



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM



DISSERTAÇÃO

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ALFACE HIDROPÔNICO
SUBMETIDO À SALINIDADE COM USO DE SILÍCIO

TANKPINOU RICHARD KETOUNOU

Orientador: Prof. Ronaldo do Nascimento
Área de Concentração: Irrigação e drenagem

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO - 2022

TANKPINOU RICHARD KETOUNOU

**CRESCIMENTO E ECOFISIOLOGIA DE ALFACE HIDROPÔNICO
SUBMETIDO À SALINIDADE COM USO DE SILÍCIO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal da Paraíba como parte da exigência do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e drenagem

Orientador: Prof. Ronaldo do Nascimento

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO - 2022

K43c Ketounou, Tankpinou Richard.
Crescimento e produtividade de alface hidropônico submetido à salinidade com uso de silício / Tankpinou Richard Ketounou. – Campina Grande, 2022.
27 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento, Prof. Me. Jailson Lopes da Penha”.

Referências.

1. Alface Hidropônico. 2. Hortaliças. 3. Salinidade. 4. Solução Nutritiva. 5. Irrigação e Drenagem. I. Nascimento, Ronaldo do. II. Penha, Jailson Lopes da. III. Título.

CDU 635.52:631.62/.67(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225



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

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

TANKPINOU RICHARD KETOUNOU

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE ALFACE
HIDROPÔNICO SUBMETIDO À SALINIDADE
COM USO DE SILÍCIO

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

Aprovada em: 18/02/2022

Ronaldo do Nascimento - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFMG
Jose Dantas Neto - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFMG
José Alberto Ferreira Cardoso - Examinador(a) Externo(a) - IFTO



Documento assinado eletronicamente por **RONALDO DO NASCIMENTO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/03/2022, às 18:22, 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 30/03/2022, às 14:07, 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 **2140188** e o código CRC **C87556CD**.

SUMÁRIO

RESUMO:	Erro! Indicador não definido.
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
2.1 - Objetivo geral	10
2.2 - Objetivos específicos	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 - Localização dos experimentos	11
3.2 - Delineamento experimental	11
3.3 - Material vegetal e condições de cultivo	11
3.4 - Preparo e manejo da solução nutritiva.....	13
3.5 - Variáveis analisadas	13
3.5.1 Variáveis de crescimento e produção	14
3.5.2 - Variáveis fisiológicas	14
3.6 - Análise estatística	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

RESUMO

Diante do cenário de escassez hídrica sobretudo em regiões semiáridas, o cultivo hidropônico é uma alternativa viável à produção de hortaliças, visto que essa técnica utiliza água de forma racional e sem desperdícios, contudo faz-se necessário a adubação silicatada, método que vem sendo importante na contribuição do aumento da produção das hortaliças. Neste sentido, objetivou-se avaliar o crescimento e a produção de cultivares de alface sob diferentes níveis salinos com uso de silício. O experimento foi realizado em ambiente protegido, na Propriedade Rural Vale dos Ipês, localizado no município de São Mamede-PB. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas com fatores arrançados em esquema fatorial 4x2x2, sendo quatro concentrações salinas (1,4; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m⁻¹), duas doses de Si (silicato de potássio) (0,0; 0,6 mM) e duas cultivares de alface crespa (Leila (C1) ; Isabel (C2)), totalizando 16 tratamentos com 8 repetições. Foram analisados os parâmetros fisiológicos e de crescimento; as trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos (as clorofilas a, b e total e carotenoides). A salinidade reduziu as variáveis fisiológicas e de crescimento das plantas aos 15 dias após o transplante e as soluções nutritivas com CE até 2,4 dS m⁻¹ são recomendadas para a produção de alface. As trocas gasosas reduziram com o aumento da salinidade da solução nutritiva a partir do nível de 2,2 dS m⁻¹. Houve decréscimos na eficiência do uso da água com o incremento da salinidade. A variação dos pigmentos fotossintetizantes foi crescente com o aumento da CE a partir de 2,2dS m⁻¹. O silício possibilitou um melhor aproveitamento influenciando positivamente as variáveis analisadas; e seu uso é aconselhável no cultivo hidropônico da alface.

Palavras-chaves: hortaliça, salinidade, solução nutritiva

SUMMARY

Faced with the scenario of water scarcity, especially in semi-arid regions, hydroponic cultivation is a viable alternative to the production of vegetables, since this technique uses water rationally and without waste, however, silicate fertilization is necessary, a method that has been important in the contribution of the increase in the production of vegetables. In this sense, the objective was to evaluate the growth and production of lettuce cultivars under different saline levels using silicon. The experiment was carried out in a protected environment, at the Vale dos Ipês Rural Property, located in the municipality of São Mamede-PB. The experimental design used was in subdivided plots with factors arranged in a 4x2x2 factorial scheme, with four saline concentrations (1.4; 2.0; 2.6 and 3.2 dS m⁻¹), two doses of Si (potassium silicate) (0.0; 0.6 mM) and two crisp lettuce cultivars (Leila (C1); Isabel (C2)), totaling 16 treatments with 8 replications. Physiological and growth parameters were analyzed; gas exchange and photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total and carotenoids). Salinity reduced physiological and plant growth variables 15 days after transplanting and nutrient solutions with EC up to 2.4 dS m⁻¹ are recommended for lettuce production. Gas exchanges decreased with increasing salinity of the nutrient solution from the level of 2.2 dS m⁻¹. There were decreases in water use efficiency with increasing salinity. The variation of photosynthetic pigments increased with the increase in EC from 2.2 dS m⁻¹. Silicon enabled a better use, positively influencing the analyzed variables; and its use is advisable in the hydroponic cultivation of lettuce.

Keywords: vegetable, salinity, nutrient solution

1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertencente à família Asteraceae, é originária da região do Mediterrâneo, tem sido cultivada há bastante tempo no mundo inteiro sendo apreciada na alimentação humana (FAVARATO et al., 2017). É uma cultura amplamente cultivada por vários tipos de horticultores, graças a sua facilidade de cultivo e precocidade de ciclo após o transplântio (SALA; COSTA, 2012).

A produção mundial de alface em 2018 totalizou 27,3 milhões de toneladas, em uma área de 1,27 milhões de hectares (FAO, 2020). Sua importância econômica, alimentar e seu consumo, vem aumentando devido à mudança no hábito alimentar da população, isso se deve ao fato de ser uma boa fonte de vitaminas e sais minerais, além de apresentar baixo valor calórico (MONTEIRO et al., 2015)

O cultivo da alface 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, aliada a condições de altas temperaturas, umidade e luminosidade têm provocado dificuldades na sua utilização, entre elas distúrbios fisiológicos nas plantas podem ser considerados como as mais preocupantes, expressando-se na forma de murcha excessiva nas horas mais quentes do dia, queima das bordas das folhas e perda na produtividade (FERNANDES et al., 2018).

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 das plantas, ocasionando efeitos osmóticos, tóxicos, de ordem nutricional que levam a redução do crescimento, podendo ser potencializados pelo estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra no momento de exposição a salinidade da solução (DIAS et al., 2011).

O cultivo de alface sem solo tornou-se difundido na região Nordeste com a aplicação da técnica do cultivo em substratos com fertirrigação em sistemas abertos, isto é, sem aproveitamento da solução nutritiva lixiviada. Porém, segundo Andriolo (2017), esta técnica apresenta como grandes limitações os custos com desinfecção de recipientes, a aquisição de substrato e o alto consumo de água e nutrientes, bem como o impacto ambiental gerado pela solução nutritiva drenada do sistema, a qual pode levar a eutrofização do solo ou corpos de

água. Com isso, o cultivo hidropônico em sistema NFT (Nutrient Film Technique) é uma boa alternativa para esta atividade, visto que as limitações já descritas não estão presentes.

A concentração salina da solução nutritiva utilizada em um sistema NFT deve ser ajustada em função de diversos fatores que afetam a taxa de absorção de água e nutrientes, como temperatura e umidade do ar, radiação solar, vento, cultivar, estágio fisiológico, entre outros (ANDRIOLO, 2017).

Para amenizar os efeitos deletérios da salinidade, as plantas utilizam diferentes estratégias, e uma das formas que tem sido preconizada pela literatura, ainda que de forma insuficiente, sobretudo para hortaliças, é o fornecimento do silício como atenuador de estresses abióticos (salinidade, seca, toxicidade por alumínio, metais pesados, desequilíbrio nutricional, radiação, alta temperatura e congelamento), (LEMOS NETO et al., 2018; LIANG et al., 2007; KIM et al., 2011; BOCKHAVEN; VLEESSCHAUWER; HÖFTE, 2013).

A utilização do silicato de potássio como atenuante da salinidade nas plantas vem sendo estudada ao longo dos anos em algumas culturas, como milho, algodão, soja, tomate (GUO et al., 2006; 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 é essencial informações sobre esta cultura, principalmente os que relacionam os efeitos da salinidade da água em cultivo hidropônico.

Diante disso, objetivou-se com este projeto investigar a ação do silício sobre os parâmetros de crescimento e fisiológicos de cultivares de alface hidropônico submetidos à salinidade.

2. OBJETIVOS

2.1 - Objetivo geral

Avaliar os efeitos da salinidade e do silicato de potássio em duas cultivares de alface cultivadas em hidroponia.

2.2 - Objetivos específicos

- ❖ Avaliar os efeitos da salinidade sobre as características de crescimento e fisiológicas da alface de cultivo hidropônico;
- ❖ Analisar os efeitos da dose de silicato de potássio na solução nutritiva sob os parâmetros fisiológicos, de crescimento, morfológicos, da alface hidropônica submetida à estresse salino;
- ❖ Avaliar os efeitos da salinidade e do silício sobre parâmetros de trocas gasosas e sobre os pigmentos fotossintéticos das cultivares de alfaces.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização do experimento

O experimento foi conduzido entre setembro a outubro de 2021, na Propriedade Rural Vale dos Ipês, localizado ao município de São Mamede-PB, sob 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 de São Mamede encontra-se delimitado dentre o semiárido brasileiro, com clima quente e seco, compreendida dentre 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%.

3.2 - Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado fora em parcelas subdivididas em que os fatores estudados são arranjos em esquema fatorial 4x2x2, totalizando 16 tratamentos com 8 repetições.

O primeiro fator correspondeu a quatro condutividade elétrica distintas (1,4; 2,0; 2,6 e 3,2 dS m⁻¹) combinados com duas doses de Si (silicato de potássio); duas concentrações de solução nutritiva (0,0; 0,6 mM) e duas cultivares de alface crespa: a Leila (C1) e a Isabel (C2).

3.3 - Material vegetal e condições de cultivo

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 as quais foram mantidas na sombra por 24 h. Logo após, foram encaminhadas para o berçário de mudas onde permaneceram por 2 semanas e passaram a receber adubação via solução nutritiva recomendada por Furlani et al. (1998) com 50% da força iônica para suprir possíveis demandas nutricionais das plântulas.

No interior da casa de vegetação há 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% para permitir que a solução referente a cada tratamento percorra o perfil apenas por gravidade, onde ao final do perfil encontra-se uma estrutura montada para direcionar a solução até a tubulação de retorno para o reservatório, também por gravidade.

Salienta-se que 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.

A solução nutritiva foi preparada com água de abastecimento, após análise físico-química pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG foi feita a formulação ajustando-a de acordo com a metodologia de Richard (1954) para simular água salina e chegar a uma CE final da solução nutritiva de $3,2 \text{ dS m}^{-1}$ tomando por base Guimarães et. al. (2018). Ao atingirem de 6 a 8 folhas definitivas, aproximadamente 15 dias, as plântulas foram transplantadas para bancada definitiva onde foram submetidas aos tratamentos com as concentrações determinadas de silicato de potássio (12% de SiO_3 e 12% de P_2O). As doses de silicato de potássio (K_2SiO_3) foram 0,0 mM; 0,20 mM; 0,4 mM e 0,6 mM baseando-se na recomendação de Lemos Neto et al. (2020).

Para a circulação da solução nutritiva foram utilizadas quatro eletrobombas d'água para realizar a sucção e recalque da solução do reservatório aos perfis. As bombas trabalham "afogada", ou seja, num nível inferior ao da solução (do lado de fora do reservatório) para evitar a entrada de ar no sistema (as bombas submersas não são recomendadas porque a carcaça externa sofre muita corrosão, já que a solução nutritiva é uma solução salina).

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

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, no qual foi armazenada a solução nutritiva. Ressalta-se, entretanto, que se pretendeu deixar como bordadura duas plantas de cada perfil, a primeira e a última, com o intuito das plantas terem o mesmo nível de competição por luz e espaço para o seu crescimento normal.

Os tratos culturais foram realizados conforme necessidade, seguindo recomendações da cultura.

Os temporizadores foram programados para irrigações a cada 15 min durante o dia (BLISKA; HONÓRIO, 1996) e intervalos de 1 h 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 foi realizada através de um condutivímetro portátil, no qual o ajuste foi realizado através da diluição do tratamento com uma solução nutritiva de ajuste, previamente preparada conforme recomendação de Furlan et al. (1998) e armazenada em reservatório extra, ou através da adição de NaCl caso seja necessário 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 que ocorreu aos 24 DAT.

Também foi realizado o controle diário do pH, através de um pHmetro de bancada modelo LUCA-210, para que o mesmo se mantivesse 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 valores de temperatura e umidade relativa do ar (máxima e mínima) foram anotados diariamente utilizando higrômetro digital.

3.4 - Preparo e manejo da 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 Furlan et al. (1998).

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

3.5 - Variáveis analisadas

3.5.1 Variáveis de crescimento e produção

Foi analisado o número de folhas (NF) determinado pela contagem simples das folhas totalmente expandidas, e diâmetro caulinar (DC) por meio de um paquímetro digital.

A massa fresca das folhas (MFF) e a massa fresca total (MFT) foram analisadas, logo após a retirada das plantas dos perfis através da pesagem.

A massa seca das folhas (MSF) na qual o material fresco foi previamente pesado, ficou acondicionado em sacos de papel devidamente identificados, e passaram pelo processo de secagem em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C por 72 h, após esse procedimento, foi feita a pesagem final para se obter a massa da matéria seca.

As pesagens foram realizadas em balança analítica de precisão 0,0001 g. Área foliar total (AF), sendo determinado pelo método de Benin casa (1986).

3.5.2 - Variáveis fisiológicas

Foram mensurados o Índice SPAD (Plant Analysis Development) através de medidor portátil SPAD- 502, seguindo os procedimentos adotados por Guimarães (1998).

Os teores de clorofila a, b e carotenoides foram determinados, seguindo o método proposto por Arnon (1949).

Assim, com auxílio de um vazador circular foram retirados 11 círculos de tecido vegetal do terço médio das folhas, dos quais 5 círculos das folhas foram usados para determinação do extravasamento dos eletrólitos os 5 outros para determinação do teor relativo de água e 1 círculo das folhas que posteriormente, foi macerado e colocado em recipientes adicionando-se 6 ml de acetona, 80% para determinação de pigmentos fotossintéticos. Os pigmentos fotossintéticos, clorofila 'a', 'b', 'totais' e 'carotenoides' foram obtidos utilizando um espectrofotômetro nas absorbâncias 470 (), 647 (clorofila b) e 663 (clorofila a), com os resultados expressos em mg g⁻¹ MS através das equações descritas Lichtenthaler (1987), (Eqs.1, 2, 3 e 4), respectivamente.

$$Ca = 12,25A663 - 2,79A645 * \frac{V}{1000M} \quad (1)$$

$$Cb = 21,50A6455 - 55,10A663 * \frac{V}{1000M} \quad (2)$$

$$Ctotal = 7,15A663 + 18,71A645 * \frac{V}{1000M} \quad (3)$$

$$Cx + c = \frac{1000A470 - 1,82 Ca - 85,02Cb}{198} * \frac{V}{1000M} \quad (4)$$

Em que:

Ca - clorofila a (mg g⁻¹ de massa seca);

Cb - clorofila b (mg g⁻¹ de massa seca);

Ctotal - clorofila total (mg g⁻¹ de massa seca),

Cx + c - carotenoides (mg g⁻¹ de massa seca);

V - volume da amostra (mL); e

M - massa seca da amostra.

Também foi mensurado o dano celular por meio do extravasamento de eletrólitos em que os 5 círculos de folhas foram colocados em água destilada e medidos as condutividades elétricas EC1 no início, e 24 h depois foram medidos novamente o EC2, sendo calculado o dano celular com a porcentagem da condutividade elétrica (EC1) da solução banho e da condutividade elétrica (EC2) medida após banho-maria através da equação descrita por Si et al., (2006) : $EC1 / EC2 \times 100$ Eq. 5.

O teor relativo de água (TRA) mensurado foi determinado segundo metodologia de Cairo (1995). Para obtenção da fitomassa fresca (PF), 5 círculos de folhas completamente expandidas de cada planta foram destacadas e, imediatamente, pesadas em balança com precisão de 0,001 g; para determinação do peso das folhas túrgidas (PT), as 5 folhas coletadas foram imersas em água destilada, durante 12 h, após serem enxugadas, pesadas e os valores anotados; o peso da matéria seca (PS) foi obtido por secagem dessas folhas em estufa, conforme descrito anteriormente. Obter-se-á o TRA com a seguinte equação, contida em Cairo (1995):

$$\text{TRA} = (\text{PF-PS})/(\text{PT-PS}) \times 100$$

Em que:

PF, PS e PT representam, respectivamente, o peso da matéria fresca, o peso da matéria seca e o peso das folhas túrgidas.

As trocas gasosas foram realizadas no terceiro par de folhas totalmente expandidas, utilizando-se um analisador de gás por vermelho – IRGA (Infra-Red Gas Analysis) modelo, LI-6400XT, Licor, USA.

Serão mensurados a fotossíntese líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), razão entre a concentração de CO_2 interna e a ambiente (C_i/C_a), eficiência instantânea de carboxilação (E_iC), obtida pela razão entre A e C_i , e eficiência instantânea de uso da água ($E_iUA - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$), calculada pela razão entre A e E . Essas avaliações terão início entre 8 h e 11h, em dia de céu limpo.

3.6 - Análise estatística

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do resumo da análise de variância, observou-se que houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) do fator salinidade sobre todas as variáveis de crescimento estudadas, não sendo registrado efeito significativo dos fatores cultivares e silício como também entre suas interações sobre essas mesmas variáveis analisadas (Tabela 1)

Tabela 1. Resumo da análise de variância referente as variáveis de número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), 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

Análise de Variância							
FV	G.L.	NF	DC	MFPA	MFT	MSF	MST
Salinidade (S)	3	**	**	**	**	**	**
Cultivar (C)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Silício (Si)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S x C	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C x Si	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S 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 5%, 1% pelo teste F e não significativo, respectivamente; FV: fontes de variação; CV: coeficiente de variação

De acordo com a equação de regressão (Figura 1A), observa-se que houve efeito quadrático dos níveis de CEa da solução nutritiva sobre o NF, em que foi notado um aumento do número de folhas com acréscimo no percentual de 10,9% até a salinidade 2,4 dS m⁻¹ e um decréscimo acentuado no número de folhas das plantas de alface quando a salinidade passou acima de 2,4 dS m⁻¹. A redução do número de folhas também foi observada por Paulus et al., (2012), que cultivaram a alface crespa cv. Verônica sob salinidade da solução nutritiva evidenciaram as reduções aos 23 dias após o transplântio.

Por outro lado, os resultados são distintos aos encontrados por Fonseca et al. (2015), que trabalhando com as cultivares Pira roxa, Vitália e Gloriosa, submetidas a CEs de 1,8 dS m⁻¹ sob cultivo hidropônico no município de Dourados-MS, constatou que não houve diferença significativa com relação ao número de folhas das cultivares Pira Roxa e Vitália. Essas respostas das plantas ao meio salino dependem de suas características genéticas e das

condições do meio, podendo cultivares diferentes apresentarem respostas distintas a salinidade (GORHAM et al., 1988).

O diâmetro do caule (DC) das plantas alface em função do aumento da condutividade elétrica da água da solução nutritiva foram significativas se ajustando ao modelo matemático de equação quadrática (Figura 1B). O DC aumentou até o nível estimado de 2,4 dS m⁻¹, seguindo a mesma tendência do número de folhas. 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; ZEIGER, 2017).

Quanto a ação do Si sob os tratamentos, segundo Rizwan et al. (2015) é um fitorregulador de mudanças fisiológicas na planta, no qual diminui a taxa de transpiração, amplia a capacidade de ajuste osmótico, ou aumenta a absorção de água, proporcionando um melhor desenvolvimento vegetativo; entretanto, de acordo com Neves et al. (2020) a resposta ao Si varia entre cultivares de alface e, provavelmente, sofrem o efeito das condições ambientais durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas. Em estudo sobre a ação do Si na mitigação dos efeitos da salinidade em plantas de alface, Lemos Neto et al. (2018), não registraram efeito positivo do Si nas características de crescimento de alfaces cv. Lucy Brown submetidas a estresse salino, o que está de acordo com o presente trabalho. Neves et al. (2020) também apontaram efeito negativo para características de crescimento quando da adição do Si na solução nutritiva no cultivo sem solode alface cv. Veneranda, reduzindo o número de folhas da planta

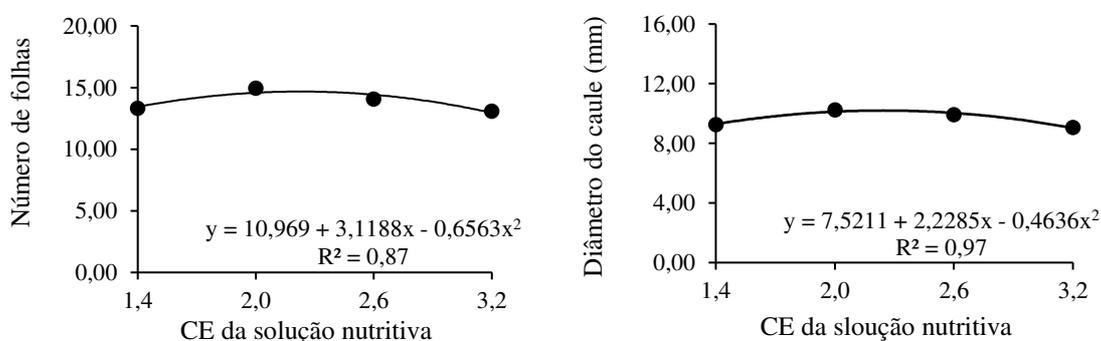


Figura 1. Número de folhas de alface (A) e diâmetro do caule (B) em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT

Com relação à massa fresca das folhas (MFPA) de alface, houve efeito significativo dos níveis de salinidade aos 15 DAT e, observou-se um efeito quadrático para dados de massa fresca em função da salinidade da solução nutritiva (Figura 2A). Estes 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, respectivamente). 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).

Em relação a Figura 2B, observa-se a massa fresca total das plantas de alface em função da salinidade da solução nutritiva em que esta variável se ajustou ao modelo quadrático com máxima estimada de 122,39 g quando cultivados sob condutividade elétrica de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ aos 15 DAT. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Fernandes et al. (2018), os quais estudando o efeito da salinidade da solução nutritiva na produção de alface americana em sistema NFT, obtiveram médias de 136,5 g por planta.

A MFF do presente trabalho também não sofreu influência quando da aplicação de Si solução nutritiva, divergindo com Machado (2020), o qual da mesma forma observou resposta positiva à aplicação de Si em solução nutritiva, independente da salinidade para a MFF de coentro e cebolinha. Semelhantemente Souza et al. (2018) registraram aumento da MFF de couve e acelga mediante aplicação de Si em seu cultivo, e relacionaram esse aumento ao fato do Si também ter favorecido o aumento na AP, corroborando assim com a presente pesquisa, em que se observou a mesma relação. Em contrapartida, Neves et al. (2020) registraram efeito negativo da adição do Si à cultura da alface, porém em detrimento ao aumento na dose desse elemento.

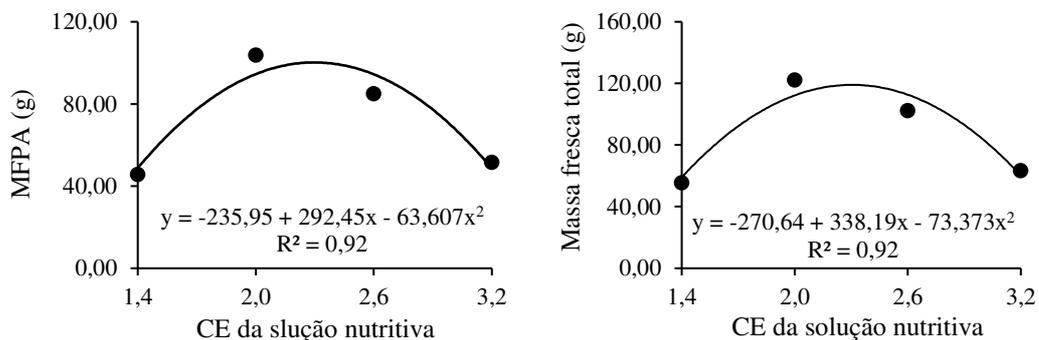


Figura 2. Massa fresca da parte aérea (A) e massa fresca total (B) em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT

O aumento da salinidade da solução nutritiva exerceu efeito quadrático sobre a massa seca das folhas de alface aos 15 DAT e, conforme a equação de regressão verifica-se (Figura 3A) que o maior valor (5,04 g) foi observado quando as plantas foram irrigadas com a solução de até 2,3 dS m⁻¹ ocorrendo em seguida, decréscimo desta variável, cujo o menor valor foi de 3,98 g obtido quando se utilizou a CE da solução de 3,2 dS m⁻¹. As reduções da matéria seca da parte aérea estão corroborando com os encontrados por Soares et al. (2015), Paulus et al. (2010) e Santos et al. (2010), os quais relataram redução linear da MSPA da alface hidropônica em função do aumento da salinidade da água.

Verifica-se na Figura 3B, comportamento semelhante entre a MFPA e MST em que o acréscimo da salinidade da solução nutritiva desempenhou efeito quadrático sobre a massa total das plantas de alface aos 15 DAT e, de acordo a equação de regressão observa-se que o maior valor da MST (6,99 g) foi constatado quando as plantas foram irrigadas com a solução de até 2,4 dS m⁻¹ ocorrendo em seguida, decréscimo desta variável, cujo o menor valor foi de 4,75 g obtido quando se utilizou 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).

Quanto à MSF, Santos et al. (2020) indicaram que o aumento na concentração de sais durante o cultivo de hortaliças prejudica a massa seca das culturas. Na cultura da alface, Santos et al. (2019) também observaram a redução da MSF em detrimento ao aumento nos

níveis de salinidade na água de irrigação, sendo esse comportamento um indicativo de aumento do status hídrico da planta, ou seja, uma capacidade de retenção de água muito maior.

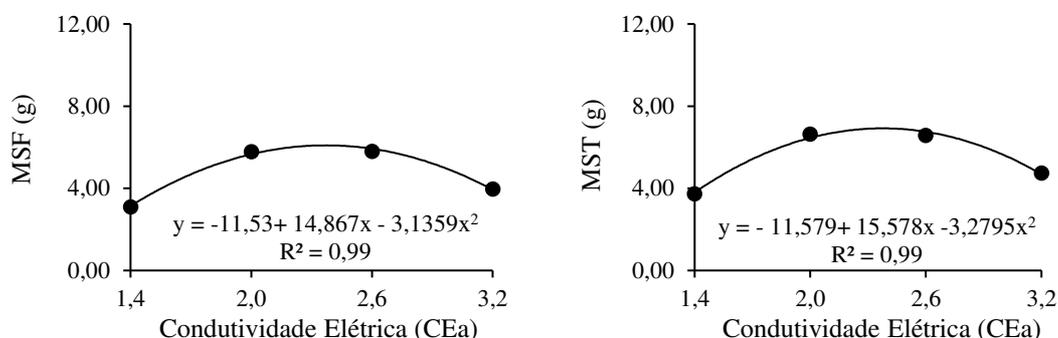


Figura 3. Massa seca das folhas (A) e massa seca total (B) das plantas de alface em função da variação da condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico aos 15 DAT

Pelos resultados das análises das variâncias (Tabela 2), verifica-se que houve efeito significativo isolado ($p \leq 0,05$) dos níveis de salinidade da solução nutritiva sobre todas as variáveis de trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos estudadas aos 15 DAT, enquanto os fatores isolados de cultivares e doses de silício não diferiram estatisticamente. Também não ocorreu efeito significativo entre a interação dos fatores proposto no presente estudo.

Tabela 2. Resumo da análise de variância referente as 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 T) e carotenoides (Carot.) das cultivares de alface aos 15 DAT

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

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

CV: coeficiente de variação

Observando os dados de condutância estomática aos 15 DAT na Figura 4A, verifica-se que 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 da solução nutritiva de 2,2 dS m⁻¹, ocorrendo em seguida, um decréscimo acentuado da gs, com o menor valor registrado na CE de 3,2 dS m⁻¹. De acordo com estudos de Soares et al. (2015) pesquisando a cultivar Tainá, usando água com diferentes composições 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) constataram valores variando de 0,92 a 1,13 mol m⁻² s⁻¹ quando avaliaram a cultivar Elba em diferentes condições de sombreamento, valores estes superiores ao encontrados nesta pesquisa. É importante notar nos trabalhos citados acima que, além de outros fatores, o material genético da alface influencia significativamente a variável em análise, mas o que observa-se em comum entre os estudos é que sempre em condições limitantes as plantas reduzem a condutância estomática, ou seja, fecham os estômatos.

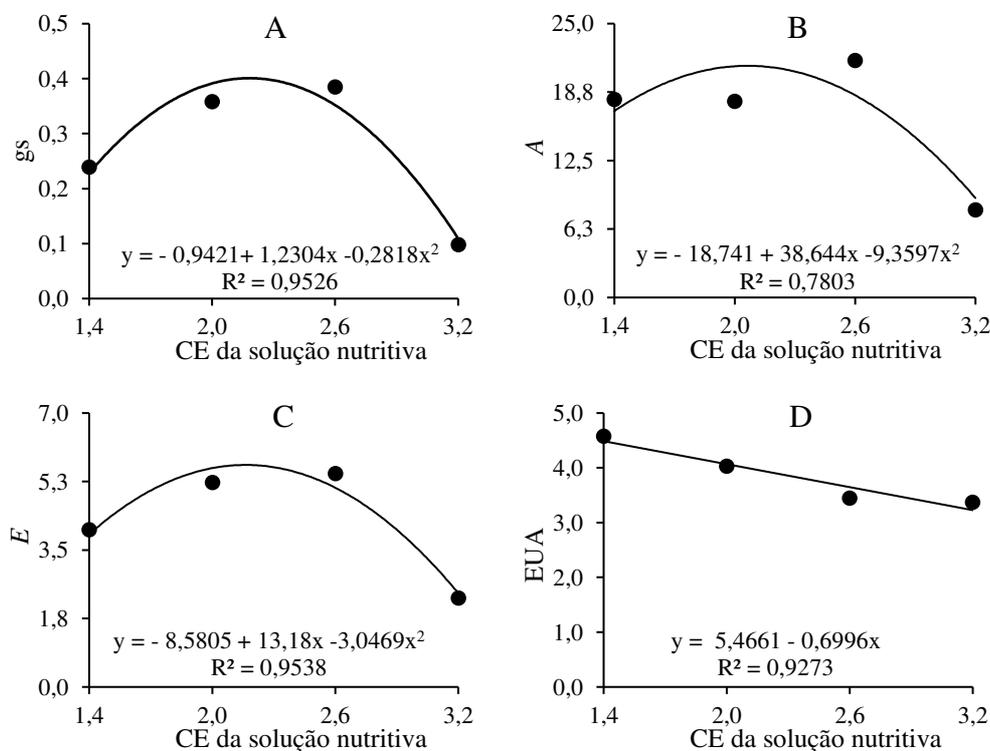


Figura 4. Condutância estomática - gs (A), taxa de fotossíntese líquida - A (B) transpiração - E (C) e eficiência do uso da água - EUA (D) em cultivares de alface cultivada em sistema

hidropônico com solução nutritiva de diferentes salinidades, aos 15 dias após o transplântio (DAT).

O incremento da salinidade da solução nutritiva exerceu efeito quadrático sobre a taxa de assimilação de CO₂ de alface aos 15 DAT e, conforme a equação de regressão verifica-se (Figura 4B) que o maior valor (21,14 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹) foi observado quando as plantas foram irrigadas com a solução de até 2,1 dS m⁻¹ ocorrendo em seguida, decréscimo desta variável, cujo o menor valor foi de 8,01 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹ obtido quando se utilizou a CE da solução de 3,2 dS m⁻¹. Para as trocas gasosas da alface, observa-se que a redução na taxa de fotossíntese (*A*), foi acompanhado do decréscimo na condutância estomática (*g_s*), o que significa menor abertura do poro estomático para entrada de CO₂ e, conseqüentemente, menor taxa transpiratória (*E*).

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 máximo, sendo que a partir desse ponto, ocorreu decréscimo em todos esses parâmetros. Segundo Rosa et al. (2014) normalmente em sistemas hidropônicos encontram-se valores mais elevados para a variável em análise. Os autores atribuem esse incremento ao aumento da concentração de CO₂ e temperatura em estufas, bem como a melhor disponibilidade de água e nutrientes minerais.

Seguindo a mesma tendência da *g* e *A*, a transpiração das cultivares de alface foram afetadas pelo incremento da condutividade elétrica da solução nutritiva, registrando o ponto máximo da equação de regressão na CE de 2,2 dS m⁻¹. O menor valor foi registrado na CE da solução nutritiva de 3,2 dS m⁻¹, que em comparação ao menor valor de CE (1,4 dS m⁻¹) reduziu 43,28% (Figura 4C). Pode-se observar que a redução da condutância estomática se apresentou como fator determinante para a redução da transpiração. Como em condições normais de cultivo, o gradiente de difusão que impulsiona a saída de água da folha por transpiração é muito maior que o gradiente que impulsiona a entrada de CO₂, a perda de água acaba sendo muito mais sensível a qualquer alteração na fenda estomática. Santos et al. (2010) trabalhando com a cultivar Saia Veia, relataram que a transpiração variou de 2,9 a 5,4 mmol m⁻² s⁻¹. No trabalho de Guerra, Costa e Tavares (2017) a cultivar Elba apresentou valores de transpiração variando de 4,70 a 5,85 mmol m⁻² s⁻¹.

O decréscimo de *E* e *A* aos 15 DAT, possivelmente também se deve ao fato de que a alface, com o passar dos dias, passou a sofrer estresse em decorrência do tempo de exposição

à solução nutritiva salina. Desse modo, diminuindo a transpiração em decorrência do estresse hídrico induzido, ocasionado pelo efeito osmótico, com consequente redução da taxa fotossintética. Resultados semelhantes foram apontados por Bosco et al. (2009) em estudo com a cultura da berinjela cultivada hidroponicamente sob diferentes níveis salinos, os quais também constataram que a solução nutritiva com CEs_n de 14,1 dS m⁻¹ causou reduções nas taxas de assimilação líquida de CO₂ e transpiração.

Embora a diminuição da taxa fotossintética esteja comumente associada à condutância estomática foliar em plantas submetidas a condições de salinidade (SILVA et al., 2010), no presente estudo não se pode atribuir este declínio apenas a esta condição já que *g_s* não foi muito afetada pela salinidade; logo pode-se considerar que esta reação pode ter ocorrido devido as limitações de origem não estomática, que para Lawlor (1995) podem estar relacionadas com possíveis danos fotoquímicos (fotoinibição e/ou fotoxidação) ou aos danos no aparato de fixação bioquímica do carbono

Verifica-se na Figura 4D, efeito linear decrescente sobre a eficiência do uso da água das plantas de alface no período de 15 DAT em função do incremento na salinidade da solução nutritiva, sendo a 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). Este efeito 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 que 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; ZEIGER, 2017) Esses resultados reforçam a hipótese de que sob condições de cultivo hidropônico, a maior disponibilidade de água proporciona maior evapotranspiração contribuindo com a redução da eficiência.

A concentração de carbono interno (*C_i*) aos 15 DAT diferiu entre os níveis de salinidade da solução nutritiva apresentando comportamento quadrático da equação de regressão, com a maior *C_i* na CE de 2,4 dS m⁻¹ (249, 8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), decrescendo a partir desta até 3,2 dS m⁻¹ (Figura 5A). A entrada de CO₂ no ciclo de carboxilação (ciclo de Calvin-Benson) se dar por meio da ribulose-1,5-bifosfato catalisada pela enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco). Portanto, deve ter havido alteração na atividade

da rubisco, que tanto pode ser pela redução da atividade da enzima por meio da ação de inibidores como pela própria competição entre a carboxilação/oxigenação, tendo em vista que ambas reações competem pela rubisco. Mesmo sem haver variação na concentração interna de CO₂, 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

Da mesma forma, o aumento do Ci aos 15 DAT, provavelmente, indica que o CO₂ não está sendo utilizado eficientemente para a síntese de açúcares pelo processo fotossintético (SILVA et al., 2015), fato comprovado pela depleção na taxa de fotossíntese líquida a partir dos 15DAT, quando o Ci começou a aumentar

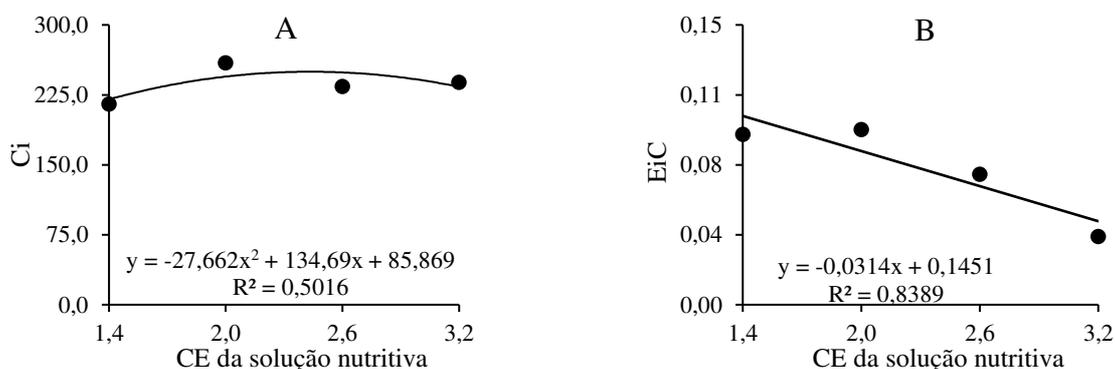


Figura 5. Concentração interna de CO₂ – Ci (A) e eficiência instantânea da carboxilação – EiC (B) em função da salinidade da solução nutritiva aos 15 dias após do transplântio

A eficiência instantânea da carboxilação decresceu de forma linear com o aumento da salinidade da solução nutritiva e, conforme estudo de regressão (Figura 5B) observa-se redução 59,34% quando comparados as salinidades de 3,2 dS m⁻¹ com o menor nível de salinidade da solução nutritiva 1,4 dS m⁻¹. No presente estudo constatou-se que a alteração na condutância estomática não foi suficiente para alterar a concentração interna de CO₂, mesmo assim observou-se variação na taxa de fotossíntese.

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 influencia a capacidade de fixar CO₂ na fase carboxilativa, por limitações não estomática, possivelmente pela alteração 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. Segundo Galmés et al. (2013), a rubisco tem sua atividade carboxilase afetada em condições de estresse, devido ao aumento da concentração de inibidores, redução da regeneração da enzima de ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (RuBisCO) que é a enzima responsável pela redução do carbono através do processo de carboxilação primária do ciclo de CalvinBenson (WALTER et al., 2015).

Os resultados desse estudo corroboram com os de Tatagiba et al. (2014), os quais sugerem que a diminuição da assimilação de CO₂, da condutância estomática e da transpiração das plantas pode ser provocada pelo excesso de íons

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

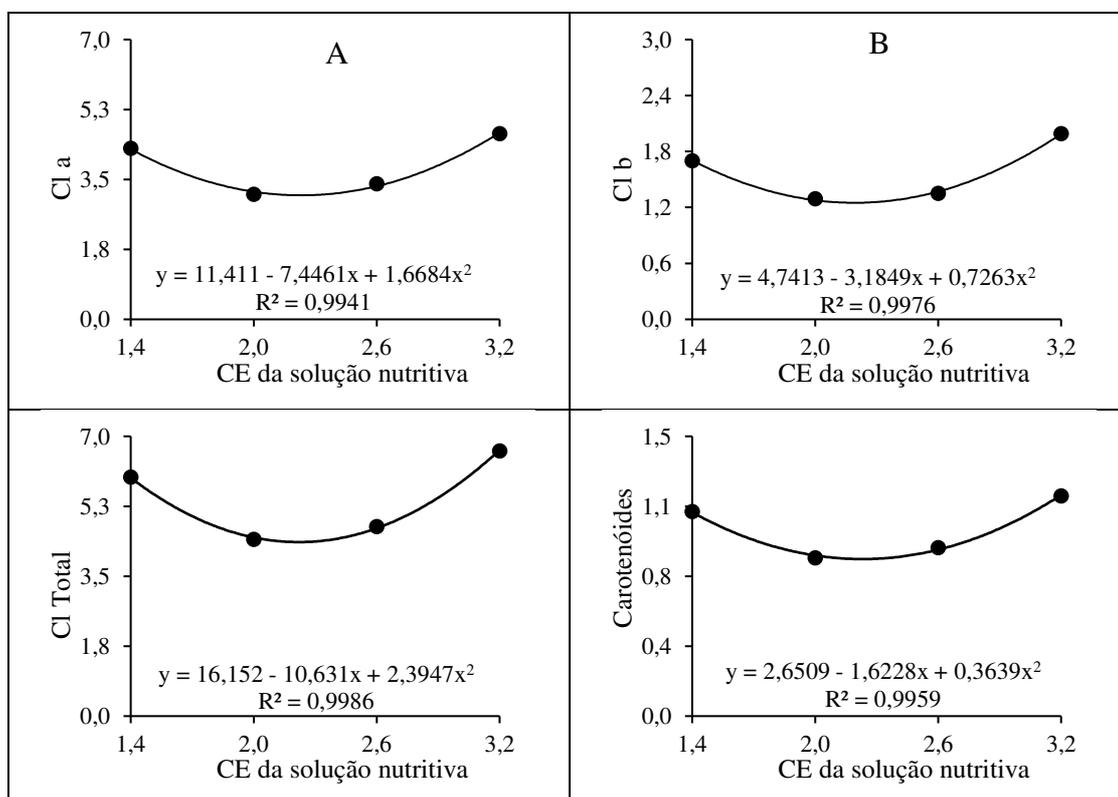


Figura 6. clorofila a – Cl a (A), clorofila b – Cl b (B), clorofila total – Cl total (C) e carotenoides (D) em função da salinidade das soluções aos 15 DAT

De forma semelhante ao conjunto de dados de clorofilas, os carotenoides se ajustaram ao modelo quadrático crescente em função do aumento da salinidade, em que o comportamento desta variável aumentou a partir da CE de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$. Além de atuarem como pigmentos receptores de luz, os carotenoides protegem as clorofilas do excesso de radiação, neutralizando a ação dos radicais livres os quais prejudicam as células (MARENCO; LOPES, 2009). O aumento nos teores de carotenoides 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.

5. CONCLUSÕES

1. Níveis crescentes a partir de $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ de CE da solução nutritiva reduz o número de folhas, o diâmetro do caule, a matéria fresca e seca das cultivares estudadas.
2. A utilização de água com CE até $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ é recomendada para a produção de alface tornando-se uma alternativa para os produtores com disponibilidade de águas de baixa qualidade.
3. Condutividades elétricas no intervalo de $1,4$ a $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ podem ser utilizadas na produção de alface sem ocasionar interferência nos processos fisiológicos das plantas.
4. A elevação da condutividade elétrica acima de $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ da solução nutritiva, por meio da adição de nutrientes essenciais, contribui para alterações em todas as variáveis de trocas gasosas da cultura da alface cultivada em sistema hidropônico tipo NFT.
5. Incrementos na CE da solução nutritiva acima de $2,4 \text{ dS m}^{-1}$ aumentam os pigmentos fotossintetizantes das plantas de alface.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. 3 ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2017
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, n.1, p.1-15, 1949
- 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.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise do crescimento de plantas: Noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 42p .1986.
- BLISKA J. A.; HONÓRIO, S. L. **Cartilha tecnológica: Hidroponia**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 51p. 1996.
- BOCKHAVEN, J. V.; VLEESSCHAUWER, D. D.; HÖFTE, M. Towards establishing broadspectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 5, p. 1281-1293, 2013.
- BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. de. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. *Revista Ceres*, v. 56, n. 3, p. 296- 302, 2009
- CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. 1. ed. Vitória da Conquista: UESB, 1995. 32p.
- 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**, p.72346-359, 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**, n.1, 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, n.10, 2011.

FAO - Food and Agricultural Organization - **Statistical Yearbook**. New York, 2020. Disponível em:< <http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 25 set. 2021.

FAVARATO, L. F.; GUARÇONI, R. C.; SIQUEIRA, A. P. Produção de alface de primavera/verão sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Científica Intelletto**, v. 2, p. 16-28. 2017.

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.

.

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, n.3, p. 2570-2578, 2018.

FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; 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 agronômicas de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 3, P. 383-388, 2009.

FURLANI, P. R. Instruções **para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia – NFT**. Campinas: Instituto Agronômico, (Documentos IAC, 168). 30p. 1998.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico**. Artigo em Hypertexto. 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm>. Acesso em: 5/11/2021

FONSECA, P. R. B., SCHUCK, M. B. & SILVA, J. A. N. (2015). Diferentes tipos de alface sob duas condutividades na hidroponia. **Revista Eletronica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra**. 5: 9-17.

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.

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** , v. 13, n. 4, p. 3599-3609, 2019.

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.

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, n. 3, p. 125-132, 2017.

GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R. D.; FERREIRA, D.; RAMOS, J. G., PEREIRA, M. D. O.; CARDOSO, J. A. F.; LIMA, S. C. Production of hydroponic lettuce under different salt levels of nutritive solution. **Journal Agricultural Science**, p. 242-252. 2017.

GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R.; RAMOS, J. G., LIMA, S. C. de; CARDOSO, J. A. F.; MELO, D. F. de. Acúmulo de fitomassa de cultivares de alface hidropônica submetidas à salinidade. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, 2017.

KIM, Y. H.; KHAN, A. L.; HAMAYUN, M.; KAMG, S. M.; BEOM, Y. J.; LEE, I. J. Influence of short-term silicon application on endogenous phytohormonal levels of *Oryza sativa* L. under wounding stress. **Biological Trace Element Research**. 144, n. 1-3, p. 1175-1185, 2011.

LAWLOR, D. W. Fotossíntese, produtividade e meio ambiente. **Journal of Experimental Botany**, v. 4, n. 1, p. 1449-1461, 1995.

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, n. 9, p. 1410-1418, 2018.

LEMOS NETO, H. de S; GUIMARÃES, M. de A; MESQUITA, R. O; SAMPAIO, I. M. G; HENDGES, A. R. A. de A; OLIVEIRA, A. B. de. Silicon potential as attenuator of salinity effects on growth and post-harvest quality of Lettuce. **Journal of Agricultural Science**. v. 10, n. 7, p. 455-463, 2018.

LIANG, Y. et al. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. **Environmental Pollution, Kidlington**, v. 147, p. 422–428, 2007.

LICHTENTHALER, H. K.; WELBURN, A. R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v. 11, n. 3, p.591-592, 1983.

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, n. 3, p. 497-505, 2015.

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.

MACHADO, M. S. Aplicação de silicato de potássio em coentro e cebolinha sobre estresse salino da solução nutritiva. Fortaleza, 2020. 76 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará

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.

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, n. 4, p. 1-16, 2015.

NEVES, M. G; PINHEIRO, S. M. G; CARDOSO, F. L; MACHADO, F. dos S. MAMBRI, A. P. de S; ANDRIOLO, J. L. Silence on growth and development of lettuce plants. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 1, p. 2330-2337, 2020

NEVES, M. G. **Metabolismo bioquímico, produção e avaliação pós-colheita em Plantas de alface submetidas à aplicação de silicato de cálcio foliar**. Belém, 2020. 57 f. Tese (Doutorado em Agronomia) -Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia.

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, n. 1, 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, n. 1, 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

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**, Washington: U.S, Department of Agriculture, 1954.

RIZWAN, M.; ALI, S.; IBRAHIM, M.; FARID, M.; ADREES, M.; BHARWANA, S. A. Mecanismos de silício mediado alívio de seca e salinidade em plantas: uma revisão. **Environmental Science Pollution Research International**, v. 22, p. 15416-15431, 2015

ROSA, A. M.; SEÓ, H. L.S.; VOLPATO, M. B.; FOZ, N. V.; SILVA, T. C. da; OLIVEIRA, J. L. B.; PESCADOR, R.; OGLIARI, B. Production and photosynthetic activity of Mimosa Verde and Mimosa Roxa lettuce in two farming systems. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, p. 494-501, 2014.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alface cultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 187-194. 2012.

SANTOS, J. F. dos; CRUZ, J. L; SOARES, T. M; CRUZ, A. M. L. Growth, water consumption and basil production in the hydroponic system under salinity. **Revista Ceres**. v. 66, n. 1, p. 45-53, 2019.

SANTOS, R. H. S. dos; DIAS, M. dos S; SILVA, F. de A. da; SANTOS, J. P. de O. S; SANTOS, S. C. dos; REIS, L. S; TAVARES, C. L. Desempenho da rúcula sob condições de sombreamento e níveis de salinidade da água de irrigação. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 4, p 38-45, 2020.

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, n. 1, p. 83- 93, 2010.

SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, C. de A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A. do; SANTOS, E. D. dos. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 3, p. 95-102, 2010.

SHI, Q.; BAO, Z.; ZHU, Z.; YING, Q.; QIAN, Q. Efeitos de diferentes tratamentos do ácido salicílico na tolerância ao calor, na fluorescência da clorofila e na atividade da enzima antioxidante em mudas de *Cucumis sativa* L. **Regulamento de Crescimento Vegetal**, v. 48, p. 127-135, 2006

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRASILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 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, n. 10, p. 946-952, 2015.

SOARES, H. R.; SILVA, E. F. de F. e; SILVA, G. F. da; PEDROSA, E. M. R.; 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, n. 7, p. 636-642, 2015.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; JORGE, C. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 705-714, 2010.

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, n.2, p.235-248, 2007.

SOUZA, J. Z. de; PRADO, R. de M; SILVA, S. L. de O; FARIAS, T. P; GARCIA NETO, J;SOUZA JÚNIOR, J. P. de. Silicon leaf fertilization promotes biofortification and increases dry matter, ascorbate content, and decreases post-harvest leaf water loss of chard and kale. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 50, p. 164-172, 2018

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6th. edn. Porto Alegre, Artmed. 2017.

TATAGIBA, S. D.; MORAES, G. A. B. K.; NASCIMENTO, K. J. T.; FIGUEIREDO PELOSO, A. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 138-149, 2014. <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/15745>

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO₂. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1564-1571, 2015