperatura em estufas, bem como a melhor disponibilidade de água e nutrientes minerais.

Na Figura 1D, nota-se efeito linear decrescente sobre a eficiência do uso da água das plantas de alface aos 15 DAT em função do incremento na salinidade da solução nutritiva, sendo observada uma diminuição de 0,69 $\mu\text{mol mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por aumento unitário de CE em relação ao tratamento controle (1,4 dS m^{-1}). É um efeito que pode estar relacionado com a diminuição do potencial total da água, devido à alta concentração de sais solúveis e a maior transpiração das plantas no início do estresse (Guimarães et al., 2019).

Além disso, a absorção de água pela planta ocorre através de um processo passivo, mas que depende do gradiente de potencial de água ($\Delta\Psi_w$); diferentes CE da solução nutritiva reduzem a energia livre da água e, conseqüentemente, o gradiente de potencial da água (Taiz et al., 2017), esses resultados reforçam a hipótese de que sob condições de cultivo hidropônico, a maior disponibilidade de água proporciona maior evapotranspiração que, contribui com a redução da eficiência.

A concentração interna de CO_2 (C_i) aos 15 DAT diferiu entre os níveis de salinidade da solução nutritiva apresentando comportamento quadrático, com a maior C_i (249,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) na CESn de 2,4 dS m^{-1} decrescendo até 3,2 dS m^{-1} (Figura 2A). A entrada de CO_2 no ciclo de carboxilação (Calvin-Benson) se dá por meio da ribulose-1,5-bifosfato catalisada pela enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco). Portanto, pode ter ocorrido alteração na atividade da Rubisco, que tanto pode ser redução da atividade da enzima por meio da ação de inibidores ou pela própria competição entre a carboxilação/oxigenação, tendo em vista que, as duas reações competem pela Rubisco. Mesmo sem variação na concentração interna de CO_2 , houve alteração na fotossíntese. A relação existente entre a fotossíntese e a condutância estomática é fomentada pela

concentração interna de CO₂, como normalmente o fechamento dos estômatos provoca redução na concentração de CO₂, com isso, a fotossíntese é afetada.

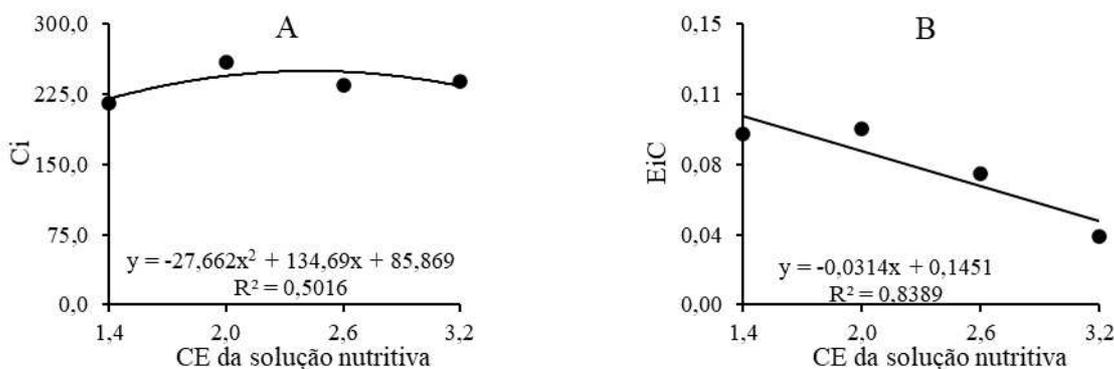


Figura 2. Concentração interna de CO₂ – *Ci* (A) e eficiência instantânea da carboxilação – *EiC* (B) da alface crespa em sistema hidropônico com solução nutritiva de diferentes salinidades, aos 15 dias após o transplantio (DAT).

A eficiência instantânea da carboxilação decresceu de forma linear com o aumento da salinidade da solução nutritiva. Conforme estudo de regressão (Figura 2B) observa-se redução de 59,34% quando comparados a CEsn de 3,2 dS m⁻¹ com o menor nível de salinidade da solução nutritiva 1,4 dS m⁻¹.

Para Silva et al. (2015), a eficiência instantânea de carboxilação depende da disponibilidade de CO₂ no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e da atividade enzimática para que haja fotossíntese. Isso indica que, a concentração da solução nutritiva afeta a capacidade de fixar CO₂ na fase carboxilativa, por limitações não estomáticas, possivelmente, pela alteração na atividade do aparelho fotossintético, reduzindo então, a taxa de fotossíntese. Outra possível causa seria a alteração das reações de regeneração da ribulose-1,5-bifosfato, pois, para Galmés et al. (2013), a rubisco tem sua atividade carboxilase afetada em condições de estresse por causa do aumento da concentração de inibidores, redução da regeneração de ribulose-1,5-bisfosfato, entre outros fatores.

Os teores de clorofila a, b e totais tiveram comportamentos semelhantes com aumento dos pigmentos fotossintetizantes em função das salinidades das soluções nutritivas teores a partir do nível de 2,2 dS m⁻¹ até a salinidade de 3,5 dS m⁻¹ (Figuras 3A, 3B e 3C), com valores máximos de 4,65, 1,99 e 6,65 mg g⁻¹ MS, respectivamente. De acordo com Mao et al. (2007), clorofila é o principal pigmento fotossintético e a quantificação do seu teor reflete na taxa fotossintética. Outros autores sugerem que a

variação no teor de pigmento pode fornecer informações sobre o desempenho fisiológico e capacidade fotossintética das folhas, bem como a presença de estresse ou doenças (Bacha et al., 2017).

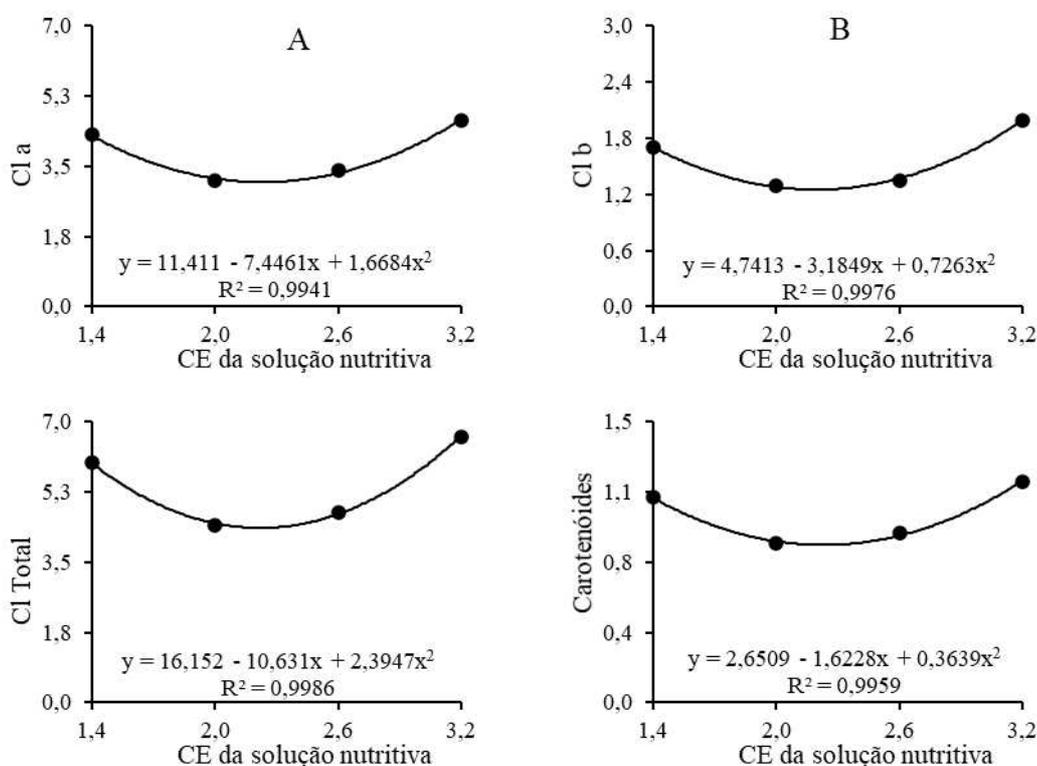


Figura 3. Clorofila a – Cl a (A), clorofila b – Cl b (B), clorofila total – Cl total (C) e carotenóides (D) da alface crespa em sistema hidropônico com solução nutritiva de diferentes salinidades, aos 15 dias após o transplântio (DAT).

De forma semelhante aos dados de clorofilas, os teores de carotenóides se ajustaram ao modelo quadrático crescente em função do aumento da salinidade, em que o comportamento aumentou a partir da CE de 2,2 dS m⁻¹ (Figura 3D). Além de atuarem como pigmentos receptores de luz, os carotenóides protegem as clorofilas do excesso de radiação, neutralizando a ação dos radicais livres que prejudicam as células (Marengo; Lopes, 2009). O aumento nos teores de carotenóides é importante para o aumento na produção de antioxidantes enzimáticos e/ou não enzimáticos. O aumento do conteúdo de compostos antioxidantes não enzimáticos desempenha um papel importante na diminuição do estresse oxidativo nas plantas.

4 CONCLUSÕES

Soluções nutritivas com condutividades elétricas no intervalo de 1,4 a 2,4 dS m⁻¹ podem ser utilizadas na produção de alface hidropônico sem ocasionar interferência nos processos fisiológicos das plantas.

A elevação da condutividade elétrica acima de 2,4 dS m⁻¹ da solução nutritiva compromete as trocas gasosas da cultura da alface cultivada em sistema hidropônico tipo NFT.

Incrementos na condutividade elétrica da solução nutritiva acima de 2,4 dS m⁻¹ aumentam os pigmentos fotossintetizantes das plantas de alface.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, A. F.; Gomes Filho, E.; Bezerra, M. A.; Prisco, J. T.; Lacerda, C. F. de. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.113-121, 2010.
- Bacha, H.; Tekaya, M.; Drine, S.; Guasmi, F.; Touil, L.; Enneb, H.; Triki, T.; Cheour, F.; Ferchichi, A. Impact of salt stress on morphophysiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* cv. Microtom leaves. *South African Journal of Botany*, v.108, p.364-369, 2017.
- Bliska, J. A.; Honório, S. L. Cartilha tecnológica: hidroponia. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1996. 51p.
- Brito, M. E.; Soares, L. A.; Soares Filho, W. S.; Fernandes, P. D.; Silva, E. C.; Sá, F. V.; Silva, L. A. Emergence and morphophysiology of Sunki mandarin and other citrus genotypes seedlings under saline stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v.16, e0801, 2018.
- Cantuário, F. S.; Luz, J. M. Q.; Pereira, A. I. A., Salomão, L. C.; Rebouças, T. N. H. Podridão apical e escaldadura em frutos de pimentão submetidos a estresse hídrico e doses de silício. *Horticultura Brasileira*, v.32, p.215-219, 2014.
- Ferreira, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista brasileira de biometria*, v.37, p.529-535, 2019.
- Furlani, P. R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia – NFT. Campinas: Instituto Agronômico, (Documentos IAC, 168). 1998. 30 p.
- Furlani, P. R.; Silveira, L.C.P.; Bolonhezi, D.; Faquin, V. Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico. Artigo em Hypertexto. 2009.
- Galmés, J.; Aranjuelo, I.; Medrano, H.; Flexas, J. Variation in Rubisco content and activity under variable climatic factors. *Photosynthesis Research*, v.117, p.73-90, 2013.
- Gao, X.; Zou, C.; Wang, L.; Zhang, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, v.29, p.1637-1647, 2006.
- Guerra, A. M. N. M.; Costa, A. C. M.; Tavares, P. R. F. Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sombreamento. *Revista Agropecuária Técnica*, v.38, p.125-132, 2017.
- Guimarães, R. F. B.; Maia Júnior, S. O. de; Nascimento, R. do; Melo, D. F. de; Ramos, J. G.; Andrade, J. R. de. Trocas gasosas em cultivares de alface crespa em cultivo hidropônico com água salina. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.13, p.3599-3609, 2019.
- Hendry, G. A. F.; Prince, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G. A. F.; Grime, J. P. (Eds.) *Methods in comparative plant ecology*. London: Chapman Hall. p.148-152. 1993.

- Lemos Neto, H. S. de; Guimarães, M. A. de; Sampaio, I. M. G.; Hedges, R. A. A. de; Oliveira, A. B. de; Medeiros Filho, S. de. Silicon (Si) reduces the effects of salt stress on germination and initial growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Australian Journal of Crop Science*, v.12, p.1410-1418, 2018.
- Lichtenthaler, K.; Welburn, A.R. Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls A and B of Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, v.11, p.591-592, 1983.
- Mao, L. Z.; Lu, H. F.; Wang, Q.; Cai, M. M. Comparative photosynthesis characteristics of *Calycanthus chinensis* and *Chimonanthus praecox*. *Photosynthetica*, v.45, p.601-605, 2007.
- Marenco, R. A.; Lopes, N. F. *Fisiologia Vegetal*. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 486p.
- Munns, R.; Tester, M. Mechanism of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p.651-681, 2008.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, Washington: U.S, Department of Agriculture, 1954.
- Rosa, A. M.; Seó, H. L. S.; Volpato, M. B.; Foz, N. V.; Silva, T. C. D.; Oliveira, J. L. B.; Pescador, R.; Ogliari, J. B. Production and photosynthetic activity of Mimosa Verde and Mimosa Roxa lettuce in two farming systems. *Revista Ceres*, v.61, p.494-501, 2014.
- Sala, F. C.; Costa, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, v.30, p.187-194, 2012.
- Santos, C. M. dos; Endres, L.; de Araújo Gomes, T. C.; Jadoski, C. J.; de Nascimento, L. A.; dos Santos, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.3, p.1-8, 2010.
- Silva, F. G. da.; Dutra, W. F.; Dutra, A. F.; Oliveira, I. M. de; Filgueiras, L. M. B.; Melo, A. S. de. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.19, p.946-952, 2015.
- Soares, H. R.; Silva, Ê. F. de F. E.; Silva, G. F. da; Pedrosa, E. M.; Rolim, M. M.; Santos, A. N. Lettuce growth and water consumption in NFT hydroponic system using brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.636-642, 2015.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.