



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA  
MESTRADO EM FITOTECNIA

PATRYCIA ELEN COSTA AMORIM

**ADUBAÇÕES SILICATADAS EM MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.)  
IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS**

MOSSORÓ

2022

PATRYCIA ELEN COSTA AMORIM

**ADUBAÇÕES SILICATADAS EM MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.)  
IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

Orientador: Prof. Dr. Vander Mendonça

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A 524 a Amorim, Patrycia Elen Costa.  
ADUBAÇÕES SILICATADAS EM MUDAS DE UMBU-  
CAJAZEIRA (Spondias sp.) IRRIGADAS COM ÁGUAS  
SALINAS / Patrycia Elen Costa Amorim. - 2022.  
52 f. : il.

Orientadora: Vander Mendonça.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia, 2022.

1. Fisiologia. 2. Salinidade. 3. Silício. 4.  
Propagação. I. Mendonça, Vander, orient. II.  
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).  
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência  
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva  
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PATRYCIA ELEN COSTA AMORIM

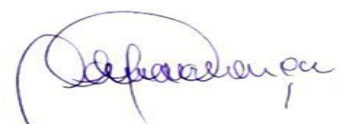
**ADUBAÇÕES SILICATADAS EM MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.)  
IRRIGADAS COM ÁGUAS SALINAS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

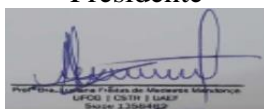
Defendida em: 23 / 02 / 2022

**BANCA EXAMINADORA**



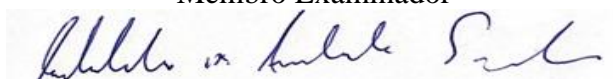
---

Prof. Dr. Vander Mendonça (UFERSA)  
Presidente



---

Profa. Dra. Luciana Freitas de Medeiros Mendonça (UFCG)  
Membro Examinador



---

Dr. Luderlândio de Andrade Silva (UFCG)  
Membro Examinador



---

Dr. Elias Ariel de Moura (UFRR)  
Membro Examinador

*Aos meus pais, Cleonice e  
Emidio, à minha irmã  
Cristiane, minhas fortalezas na terra.*  
**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde, aprendizado e oportunidade de realizar este curso.

À minha família, em especial meus pais, Cleonice e Emídio, e à minha irmã, Cristiane, por sempre acreditarem nos meus sonhos e pela paciência e compreensão.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Vander Mendonça, pelos ensinamentos, paciência e orientação.

Agradeço ao colaborador da pesquisa Dr. Francisco Vanies da Silva Sá, pelo acompanhamento no planejamento e condução do experimento, sempre disposto a tirar dúvidas.

Agradeço a Banca Examinadora pela disponibilidade e contribuições realizadas a este trabalho.

Agradeço a Agda, pelo companheirismo durante a realização da pesquisa e do curso, sempre disposta a ajudar-me e socorrer-me nos momentos de aflições.

Agradeço aos membros do Grupo de Pesquisa em Fruticultura da UFERSA (GPF) que colaboraram para a realização deste trabalho.

A todos os que, direta ou indiretamente, estiveram presentes e colaboraram durante este trabalho.

**Muito Obrigada!**

“Crê em ti mesmo, age e verás os resultados.  
Quando te esforças, a vida também se esforça  
para te ajudar”.

Chico Xavier

AMORIM, Patrycia Elen Costa. **Adubações silicatadas em mudas de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) irrigadas com águas salinas**. 2022. 52f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN.

## RESUMO

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limitam a produção agrícola, sendo este problema mais severo nas regiões áridas e semiáridas. Em virtude disso, algumas práticas podem ser adotadas para amenizar os efeitos deletérios da salinidade sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas nessas regiões, como a utilização da adubação com silício. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da adubação silicatada em mudas de umbu-cajazeira, irrigadas com águas salinas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no setor de produção de mudas do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), campus Mossoró, RN. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar)) e oito repetições, totalizando 40 unidades experimentais. As mudas foram avaliadas quanto ao crescimento, acúmulo de biomassa, índice de tolerância à salinidade, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, pigmentos fotossintéticos e nutrição do tecido foliar. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste F ( $p \leq 0,05$ ) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) no programa estatístico SISVAR. A aplicação da adubação silicatada, no geral, não atenuou a salinidade nas mudas de umbu-cajazeira, mas as mudas que receberam fornecimento de silício na forma de silicato de cálcio apresentaram porcentagem de sobrevivência de folhas, teor de carotenoide e fluorescência inicial semelhantes à testemunha. As variáveis clorofila *b* e fluorescência da clorofila *a*, exceto fluorescência inicial e a máxima eficiência quântica do fotossistema II não foram influenciadas pela salinidade. Quanto ao critério de avaliação de tolerância à salinidade, as mudas de umbu-cajazeira se apresentaram sensíveis à salinidade. A adubação silicatada atenuou a absorção de sódio, mas não suficiente para melhorar as variáveis de crescimento e fisiológicas. Portanto, as adubações com silício à base de silicato de cálcio via solo e silicato de potássio via foliar não mitigaram os efeitos deletérios da salinidade nas plantas de umbu-cajazeira irrigadas com salinidade de 3,5 dS m<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Fisiologia. Salinidade. Silício. Propagação.



AMORIM, Patrícia Elen Costa. **Silicate fertilization in umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) seedlings irrigated with saline water**. 2022. 52p. Dissertation (Master's in Phytotechnics) - Federal Rural University of the Semi-Arid, Mossoró, RN.

## ABSTRACT

Salinity is one of the abiotic stresses that most limit agricultural production, and this problem is more severe in arid and semi-arid regions. As a result, some practices can be adopted to mitigate the deleterious effects of salinity on the growth and development of plants in these regions, such as the use of silicon fertilization. In this context, the objective of this research was to evaluate the effect of silicate fertilization on umbu-cajazeira seedlings, irrigated with saline water. The experiment was carried out in a greenhouse located in the seedling production sector of the Department of Agronomic and Forestry Sciences of the Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró campus, RN. The experimental design adopted was completely randomized, with five treatments (T1: ECa 0.5 dS m<sup>-1</sup> (Control); T2: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup>; T3: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup> + 3, 5 g of CaSiO<sub>3</sub> (via soil); T4: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup> + 2.2 mL L<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) and T5: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup> + 3.5 g of CaSiO<sub>3</sub> (via soil) + 2.2 mL L<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar)) and eight replications, totaling 40 experimental units. The seedlings were evaluated for growth, biomass accumulation, salinity tolerance index, gas exchange, chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and leaf tissue nutrition. The data obtained were submitted to analysis of variance, F test ( $p \leq 0.05$ ) and the means of treatments compared by Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ) in the SISVAR statistical program. The application of silicate fertilization, in general, did not attenuate salinity in umbu-cajazeira seedlings, but seedlings that received silicon in the form of calcium silicate presented percentage of leaf survival, carotenoid content and initial fluorescence similar to the control. The variables chlorophyll b and chlorophyll a flowering, except for initial flowering and the maximum quantum efficiency of photosystem II, were not influenced by salinity. As for the salinity tolerance evaluation criterion, umbu-cajazeira seedlings were sensitive to salinity. Silicate fertilization attenuated sodium absorption, but not enough to improve growth and physiological variables. Therefore, fertilization with silicon based on calcium silicate via soil and potassium silicate via foliar did not mitigate the deleterious effects of salinity in umbu-cajazeira plants irrigated with salinity of 3.5 dS m<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Physiology. Salinity. Silicone. Propagation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Planta matriz de umbu-cajazeira localizada no Campus Central (UFERSA), município de Mossoró-RN (A), estacas de umbu-cajazeiras plantadas em tubetes contendo substrato tropstrato® (B) e transplântio das mudas de umbu-cajazeiras para vasos de 8,0 L (C).....	24
Figura 2	– Avaliação do comprimento da haste (A), diâmetro da estaca (B) e diâmetro da haste (C).....	27
Figura 3	– Análise de trocas gasosas (A), fluorescência da clorofila <i>a</i> em condição escura (B) e fluorescência da clorofila <i>a</i> em condição clara (C).....	28
Figura 4	Mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício, Mossoró-RN, UFERSA, 2022.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características químicas do substrato antes e ao término do experimento.....	24
Tabela 2	– Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit® .....	26
Tabela 3	– Classificação das plantas quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção.....	29
Tabela 4	– Resumo do teste F e Tukey para as variáveis: comprimento da haste (C. haste), diâmetro da estaca (D. estaca), diâmetro da haste (D. haste), número de folhas (NF), % sobrevivência de folhas de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício .....	31
Tabela 5	– Resumo do teste F e Tukey para as variáveis: matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da estaca (MSE), matéria seca da haste (MSH), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício .....	33
Tabela 6	Análise de tolerância à salinidade de mudas de umbu-cajazeira irrigada com águas salinas e adubada com silício .....	34
Tabela 7	Resumo do teste F e Tukey para as variáveis: concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício .....	35
Tabela 8	Resumo do teste F e Tukey para as fluorescências da clorofila: fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), máxima eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm), eficiência quântica efetiva de PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo'), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício .....	38
Tabela 9	Resumo do teste F e Tukey para clorofila a, b e carotenoides de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício .....	40
Tabela 10	Resumo do teste F e Tukey para os teores e relações dos nutrientes: sódio	

(Na), potássio (K), cálcio (Ca), silício (Si), relação sódio e potássio (Na/K), relação sódio e cálcio (Na/Ca) e a relação sódio e silício (Na/Si) de mudas de umbu-cajazeiras irrigadas com águas salinas e adubadas com silício .....42

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	16
<b>ECOFISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (<i>Spondias sp.</i>) IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA E ADUBADA COM SILICATO</b> .....	20
<b>RESUMO</b> .....	20
<b>ECOPHYSIOLOGY AND NUTRITION OF UMBU-CAJAZEIRA (<i>Spondias sp.</i>) SEEDLINGS IRRIGATED WITH SALINE WATER AND FERTILIZED WITH SILICATE</b> .....	21
<b>ABSTRACT</b> .....	21
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	23
2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	23
2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	23
2.4 VARIÁVEIS ANALISADAS .....	27
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	30
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
3.1 CRESCIMENTO.....	31
3.2 ACÚMULO DE BIOMASSA .....	33
3.3 TOLERÂNCIA À SALINIDADE.....	34
3.4 TROCAS GASOSAS .....	35
3.5 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA .....	38
3.6 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	40
3.7 TEOR NUTRICIONAL FOLIAR.....	41
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	46

## INTRODUÇÃO GERAL

A salinidade é um dos estresses abióticos predominantes mundialmente que não afetam apenas a produção agrícola, como também impactam negativamente os aspectos ecológicos, sociais e econômicos em áreas salinas (HUSSAIN et al., 2018). Estima-se que cerca de 20% de toda a área irrigada estejam atualmente afetados pelo estresse salino (TAIZ et al., 2017), sendo este problema mais severo nas regiões áridas e semiáridas (KHAN et al., 2018).

A região semiárida do nordeste brasileiro apresenta grandes reservatórios subterrâneos, no entanto grande parte dessas águas contém elevadas concentrações de sais dissolvidos, podendo, a depender da tolerância da cultura à salinidade, afetar negativamente a produção agrícola (PAIVA et al., 2016), desde o desenvolvimento inicial até as fases produtivas (SÁ et al., 2016). Isso ocorre devido às características climáticas dessa região, com elevadas taxas de evaporação e transpiração, além da baixa precipitação, possibilitando a ascensão de sais pela superfície do solo (MEDEIROS; NASCIMENTO; GHERY, 2016).

Diante das adversidades climáticas e características do semiárido, a irrigação é uma prática indispensável capaz de proporcionar incrementos significativos na produtividade agrícola (KHALLOUFI et al., 2017). No entanto, a qualidade da água utilizada para irrigação é fator primordial para que as plantas possam expressar seu máximo desenvolvimento e potencial produtivo (GUEDES et al., 2015). Conforme Deghanisani; Yamamoto; Inoure (2004), a escassez do estoque de água de boa qualidade para a irrigação e a concorrência de outros usuários fazem com que os agricultores tenham dificuldade para acessar este insumo, de maneira que usam águas de qualidade inferior, em geral salinas.

Contudo, a irrigação com água salina tem causado impacto negativo, prejudicando as funções morfológicas, bioquímicas, fisiológicas e moleculares das plantas (ARIF et al., 2020). Segundo o autor, a salinidade gera uma das principais ameaças às plantas: o estresse osmótico e hídrico, diminuindo o potencial hídrico foliar e a pressão de turgescência, reduzindo o crescimento, além de gerar toxicidade iônica que ocasiona desequilíbrio nutricional (TAIZ et al., 2017). Além disso, há o estresse oxidativo devido à produção de quantidades supranumerárias de espécies reativas de oxigênio (ROS) (HERNÁNDEZ, 2019), que promovem perturbação nas funções enzimáticas, da parede celular e da membrana, o que resulta na degradação de organelas e morte celular (MUNNS; GILLIHAM, 2015; TAIZ et al., 2017).

O uso do silício para superar os efeitos negativos da salinidade pode ser considerado uma estratégia valiosa (MANIVANNAN et al., 2016). O silício é segundo elemento mais predominante na crosta terrestre e desempenha papel importante na defesa das plantas contra agentes bióticos e condições de estresse abiótico. Segundo Zhu; Gong (2014), a aplicação do silício contribui para manutenção do teor ótimo de água, aumento da fotossíntese e condutância estomática, redução da transpiração, toxicidade iônica, regulação da biossíntese de solutos e hormônios vegetais, além da estimulação do sistema antioxidante, limitando o estresse oxidativo (RIOS et al., 2017; JESUS et al., 2018, DORNELES et al., 2016). Além disso, aumenta o crescimento e biomassa, gestão de nutrientes essenciais, mantém a rigidez estrutural, equilíbrio da homeostase iônica, elicitação de metabólitos secundários relacionados à resistência ao estresse e regulação de genes envolvidos em vários processos fisiológicos (MA, 2004), portanto os efeitos do estresse salino tornam-se mais atenuados nas plantas.

Os efeitos benéficos da utilização do silício no crescimento, desenvolvimento, fisiologia e bioquímica das plantas sob estresse salino foram constatados por vários pesquisadores em diversas culturas: milho, girassol, moringa, beterraba, maracujazeiro e arroz (LIMA et al., 2011; ALI et al., 2013; HUSSEIN; ABOU-BAKER, 2013; RODRIGUES et al., 2019; MELO FILHO et al., 2019; SOUZA et al., 2020; DINIZ et al., 2020, 2021; MONZON et al., 2021). No entanto, dependem da espécie e nível de estresse, pois pesquisadores como Lima et al. (2011) e Silva et al. (2018) não relataram efeitos benéficos em condições salinas quando aplicado silício nas culturas de feijão de corda e braquiária, respectivamente.

Uma cultura de destaque para o agronegócio da região semiárida é a frutífera umbu-cajazeira ou cajarana (*Spondias* sp.), pertencente à família Anacardiaceae e ao gênero *Spondias*, considerada um híbrido natural entre o umbuzeiro (*S. tuberosa* Arruda) e a cajazeira (*S. mombin* L.) (SILVA JÚNIOR et al., 2004). Sua importância se deve ao seu alto potencial agroindustrial e à sua distribuição que ocorre em alguns estados, tais como Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Pernambuco e Bahia, podendo ser encontrada também na região da Mata Atlântica e no litoral (ARAÚJO et al., 2018). Embora a cultura, assim como outras fruteiras nativas do Nordeste, seja explorada de forma extrativista em pomares domésticos ou plantios desorganizados sem manejo adequado (SANTOS, 2010), sua produção em algumas plantas é cerca de 1.500 kg de umbu-cajá por safra (SOUZA; PORTO FILHO; MENDES, 2020).

Para as comunidades da região semiárida, esses frutos do tipo drupa, conhecidos popularmente como umbu-cajá; cajarana; cajá-umbu, dentre outros, têm fundamental importância na subsistência familiar, geração ou complementação de renda dos agricultores

familiares, sendo considerado a principal base econômica da planta, com grande utilização na agroindústria para fabricação de polpa, sorvetes, picolés, doces ou mesmo o consumo *in natura* (ARAÚJO et al., 2018). No entanto, no caso da espécie estudada, apesar de ser oriunda da região semiárida e movimentar diversos elos do agronegócio, não há informações na literatura sobre os níveis de tolerância à salinidade da cultura desde fase inicial de desenvolvimento até reprodutivas, entretanto Souza; Porto Filho; Mendes (2020) afirmam que, apesar de grande rusticidade da planta, é sugerido que o plantio seja realizado em solo livre de salinidade.

Nesse contexto, considerando a crescente demanda e valorização dos frutos e subprodutos, bem como a importância social e econômica desta cultura para região, além dos poucos estudos relacionados às alterações no crescimento e fisiologia da cultura em função da salinidade, torna-se imprescindível a realização de mais pesquisas com esta cultura. Assim, objetivou-se avaliar o efeito da adubação silicatada em mudas de umbu-cajazeira, irrigadas com águas salinas.



## REFERÊNCIAS

ALI, M. A. M., RAMEZANI, A., FAR, S. M., SADAT, K. Application of silicone ameliorates salinity stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, n. 20, p. 1367-1372, 2013. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143069351>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ARAÚJO, R. R.; SANTOS, E. D.; FARIA, D. B. S.; LEMOS, E. E. P.; ALVES, R. E. *Spondias bahiensis*: Uambu-cajá. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (org.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018. p. 279-286. Disponível em: [https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/fauna-e-flora/copy\\_of\\_LivroNordeste21122018.pdf](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/fauna-e-flora/copy_of_LivroNordeste21122018.pdf). Acesso em: 15 abr. 2020.

ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64-77, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942820304241>. Acesso em: 10 jan. 2022.

DEGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; INOURE, M. Practical aspects of TDR for simultaneous measurements of water and solute in a dune sans field. **Journal Japan Society Soil Physics**, v. 98, p. 21-30, 2004. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssoilphysics/98/0/98\\_21/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jssoilphysics/98/0/98_21/_article/-char/ja/). Acesso em: 10 out. 2020.

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. D.; SOARES, L. A. D. A.; GHEYI, H. R. Irrigation with saline water and silicate fertilization in the cultivation of 'gigante amarelo' passion fruit 1 2. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 199-207, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/3bCkqPS5dkYc6CvW4jVksYh/abstract/?lang=en>. Acesso em: 10 nov. 2021.

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. D.; SOUZA, L. D. P.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, M. N. Physiological indices and growth of 'Gigante Amarelo' passion fruit under salt stress and silicate fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 814-821, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wxqzHGhdqmkhPH5wmjv8QQ/abstract/?lang=en>. Acesso em: 10 nov. 2021.

DORNELES, A. O. S.; PEREIRA, A. S.; ROSSATO, L. V.; POSSEBOM, G.; SASSO, V. M.; BERNARDY, K.; TABALDI, L. A. Silicon reduces aluminum content in tissues and ameliorates its toxic effects on potato plant growth. **Ciência Rural**, v. 46, p. 506-512, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/8MWvym5xtQTF5Hq8x5DhpVF/abstract/?lng=en>. Acesso em: 15 out. 2021.

GUEDES, R. A. A.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, R. C.; MEDEIROS, A. M.; GOMES, L. P.; COSTA, L. P. Estratégias de irrigação com água salina no tomateiro cereja em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 913-919, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/trjpm8NJPPmkcXsTrVGGYxc/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2022.

HERNÁNDEZ, J. A. Salinity tolerance in plants: Trends and perspectives. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 10, p. 2408, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/10/2408/htm>. Acesso em: 10 jan. 2022.

HUSSAIN, M.; AHMAD, S.; HUSSAIN, S.; LAL, R.; UL-ALLAH, S.; NAWAZ, A. Rice in saline soils: physiology, biochemistry, genetics, and management. **Advances in agronomy**, v. 148, p. 231-287, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211317300871>. Acesso em: 15 mar. 2021.

HUSSEIN, M. M.; ABOU-BAKER, N. H. Growth and Mineral Status of Moringa Plants as Affected by Silicate and Salicylic Acid under Salt Stress. **International Journal of Plant & Soil Science, Tarakeswar, India**, 3, n. 2, p. 163-177, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/262182430\\_Growth\\_and\\_Mineral\\_Status\\_of\\_Moringa\\_Plants\\_as\\_Affected\\_by\\_Silicate\\_and\\_Salicylic\\_Acid\\_under\\_Salt\\_Stress](https://www.researchgate.net/publication/262182430_Growth_and_Mineral_Status_of_Moringa_Plants_as_Affected_by_Silicate_and_Salicylic_Acid_under_Salt_Stress). Acesso em: 15 maio. 2021.

JESUS, E. G.; FATIMA, R. T.; GUERRERO, A. C.; ARAUJO, J. L.; BRITO, M. E. B. Growth and gas exchanges of arugula plants under silicon fertilization and water restriction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 119-124, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/RhWGPstTv3mpZXqvt4fppJ/abstract/?lang=en>. Acesso em: 15 out. 2021.

KHALLOUFI, M.; MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; LACHAÂL, M.; KARRAY-BOURAOUI, N.; PÉREZ-ALFOCEA, F.; ALBACETE, A. The interaction between foliar GA3 application and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves growth in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modifying the hormonal balance. **Journal of Plant Physiology**, v. 214, p. 134-144, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161717301153>. Acesso em: 05 nov. 2020.

KHAN, W. U. D.; AZIZ, T.; MAQSOOD, M. A.; FAROOQ, M.; ABDULLAH, Y., RAMZANI, P. M. A.; BILAL, H. M. Silicon nutrition mitigates salinity stress in maize by modulating ion accumulation, photosynthesis, and antioxidants. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1047-1057, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-018-0812-x>. Acesso em: 15 dez. 2021.

LIMA, M. A.; CASTRO, V. F.; VIDAL, J. B.; ENÉAS-FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 398-403, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/QgpppGsBW7YmywHNkb7Fksx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2021.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil science and plant nutrition**, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.2004.10408447>. Acesso em: 15 mar. 2021.

MANIVANNAN, A.; SOUNDARARAJAN, P.; MUNEER, S.; KO, C. H.; JEONG, B. R. Silicon mitigates salinity stress by regulating the physiology, antioxidant enzyme activities, and protein expression in *Capsicum annuum* 'Bugwang'. **BioMed Research International**, v. 2016, 2016. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2016/3076357/>. Acesso em: 11 jan. 2021.

MEDEIROS, J. F.; NASCIMENTO, I. B. GHERY, H. R. Manejo do solo-água planta em área afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016. p. 280-302. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

MELO FILHO, J. S.; DA SILVA, T. I.; LEAL, Y. H.; BASILIO, A. G. S.; VÉRAS, M. L. M.; DIAS, T. J. Effect of Preharvest Application of Silicon and Saline Water on Postharvest Quality of Beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Experimental Agriculture International**, v.3, n. 2, p. 1-9, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Toshik-Da-Silva/publication/331910982\\_Effect\\_of\\_Preharvest\\_Application\\_of\\_Silicon\\_and\\_Saline\\_Water\\_on\\_Postharvest\\_Quality\\_of\\_Beet\\_Beta\\_vulgaris\\_L/links/5de117b092851c8364531382/Effect-of-Preharvest-Application-of-Silicon-and-Saline-Water-on-Postharvest-Quality-of-Beet-Beta-vulgaris-L.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Toshik-Da-Silva/publication/331910982_Effect_of_Preharvest_Application_of_Silicon_and_Saline_Water_on_Postharvest_Quality_of_Beet_Beta_vulgaris_L/links/5de117b092851c8364531382/Effect-of-Preharvest-Application-of-Silicon-and-Saline-Water-on-Postharvest-Quality-of-Beet-Beta-vulgaris-L.pdf). Acesso em: 25 abr. 2021.

MONZON, D. L. R.; SALINA, M. B. P.; GINI, E. J. B.; FERNADEZ, F. T.; VALIENTE, L. S. R.; AGILERA, L. A.; MENEGELHO, G. E. Influência da aplicação foliar de silício e sílica amorfa e sua resposta na cultura de arroz. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.3, p. 25932-25945, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/26345>. Acesso em: 10 jan. 2022.

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops—what is the cost?. **New phytologist**, v. 208, n. 3, p. 668-673, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/279307832\\_Salinity\\_tolerance\\_of\\_crops\\_-\\_what\\_is\\_the\\_cost](https://www.researchgate.net/publication/279307832_Salinity_tolerance_of_crops_-_what_is_the_cost). Acesso em: 11 jan. 2021.

PAIVA, F. I. G.; GURGEL, M. T.; DE OLIVEIRA, F. D. A.; DA COSTA, L. R.; MOTA, A. F.; DE OLIVEIRA JUNIOR, H. S. Qualidade da fibra do algodoeiro BRS verde irrigado com Águas de diferentes níveis salinos. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 209-220, 2016. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1930>. Acesso em: 19 nov. 2020.

RIOS, J. J.; MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; RUIZ, J. M.; BLASCO, B.; CARVAJAL, M. Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 948, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00948/full>. Acesso em: 15 out. 2021.

RODRIGUES, A. J. O.; NUNES, L. R. L.; NUNES, A. M. C.; UCHÔA, K. S. A. Efeito da adubação silicatada no cultivo de tomateiro sob estresse salino. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 2, p. 141-148, 2019. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/977>. Acesso em: 15 maio. 2021.

SÁ, F. V. D. S.; PAIVA, E. P. D.; MESQUITA, E. F. D.; BERTINO, A. M.; BARBOSA, M. A.; SOUTO, L. S. Tolerance of castor bean cultivars under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 557-563, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/rqHSXtyc7Bk9cfGm89Ld4XM/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SANTOS, L. A. **Caracterização de Frutos e Molecular de Umbu-Cajazeiras (*Spondias* sp.) no Semiárido da Bahia**. Orientador: Ana Cristina Vello Loyola Dantas. 2010. 65f.

Dissertação (Mestre em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010. Disponível em: <http://www.repositorio.ufrb.edu.br/handle/123456789/679?mode=full>. Acesso em: 15 mai. 2020.

SILVA JÚNIOR, J. F.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E.; ALVEZ, M. A. Collecting, ex situ conservation and characterization of “cajá-umbu” (*Spondias mombin* x *Spondias tuberosa*) germplasm in Pernambuco State, Brazil. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 51, n. 4, p. 343-349, 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AGRES.0000023462.99118.00>. Acesso em: 10 ago. 2020.

SILVA, M. I. L. D.; NASCIMENTO, W. G. D.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, M. A. V. D.; SOARES, G. S. C. Silicon as an attenuator of salt stress in *Brachiaria brizantha* ‘MG5’. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 130-140, 2018. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/4801>. Acesso em: 10 out. 2020.

SOUZA, F. X.; PORTO FILHO, F. Q.; MENDES, N. V. B. **UMBU-CAJAZEIRA: descrição e técnicas de cultivo**. Mossoró: EdUFERSA, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1128438>. Acesso em: 10 jul. 2020.

SOUZA, T. M. A. DE; MENDONÇA, V.; SÁ, F. V. S.; SILVA, M. J. DA; DOURADO, C. S. T. Calcium silicate as salt stress attenuator in seedlings of yellow passion fruit cv. BRS GA1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 509-517, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/9039/10219>. Acesso em: 10 fev. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

ZHU, Y; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for sustainable development**, v. 34, n. 2, p. 455-472, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-013-0194-1>. Acesso em: 15 out. 2021.

## ECOFISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DE MUDAS DE UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) IRRIGADAS COM ÁGUA SALINA E ADUBADA COM SILICATO

### RESUMO

A umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) é uma das frutíferas nativas mais importantes do semiárido nordestino por apresentar grande importância socioeconômica para os agricultores e agroindústrias locais. No entanto, as condições do semiárido de elevadas concentrações de sais na água de irrigação podem comprometer a produção vegetal. Dentre as alternativas para reduzir os efeitos deletérios da salinidade nas plantas, o silício tem se mostrado uma ação promissora. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a ecofisiologia e nutrição de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com água salina e adubada com silicato. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar)) e 8 repetições, onde a parcela experimental foi representada por um vaso contendo uma muda de umbu-cajazeira, totalizando 40 unidades experimentais. As mudas foram avaliadas quanto ao crescimento, acúmulo de biomassa, índice de tolerância à salinidade, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, pigmentos fotossintéticos e nutrição do tecido foliar. A aplicação da adubação silicatada no geral não mitigou os efeitos da salinidade nas mudas de umbu-cajazeiras, entretanto as mudas adubadas com silício fornecida via silicato de cálcio apresentaram porcentagem de sobrevivência de folhas, teor de carotenoide e fluorescência inicial semelhantes à testemunha. As mudas de umbu-cajazeiras mostraram-se sensíveis ao nível salino de 3,5 dS m<sup>-1</sup>. Portanto, as adubações com silício à base de silicato de cálcio via solo e silicato de potássio via foliar não mitigaram os efeitos deletérios da salinidade nas plantas de umbu-cajazeira irrigadas com salinidade de 3,5 dS m<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Fisiologia. Estresse salino. Silício. Mudas.

## ECOPHYSIOLOGY AND NUTRITION OF UMBU-CAJAZEIRA (*Spondias* sp.) SEEDLINGS IRRIGATED WITH SALINE WATER AND FERTILIZED WITH SILICATE

### ABSTRACT

Umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) is one of the most important native fruit trees in the northeastern semi-arid region because it has great socioeconomic importance for farmers and local agro-industries. However, the semi-arid conditions of high concentrations of salts in irrigation water can compromise plant production. Among the alternatives to reduce the deleterious effects of salinity on plants, silicon has shown to be a promising action. In this context, the objective of this work was to evaluate the ecophysiology and nutrition of umbu-cajazeira seedlings irrigated with saline water and fertilized with silicate. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, with 5 treatments (T1: ECa 0.5 dS m<sup>-1</sup> (Control); T2: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup>; T3: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup> + 3.5 g of CaSiO<sub>3</sub> (via soil); T4: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup> + 2.2 mL L<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) and T5: ECa 3.5 dS m<sup>-1</sup> + 3.5 g of CaSiO<sub>3</sub> (via soil) + 2.2 mL L<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar)) and 8 replications, where the experimental plot was represented by a pot containing a seedling of umbu-cajazeira, totaling 40 units experimental. The seedlings were evaluated for growth, biomass accumulation, salinity tolerance index, gas exchange, chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments and leaf tissue nutrition. The application of silicate fertilization in general did not mitigate the effects of salinity in the seedlings of umbu-cajazeiras, however the seedlings fertilized with silicon supplied via calcium silicate presented percentage of leaf survival, carotenoid content and initial fluorescence similar to the control. Umbu-cajazeiras seedlings were sensitive to a saline level of 3.5 dS m<sup>-1</sup>. Therefore, fertilization with silicon based on calcium silicate via soil and potassium silicate via foliar did not mitigate the deleterious effects of salinity in umbu-cajazeira plants irrigated with salinity of 3.5 dS m<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Physiology. Saline stress. Silicon. Seedlings.

## 1 INTRODUÇÃO

A umbu-cajazeira (*Spondias* sp.) é uma frutífera tropical nativa do Nordeste brasileiro com grande importância agrossocioeconômica, especialmente para o semiárido. Seus frutos têm participação crescente no agronegócio, sendo consumidos *in natura* ou processados, exibindo grande aceitação no mercado pelo seu sabor, aroma, excelente qualidade e boas características agroindustriais (SANTANA et al., 2011), sendo utilizados no preparo de sucos, picolés, sorvetes, néctares, geleias, vinhos, dentre outros subprodutos.

Apesar de todo este potencial, a cultura é pouco domesticada, apresentando escassez de informações principalmente quanto à produção de mudas de boa qualidade. Além disso, na região semiárida a salinidade é um fator típico, gerado pelas altas taxas de evaporação e evapotranspiração e baixa precipitação, proporcionando elevadas concentrações de sais na água de irrigação, afetando a qualidade da água e comprometendo a produção e qualidade de mudas da grande maioria das fruteiras (CAVALCANTE; LIMA; CAVALCANTE, 2001).

Na maioria das vezes, a irrigação com água salina resulta em efeitos adversos nas relações solo-água-plantas, reduzindo a produção de alimentos (KHAN et al., 2018). Dentre os efeitos negativos do estresse salino, estão o efeito osmótico ou déficit hídrico, toxicidade iônica, desequilíbrios nutricionais e superprodução de espécies reativas de oxigênio (MUNNS; TESTER, 2008; DIAS et al., 2016; TAIZ et al., 2017), que ocasionam alterações no crescimento, fisiologia e bioquímica das plantas podendo levar até a morte.

Em meio a esta realidade, a utilização da adubação com silício tem se mostrado uma alternativa promissora. O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, e apresenta diversos benefícios para as plantas, principalmente em condições de estresse de natureza biótica e abiótica (LIU; SOUNDARARAJAN; MANIVANNAN, 2019). Assim, as plantas submetidas à salinidade e tratadas com Si geralmente mantêm o estado dos nutrientes essenciais, reduzem o teor de sódio e melhoram o teor de potássio, aumentam as trocas gasosas, a estrutura e rigidez das plantas, crescimento e estimulam o sistema antioxidante (MA; YAMAJI, 2006; RIOS et al., 2017; VERMA et al., 2019; SOUZA et al., 2020; DINIZ et al., 2020), porém esses benefícios estão condicionados à espécie vegetal, fontes de Si e condições de estresse.

Os estudos na produção de mudas de umbu-cajazeiras são escassos quanto ao uso de águas salinas e alternativas para mitigação dos efeitos negativos da salinidade. Em vista disso, objetivou-se avaliar a ecofisiologia e nutrição de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com água salina e adubada com silicato.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no período de abril a julho de 2021, em casa de vegetação no setor de produção de mudas do Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil (5°11' S de latitude, 37 20' W de longitude e 18 m de altitude). A casa de vegetação é protegida por uma cobertura na forma de arco tipo túnel, medindo 7,0 m de largura e 18,0 m de comprimento e pé direito de 3,0 m, coberta com manta de polietileno de baixa densidade, transparente, com 0,15 mm de espessura, a estrutura é de aço galvanizado e as paredes laterais e frontais são confeccionadas com malha tipo sombrite 50%.

O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo BSw<sup>h</sup> (quente e seco), com precipitação pluviométrica média de 673,9 mm ano<sup>-1</sup>; temperatura média anual de 27 °C e umidade relativa do ar média de 68,9% (DINIZ; PEREIRA, 2015). Durante a condução do experimento, foram registrados os dados climáticos com termo-higrômetro, instalado no interior da casa de vegetação, em que o valor máximo, mínimo e médio de temperatura foram 42,58°C, 21,80°C e 35,70°C, respectivamente, e os valores de máximo, mínimo e médio de umidade relativa do ar foram 87,78 %, 29,51% e 47,32%, respectivamente.

### 2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e oito repetições, onde a parcela experimental foi representada por um vaso contendo uma muda de umbu-cajazeira, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos pelos níveis de condutividade elétrica da água (CEa) e adubações com silício: T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar).

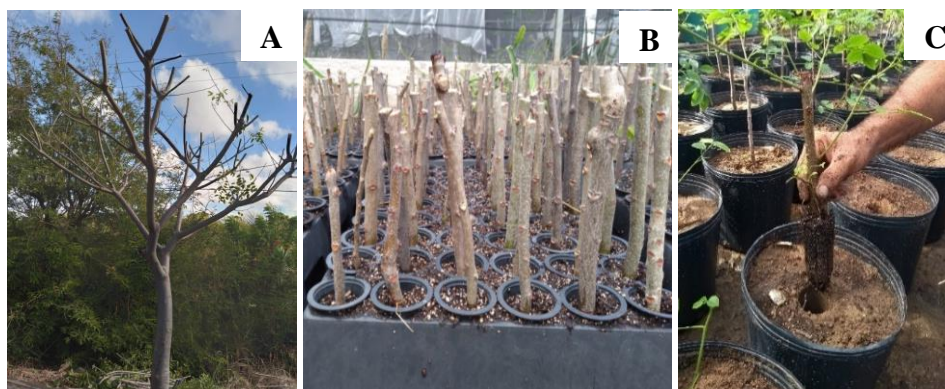
### 2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

As estacas foram provenientes de matrizes sadias e vigorosas de plantas de umbu-cajazeira, localizadas no Campus Central da UFERSA (Figura 1A). Os ramos foram retirados



da parte mediana e superior da copa das plantas, quando estavam no final do repouso vegetativo. As estacas foram padronizadas com cerca de 15,0 cm de comprimento e diâmetro médio de 7,0 a 9,0 mm (ALMEIDA et al., 2017).

O plantio foi realizado em tubetes de polipropileno com capacidade volumétrica de 250 cm<sup>3</sup>, preenchidos com substrato comercial Tropstrato® (composto de superfosfato simples, nitrato de potássio, turfa, vermiculita e casca de pinus) (Figura 1B). Após 106 dias, as mudas enraizadas foram transplantadas para vasos plásticos de 8,0 L, espaçados 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, contendo substrato composto por areia e esterco bovino curtido, na proporção 2:1 (Figura 1C). Antes e após o término do experimento, o substrato foi caracterizado quanto aos aspectos químicos pelo Laboratório de Nutrição de Plantas da UFERSA, conforme Embrapa (2009) (Tabela 1).



**Figura 1.** Planta matriz de umbu-cajazeira localizada no Campus Central (UFERSA) (A), estacas de umbu-cajazeiras plantadas em tubetes contendo substrato tropstrato® (B) e transplantio das mudas de umbu-cajazeiras para vasos de 8,0 L (C).

**Tabela 1.** Características químicas do substrato antes e ao término do experimento.

Substrato antes do experimento														
pH	CE	M.O.	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	T	CTC	Si	V	PST	
(H <sub>2</sub> O)	(dS/m)	(%)	.....(mg/dm <sup>3</sup> ).....			.....cmolc/dm <sup>3</sup> .....				(mg/kg)	.....(% ).....			
7,03	0,77	0,38	138,0	71,8	133,9	6,55	3,01	10,33	10,33	10,33	30,00	100	6	
Substrato após o término do experimento														
T1	7,11	0,23	0,41	216,7	19,0	24,60	5,34	2,09	7,59	7,59	7,59	23,20	100	1
T2	6,52	1,83	0,64	302,5	276,3	1343,8	5,53	3,78	15,86	15,86	15,86	18,59	100	37
T3	6,53	1,49	0,48	228,9	254,0	1060,9	5,63	2,37	13,26	13,26	13,26	19,57	100	35
T4	6,53	1,34	0,29	309,7	332,2	1235,0	4,40	5,02	15,64	15,64	15,64	18,88	100	34

T5	6,28	1,66	0,83	290,3	231,7	1191,5	4,61	5,18	15,57	15,57	15,57	16,97	100	33
----	------	------	------	-------	-------	--------	------	------	-------	-------	-------	-------	-----	----

Al<sup>3+</sup>, (H + Al) e m = 0, P, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>: extrator Mehlich 1; Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>: extrator KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>; CE: Condutividade elétrica; SB: Soma de base; T: Capacidade de troca de cátions; M.O.: Digestão Úmida Walkley-Black; PST: Percentagem de sódio trocável. T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar).

O nível de salinidade da água de irrigação com a condutividade elétrica da água (CEa) 0,5 dS m<sup>-1</sup> foi obtido a partir da água da companhia de abastecimento local, e o nível de CEa = 3,5 dS m<sup>-1</sup> foi preparado adicionando-se os sais de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, na proporção equivalente de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992), obedecendo a relação entre a CEa e concentração (mmolc L<sup>-1</sup> = CE x 10), extraída de Rhoades; Kandiah; Mashali (1992).

A CEa de 3,5 dS m<sup>-1</sup> foi baseada na tolerância à salinidade da cultura do umbuzeiro, que pertence ao mesmo gênero da umbu-cajazeira (NEVES; CARVALHO; RODRIGUES, 2004; HOLANDA et al. 2016), tendo os autores relatado que a cultura é tolerante a 2,3 dS m<sup>-1</sup> e modernamente tolerante a 4,5 dS m<sup>-1</sup>; além disso, esse nível de CEa é geralmente encontrado nas águas de irrigação da região (MEDEIROS, 1992). Após o preparo das águas salinas, elas foram armazenadas em baldes com capacidade para 60 L e tampados para evitar evaporação e contaminação, sendo a CEa monitorada a cada irrigação com auxílio de um condutivímetro portátil.

A aplicação da água salina foi iniciada 57 dias após o transplante das mudas (DAT) dos tubetes para vasos plásticos, sendo antes aclimatada com água de baixa condutividade elétrica (CEa = 0,5 dS m<sup>-1</sup>). A irrigação foi realizada manualmente, a cada dois dias, utilizando uma proveta graduada (1000 mL), tomando-se como base o método de lisimetria de drenagem, conforme Eq.1, acrescido de uma fração de lixiviação de 20% aplicada a cada 15 dias, visando a evitar o acúmulo excessivo de sais no solo.

$$Va = \frac{La - D}{n(1 - FL)} \quad (1)$$

Em que: La - Lâmina anterior aplicada;

D - Média de drenagem;

n - Número de recipientes;

FL - Fração de lixiviação.

A adubação silicatada foi iniciada aos 57 DAT, utilizando-se para adubação via foliar o silicato de potássio ( $K_2SiO_3$ ), por meio do produto comercial Prosilicon®, com  $1,31 \text{ g mL}^{-1}$  densidade e contendo 10% de dióxido de silício ( $SiO_2$ ) e 10% de óxido de potássio ( $K_2O$ ). A concentração aplicada foi de  $2,2 \text{ mL L}^{-1}$  de  $K_2SiO_3$ , e a partir desta solução foram pulverizados com borrifador manual 50 mL por muda (SÁ et al., 2015a), sendo dividido em três aplicações de 10 mL, 20 mL e 20 mL, gerenciadas aos 57, 87 e 117 DAT. As adubações foram realizadas ao final da tarde, evitando possíveis excessos de perdas devido à evaporação.

A adubação silicatada via solo foi realizada com o silicato de cálcio puro para análise ( $CaSiO_3$ ), que apresenta características químicas de 10-25% de óxido de cálcio ( $CaO$ ) e 75-90% de dióxido de silício ( $SiO_2$ ). A aplicação foi realizada ao redor do caule das mudas com 3,5 g por planta de  $CaSiO_3$ ; conforme recomendação de Souza et al. (2020), a dose foi dividida em três parcelas de 1,2; 1,2 e 1,1 g por planta, aplicadas no mesmo período do  $K_2SiO_3$ .

A fertilização com nitrogênio, potássio e fósforo (NPK) foi parcelada em onze aplicações e fornecida via fertirrigação semanalmente, sendo 50% de 100 mg de N, 300 mg de  $P_2O_5$  e 150 mg de  $K_2O$  por  $dm^{-3}$  de solo, recomendação de adubação para ensaios em vasos de Novais; Neves; Barros (1991). Para a adubação, foram aplicados 364 mg de ureia (45% de N), 178,82 mg de fosfato monoamônico (12% de N e 61% de P) e 91 mg de cloreto de potássio (60% de K) por vaso.

Quanto à adubação com micronutrientes, foram realizadas cinco aplicações via foliar, aos 52, 62, 72, 102 e 114 DAT de acordo com a recomendação do fabricante, utilizando o produto Liqui-Plex Fruit®, na proporção de  $3 \text{ mL L}^{-1}$  (Tabela 02). Durante a condução do experimento, as mudas receberam, quando necessário, manejo cultural e fitossanitário.

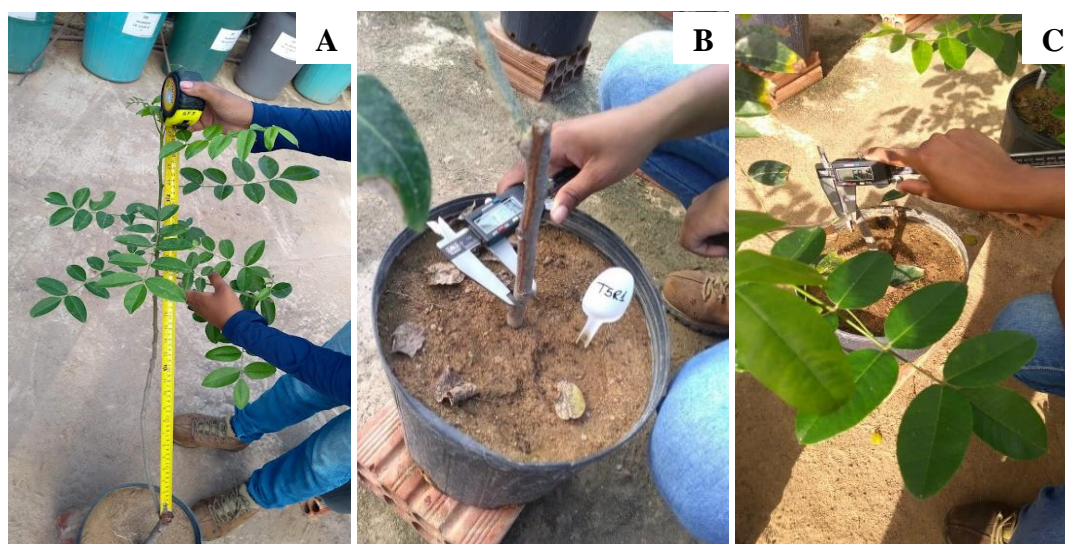
**Tabela 2.** Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit®.

Parâmetros								
N	Ca	S	B	Cu	Mn	Mo	Zn	C.O
.....( $\text{g L}^{-1}$ ).....								(%)
73,50	14,70	78,63	14,17	0,74	73,50	1,47	73,50	2,45

N: Nitrogênio; Ca: Cálcio; S: Enxofre; B: Boro; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Mo: Molibdênio; Zn: Zinco; C.O.: carbono orgânico

## 2.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

Ao 1º e 90º dia após a aplicação dos tratamentos (DAA), avaliou-se o crescimento das brotações, determinando-se o comprimento da haste (C. haste) com auxílio de uma trena, mensurado da base até a gema apical (Figura 2A), o diâmetro da estaca (D. estaca), determinado com paquímetro digital, a uma distância de 5 cm da superfície do solo (Figura 2B), o diâmetro da haste (D. haste), aferido com paquímetro digital, a partir de 1 cm da base até a gema apical (Figura 2C); para o número de folhas (NF), considerou-se a contagem direta das folhas totalmente expandidas; a porcentagem (%) de sobrevivência de folhas foi determinada pela contagem das folhas caídas durante o experimento somadas ao total de folhas vivas e expandidas ao final do experimento, posteriormente foi aplicado uma regra de três para obtenção da porcentagem de folhas sobreviventes.



**Figura 2.** Avaliação do comprimento da haste (A), diâmetro da estaca (B) e diâmetro da haste (C).

Aos 75 DAA, as medições de trocas gasosas (Figura 3A) foram realizadas na terceira folha totalmente expandida contada a partir da gema apical, com o analisador de gás infravermelho (“LCPro +” - ADC Bio Scientific Ltd.), no período entre 7h40 as 8h20 da manhã; o equipamento operou com o controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e vazão de ar de 200  $\text{mL min}^{-1}$  no nível atmosférico de  $\text{CO}_2$ . Foram obtidas as variáveis de condutância estomática (gs) em  $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , transpiração (E) em  $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , Taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A) em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , temperatura foliar (Tl) em °C. Depois de obtidos

esses dados, foram estimadas a eficiência instantânea no uso da água (EiUA) ( $E/A$ ) em  $[(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}]$  e a eficiência instantânea da carboxilação (EiCi) ( $A/C_i$ ) (SILVA et al., 2014).



**Figura 3.** Análise de trocas gasosas (A), fluorescência da clorofila *a* em condição escura (B) e fluorescência da clorofila *a* em condição clara (C).

A fluorescência da clorofila *a* foi avaliada aos 75 DAA no período de 8h30 as 9h30 e nas mesmas folhas que foram determinadas as trocas gasosas, utilizando um fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science, seguindo protocolo Fv/Fm para avaliações em condições de escuro (Figura 3B). As folhas foram adaptadas ao escuro durante 30 minutos, usando-se pinças foliares do equipamento, período suficiente para a oxidação completa do sistema fotossintético. Foram obtidas as variáveis fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v = F_m - F_o$ ), máxima eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ) (SÁ et al., 2015b).

Em seguida, procedeu-se às avaliações em condições de claro (Figura 3C), baseando-se no protocolo Yield. Com o fluorômetro de pulso modulado, aplicou-se uma fonte de iluminação actínica com pulso multi flash saturante, acoplado a um clipe de determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR-Clip). Foram obtidas as variáveis fluorescência inicial antes do pulso de saturação ( $F'$ ), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante ( $F_m'$ ), taxa de transporte de elétrons (ETR) e eficiência quântica do fotossistema II (PS II) ( $Y(II)$ ). Depois de obtidos esses dados, foram estimados: fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado ( $F_o'$ ) (OXBOROUGH; BAKER, 1997), coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake ( $qL$ ); rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada

(Y(NPQ)) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y(NO)) (KRAMER et al., 2004).

Após 90 DAA, foi realizada a coleta destrutiva, obtendo-se massa fresca das folhas, estacas, hastes e raízes, em seguida os materiais foram acondicionados em sacos de papel do tipo Kraft e levados para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65° C até atingirem o peso constante. Para determinação da matéria seca das folhas (MSF), haste (MSH), estaca (MSE) e raiz (MSR), o material foi pesado em balança analítica (0,0001g). A matéria seca total (MST) foi obtida pelo somatório das massas secas das folhas, haste, estaca e raiz.

Para obtenção do índice de tolerância à salinidade, foi adotada como base a quantificação das reduções na produção de biomassa seca total, das mudas submetidas à irrigação com água salina, e adubação silicatada, comparando-as com a testemunha, de acordo com a Eq.2, proposta por Fageria (1985). Os resultados foram interpretados com o auxílio da Tabela 3, que exhibe a classificação das plantas quanto à tolerância à salinidade, tomando como base a redução da produção.

$$RP = \frac{[(PSTS - PCTS)]}{PSTS} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que: RP - Redução da produção;

PSTS - Produção no tratamento irrigado com água não salina (g planta<sup>-1</sup>);

PCTS - Produção nos tratamentos irrigados com água salina (g planta<sup>-1</sup>).

**Tabela 3.** Classificação das plantas quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução da produção.

Redução da produção (%)	Classificação
0-20	Tolerante (T)
21-40	Moderadamente tolerante (MT)
41-60	Moderadamente suscetível (MS)
>60	Suscetível (S)

Fonte: Fageria (1985).

Os teores de clorofila a, b e os carotenoides foram extraídos a partir de amostras foliares da terceira folha expandida a partir da gema apical, pelos métodos de Lichtenthaler (1987), utilizando-se 200 mg de tecido foliar. A extração foi realizada em tubos de ensaio envolvidos com papel alumínio, contendo 5 mL de acetona 80%, acondicionados no escuro, à

temperatura de 4 °C, durante 72 horas. A leitura da absorbância dos extratos foi realizada nos comprimentos de onda de 470, 646,8 e 663,2 nm, em espectrofotômetro. Os resultados foram calculados e expressos em mg L<sup>-1</sup>.

O material foliar, após secagem, foi triturado em moinho de aço do tipo Willey, em seguida armazenado em sacos plásticos identificados, seguindo para análises nutricionais de potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na) e silício (Si). Para a determinação dos teores de K e Ca, utilizou-se o produto da digestão sulfúrica, conforme a metodologia proposta por Embrapa (2009). A determinação do Na e Si foi realizada pelo Laboratório de Análises de Solo e Planta (LASP), Petrolina-PE, utilizando a metodologia Malavolta; Vitti; Oliveira (1997) e Furlani; Gallo (1978), respectivamente. Após obtenção dos teores, foi determinada a relação desses íons com íons de sódio (Na/K, Na/Ca e Na/Si).

## 2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste ‘F’ ao nível de 5% de significância e, quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparação das médias dos tratamentos, utilizando-se o *software* estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011). Os dados obtidos foram submetidos, primeiramente, ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $p \geq 0,05$ ) e os dados considerados fora da normalidade foram transformados por  $\sqrt{X}$ .

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra as mudas de umbu-cajazeira aos 90 dias após a irrigação com água salina e adubação com silício.



**Figura 4.** Mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício, Mossoró-RN, UFERSA, 2022.

### 3.1 CRESCIMENTO

Na Tabela 4, constam os valores dos parâmetros de crescimento das mudas nos tratamentos - comprimento da haste (C. haste), diâmetro da estaca (D. estaca), diâmetro da haste (D. haste), número de folhas (NF) e % sobrevivência de folhas - que apresentaram efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ). A testemunha (T1) irrigada com água de CEa  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  apresentou os maiores valores e mostrou-se significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ) dos tratamentos irrigados com água salina de CEa de  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  (T2, T3, T4 e T5), que não diferiram entre si.

**Tabela 4.** Resumo do teste F e Tukey para as variáveis: comprimento da haste (C. haste), diâmetro da estaca (D. estaca), diâmetro da haste (D. haste), número de folhas (NF), % sobrevivência de folhas de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício.

Teste F (p-valor)					
FV	C. haste (cm) <sup>1</sup>	D. estaca (mm) <sup>1</sup>	D. haste (mm) <sup>1</sup>	Número de Folhas (NF) <sup>1</sup>	% Sobrevivência de folhas <sup>1</sup>
Tratamento	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0005*
CV (%)	22,92	24,25	12,73	15,69	19,51
Tratamento	Teste de Tukey				
T1	53,25 a	8,33 a	10,03 a	35,88 a	91,67 a
T2	12,90 b	1,30 b	2,36 b	8,63 b	43,35 b
T3	17,21 b	1,41 b	2,54 b	13,25 b	58,73 ab
T4	16,01 b	1,51 b	2,07 b	10,88 b	48,47 b
T5	15,25 b	1,05 b	2,09 b	9,38 b	48,81 b



DMS	13,27	1,52	1,24	5,4	27,05
-----	-------	------	------	-----	-------

Nota: T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar). FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (\*) significativo e (ns) Não significativo a 5% (p ≤ 0,05) pelo teste F; respectivamente; (1) análise estatística realizada após transformação de dados para  $\sqrt{X}$ .

Os resultados mostraram que a salinidade, independentemente da adubação silicatada, interferiu negativamente em todos os parâmetros de crescimento. Para o C. haste, a maior redução comparada ao T1 foi obtida no tratamento T2, sendo igual a 75,78%. Em relação ao D. estaca e haste, os menores valores ocorreram nos tratamentos T5 e T4, representando reduções de 84,39 e 79,36%, respectivamente (Tabela 4).

Para o NF, foi verificado que aos 90 DAA houve redução drástica em virtude dos sais restringirem o aparecimento e desenvolvimento das folhas (Tabela 4). Os números máximo e mínimo de folhas foram registrados em T1 e T4, respectivamente, representando decréscimo de 75,95%. Para porcentagem de sobrevivência das folhas, o T3 adubado com CaSiO<sub>3</sub> apresentou média semelhante estatisticamente ao T1, representando apenas uma redução de 32,94%.

A inibição ou redução do crescimento das mudas de umbu-cajazeiras pode estar relacionada ao efeito osmótico ou déficit hídrico, que reduz a habilidade de absorção de água. Segundo Zhu et al. (2019), o estresse osmótico causado pelo excesso de sais solúveis no solo diminui o potencial osmótico das soluções do solo e reduz a capacidade dos sistemas radiculares das plantas de absorverem água, resultando em seca fisiológica, gerando a baixa pressão de turgescência, afetando, dessa maneira, os processos de expansão e divisão celular (TAIZ et al., 2017; SUNDERS, 2020; ARIF et al., 2020; YOUNAS et al., 2021). Portanto, prejudica a emissão de folhas, inibindo expansão foliar, formação de ramos e brotações laterais (MUNNS; TESTER, 2008).

No presente estudo, a salinidade acarretou baixa sobrevivência das folhas, provavelmente em virtude do efeito osmótico e iônico. Segundo Munns; Tester (2008), altas concentrações de sais aumentam a senescência das folhas mais velhas, pois já não possuem a capacidade de diluir os sais, reduzindo a área foliar fotossintética e oferta de fotoassimilados, colaborando para um menor crescimento das mudas.

Todavia, o silício na forma CaSiO<sub>3</sub> mitigou o excesso de sais, promovendo maior resistência às folhas no T3. Segundo Ma; Yamaji (2006) e Verma et al. (2019), o uso do Si aumenta a rigidez estrutural das folhas, por conta da sua deposição na forma de sílica amorfa,

salienta-se ainda que o Ca mantém adequada a integridade estrutural da membrana e desempenha papel vital no processo da senescência (LAHAYE; EPSTEIN, 1971).

Estes resultados corroboram com outros autores, que verificaram que a salinidade afeta o crescimento das plantas no geral, especialmente aquelas consideradas glicófitas como Neves, Carvalho e Rodrigues (2004) e Silva et al. (2008), em umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.), e Sá et al. (2020), em maracujazeiro. No entanto, Souza et al. (2020) obtiveram respostas positivas quando aplicaram  $\text{CaSiO}_3$  sob estresse salino em maracujazeiro.

### 3.2 ACÚMULO DE BIOMASSA

Para a matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da estaca (MSE), matéria seca da haste (MSH), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST), o comportamento das mudas foi consoante com as variáveis de crescimento. Não houve efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos T2, T3, T4 e T5, diferindo, porém, do tratamento T1 (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo do teste F e Tukey para as variáveis: matéria seca das folhas (MSF), matéria seca da estaca (MSE), matéria seca da haste (MSH), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício.

FV	Teste F (p-valor)				
	MSF (g) <sup>1</sup>	MSE (g)	MSH (g) <sup>1</sup>	MSR (g) <sup>1</sup>	MST (g) <sup>1</sup>
Tratamento	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	17,94	15,69	13,96	19,7	11,26

Tratamento	Teste deTukey				
T1	30,42 a	36,83 a	32,47 a	17,49 a	117,20 a
T2	7,47 b	16,13 b	9,2 b	4,51 b	37,31 b
T3	10,19 b	14,7 b	9,21 b	4,87 b	38,97 b
T4	7,84 b	16,41 b	8,65 b	4,02 b	36,92 b
T5	6,25 b	13,25 b	6,94 b	3,36 b	29,79 b
DMS	5,76	4,39	5,94	5,04	19,05

Nota: T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de  $\text{CaSiO}_3$  (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de  $\text{CaSiO}_3$  (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  (via foliar). FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (\*) significativo e (ns) Não significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F; respectivamente; <sup>(1)</sup> análise estatística realizada após transformação de dados para  $\sqrt{X}$ .

Para as variáveis supracitadas de acúmulo de biomassa, a máxima redução foi verificada no tratamento T5, que recebeu adubação combinando  $\text{CaSiO}_3$  e  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ , 79,45% (MSF), 64,02% (MSE), 78,63% (MSH), 80,79 % (MSR) e 74,59% (MST).

A redução da biomassa em condições salinas é uma resposta aos distúrbios osmóticos, tóxicos e desequilíbrio nutricional, ademais, tal situação provoca desvio de energia para suprir o gasto energético da aclimatação osmótica e iônica, a exemplo da exclusão de íons ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) e produção de solutos compatíveis (MUNNS; TESTER, 2008).

Este resultado também tem relação com a diminuição da fotossíntese, como se pode observar adiante, visto que as folhas, local do maquinário fotossintético, foram drasticamente reduzidas, levando ao declínio da absorção de  $\text{CO}_2$  e, conseqüentemente, ao acúmulo de biomassa. Em oposição ao comportamento deste trabalho, Souza et al. (2020), ao estudarem a cultura do maracujazeiro sob salinidade e aplicando Si, notaram atenuação dos efeitos negativos do estresse.

### 3.3 TOLERÂNCIA À SALINIDADE

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 6, a umbu-cajazeira se mostrou sensível aos efeitos da salinidade da água de irrigação com CEa de  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ , independentemente do fornecimento do Si.

**Tabela 6.** Análise de tolerância à salinidade de mudas de umbu-cajazeira irrigada com águas salinas e adubada com silício.

Tratamento	Massa Seca Total (g)	Redução da matéria seca (%)
T1	117,2	-
T2	37,31	68,17 (S)
T3	38,97	66,75 (S)
T4	36,92	68,50 (S)
T5	29,79	74,59 (S)

Nota: T1: CEa  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Testemunha); T2: CEa  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ; T3: CEa  $3,5 \text{ dS m}^{-1} + 3,5 \text{ g de CaSiO}_3$  (via solo); T4: CEa  $3,5 \text{ dS m}^{-1} + 2,2 \text{ mL L}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  (via foliar) e T5: CEa  $3,5 \text{ dS m}^{-1} + 3,5 \text{ g de CaSiO}_3$  (via solo) +  $2,2 \text{ mL L}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  (via foliar). S= suscetível.

A classificação das mudas quanto ao grau de tolerância à salinidade foi determinado tomando como base a produção da massa seca total dos tratamentos que receberam irrigação com água salina e o tratamento testemunha. As plantas perante as reduções da matéria seca total são tolerantes (< 20%), moderadamente tolerantes (21 a 40%), moderadamente suscetíveis (41 a 60%) e suscetíveis (> 60%) (FAGERIA et al., 1985). Assim, a umbu-cajazeira foi classificada como suscetível (> 60%), o que causou reduções nos parâmetros avaliados.

A suscetibilidade constatada no T2 reforça a hipótese de que o estresse imposto foi suficientemente alto a ponto do Si não expressar os efeitos benéficos à cultura nos tratamentos T3, T4 e T5. Liu; Soundararajan; Manivannan (2019) mencionam que o Si apresenta diversos benefícios para as plantas, especialmente em condições de estresse, entretanto podem existir variações associadas às características da espécie, fontes de silício, doses e condições de estresse.

Munns; Tester (2008) afirmam que o estresse salino pode inibir severamente a fotossíntese em glicófitas, assim como o funcionamento de diversas enzimas responsáveis pelo metabolismo vegetal, podendo comprometer o crescimento (SÁ et al., 2020), tornando-se em certos casos danos graves ou irreversíveis, o que pode explicar a ausência de efeito do Si.

### 3.4 TROCAS GASOSAS

Pelos resultados da tabela 7, constata-se que a salinidade da água de irrigação com CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> alterou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) a condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*), exceto a temperatura foliar das mudas de umbu-cajazeiras. Estes parâmetros significativos, apresentaram diferença apenas entre a testemunha (T1) e os tratamentos sob salinidade (T2, T3, T4 e T5), apontando que a o silicato não atenuou os efeitos deletérios do estresse salino para as trocas gasosas.

**Tabela 7.** Resumo do teste F e Tukey para as variáveis: concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiCi*) de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício.

Teste F (p-valor)							
	Ci	E <sup>1</sup>	gs <sup>1</sup>	A <sup>1</sup>	EiUa <sup>1</sup>	EiCi <sup>1</sup>	Tl
	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(mmol de H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	(mol de H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )			(°C)
FV							
Tratamento	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,7657 <sup>ns</sup>
CV (%)	21,72	13,96	17,37	18,93	16,88	25,82	4,18

Tratamento	Teste de Tukey						
T1	125,38 b	4,88 a	0,37 a	36,02 a	7,51 a	0,305 a	34,89 a
T2	246,13 a	2,04 b	0,10 b	7,48 b	3,64 b	0,035 b	34,90 a
T3	262,63 a	2,14 b	0,11 b	7,42 b	3,54 b	0,031 b	34,29 a
T4	232,38 a	2,17 b	0,11 b	9,37 b	4,29 b	0,043 b	34,21 a
T5	251,13 a	2,18 b	0,11 b	8,05 b	3,80 b	0,035 b	34,30 a
DMS	69,79	1,03	0,08	6,38	1,95	0,066	2,07

Nota: T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar). FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (\*) significativo e (<sup>ns</sup>) Não significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F; respectivamente; (<sup>1</sup>) análise estatística realizada após transformação de dados para  $\sqrt{X}$ .

Na condutância estomática (gs), houve redução de 27  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (T2) e 26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (T3, T4 e T5) na comparação com a testemunha (T1), equivalendo a uma diminuição de 73% e 70,27%, respectivamente. De maneira semelhante, na transpiração (E) o decréscimo foi superior em T2, com redução de 58,19%.

Esse declínio na gs é comum em plantas sob estresse salino, já que tendem a fechar os estômatos como resultado da acumulação de íons específicos e deficiência hídrica, acarretando também na redução da transpiração foliar (TAIZ et al., 2017). Segundo Taiz et al. (2017) e Dias et al. (2016), plantas em condições salinas reduzem a abertura estomática, para amenizar a perda de água pelas folhas, que é induzida pela redução do potencial osmótico da solução do solo, resultando em aumentos nas forças de retenção da água e resistência à absorção de água pelas raízes. De acordo com Sá et al. (2019), a redução da transpiração é um mecanismo de defesa, que permite que a planta supere o estresse osmótico e/ou reduza a absorção de água e íons tóxicos.

A concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) nas mudas de umbu-cajazeiras foi afetada, observando acréscimos à testemunha (T1), sendo o máximo valor médio encontrado nas mudas do tratamento T3, o que representou incremento da Ci de 109,47%. Contudo, para a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), o T3 exibiu a maior redução 79,40% (Tabela 7).

Percebe-se no estudo da variável  $C_i$  que este incremento pode indicar efeitos negativos da salinidade severa no metabolismo do carbono das mudas, na medida em que, apesar do fechamento parcial dos estômatos (comprovado neste estudo pela variável  $g_s$ ), não houve redução da  $C_i$ , ou seja, o substrato estava disponível, mas não foi utilizado na síntese de açúcares para o processo da fotossíntese. Logo, não houve limitação total na disponibilidade de  $CO_2$  para o processo fotossintético (TAIZ et al., 2017).

Assim, a obtenção do substrato para fotossíntese pode ter sofrido interferência de um fator não estomático, a exemplo da inibição da ribulose-1,5-bisfosfato (LIU; SOUNDARARAJAN; MANIVANNAN, 2019). Comportamento semelhante ao observado neste estudo foi apresentado em plantas sob estresse salino de maracujazeiro (DINIZ et al., 2020) e citros (SILVA et al., 2014) sob estresse salino. Segundo os últimos autores, tal comportamento pode ser atribuído à falta de ATP e NADPH provenientes da cadeia transportadora de elétrons do fotossistema II e baixa atividade da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (rubisco).

Os resultados da A assemelharam-se aos da  $g_s$  e E. Provavelmente, o déficit hídrico gerado pelo efeito osmótico causou o declínio da atividade fotossintética. Arif et al. (2020) afirmam que a salinidade dificulta a transpiração e reduz a condutância estomática, causando deficiência nas trocas gasosas e reduzindo a taxa fotossintética, o que contribuiu para os efeitos negativos no crescimento, acúmulo de biomassa e tolerância à salinidade, como já comentado. Esse resultado também sugere que fatores não estomáticos atuaram sobre as mudas, uma vez que houve uma alta  $C_i$  em relação à testemunha, mas na A ocorreu o inverso.

A eficiência instantânea do uso da água (EiUA), por possuir estreita relação com as variáveis de E e A, apresentou consonância com tais variáveis, com máxima redução em T3 (53%). Logo, a cultura não conseguiu moderar a perda de água, ao mesmo tempo em que permitia absorção suficiente de  $CO_2$  para a fotossíntese (TAIZ et al., 2017). Efeito semelhante foi observado por Sá et al. (2019), que relataram reduções na EiUA em decorrência do estresse salino. Porém, Diniz et al. (2020) aumentaram a EiUA aplicando silício em condições salinas.

Para a eficiência instantânea de carboxilação (EiCi), a maior redução foi verificada no tratamento T3, sendo igual a 90%. As reduções EiCi levam a reduções na taxa fotossintética, ocorrendo baixa disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a rubisco (SILVA et al. 2015a), ocorrendo, dessa maneira, restrições metabólicas no ciclo de Calvin-Beason, no qual o carbono recebido na folha não está sendo fixado na etapa de carboxilação (SOUSA et al., 2016).

### 3.5 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA

Os diferentes tratamentos utilizados não influenciaram as variáveis fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), eficiência quântica efetiva de PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo'), coeficiente de extinção fotoquímico (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO). Contudo, houve diferença para as variáveis fluorescência inicial (Fo) e máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (Tabela 8).

**Tabela 8.** Resumo do teste F e Tukey para as fluorescências da clorofila: fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), máxima eficiência quântica do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm), eficiência quântica efetiva de PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo'), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de mudas de umbu-cajeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício.

Teste F (p-valor)					
FV	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Y <sup>1</sup>
Tratamento	0,0002*	0,7088 <sup>ns</sup>	0,4699 <sup>ns</sup>	0,0000*	0,7702 <sup>ns</sup>
CV (%)	7,79	8,45	9,62	2,18	12,42
Teste de Tukey					
Tratamento	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Y <sup>1</sup>
T1	451,00 b	2140,13 a	1537,00 a	0,79 a	0,61 a
T2	533,625 a	2135,38 a	1596,00 a	0,75 b	0,55 a
T3	506,375 ab	2050,00 a	1591,00 a	0,75 b	0,62 a
T4	543,875 a	2171,63 a	1692,00 a	0,75 b	0,60 a
T5	542,375 a	2151,25 a	1700,00 a	0,75 b	0,63 a
DMS	57,77	258,83	223,4	0,02	0,18
Teste F (p-valor)					
FV	ETR <sup>1</sup>	Fo' <sup>1</sup>	qL <sup>1</sup>	YNPQ <sup>1</sup>	YNO <sup>1</sup>
Tratamento	0,4278 <sup>ns</sup>	0,9375 <sup>ns</sup>	0,8487 <sup>ns</sup>	0,6582 <sup>ns</sup>	0,3438 <sup>ns</sup>
CV (%)	22,91	24,15	20,20	17,90	10,57
Teste de Tukey					
Tratamento	ETR <sup>1</sup>	Fo' <sup>1</sup>	qL <sup>1</sup>	YNPQ <sup>1</sup>	YNO <sup>1</sup>
T1	18,49 a	3,04 a	0,0136 a	0,335 a	0,052 a
T2	26,08 a	3,00 a	0,0123 a	0,388 a	0,065 a

T3	18,41 a	2,74 a	0,0146 a	0,316 a	0,060 a
T4	21,80 a	3,03 a	0,0150 a	0,345 a	0,056 a
T5	19,76 a	2,60 a	0,0132 a	0,307 a	0,060 a
DMS	13,65	2,53	0,009	0,185	0,01

Nota: T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar). FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (\*) significativo e (ns) Não significativo a 5% (p ≤ 0,05) pelo teste F, respectivamente; (1) análise estatística realizada após transformação de dados para  $\sqrt{X}$ .

A irrigação com água de CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> aumentou a variável Fo nas mudas de umbu-cajazeiras, em relação à irrigação com água de CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup>, independentemente do fornecimento do Si, sendo o maior incremento em T4, da ordem de 92,87 elétrons quantum<sup>-1</sup>, em percentual 20,60. Todavia, os tratamentos T1 e T3 não diferiram entre si, sendo iguais, com médias de 451,00 e 506,37 elétrons quantum<sup>-1</sup>, respectivamente.

A fluorescência inicial (Fo) refere-se à fluorescência quando a quinona está totalmente oxidada e o centro de reação do fotossistema II (PSII) está aberto, situação iminente à ativação das reações fotoquímicas (MOUGET; TREMBLIN, 2002). Segundo Baker (2008), quando as plantas estão submetidas ao estresse salino, o aumento na fluorescência inicial indica ocorrência de injúrias nas moléculas de clorofila e evidencia dano ao centro de reação do PSII, que reduz o transporte de elétrons e a produção de ATP e NADPH. Comportamento semelhante ao estudo foi observado em mudas de cajueiro-anão (*Anacardium occidentale* L.) sob estresse salino, segundo Lima et al. (2019), que também identificaram aumentos nesta variável.

Desta maneira, com a aplicação do CaSiO<sub>3</sub> (T3) em condições salinas, infere-se que foram reduzidos os danos ao complexo receptor de luz do PSII das mudas de umbu-cajazeiras, mitigando o estresse imposto, possivelmente devido porque este tratamento apresenta maior número de folhas e teor de carotenoide, que é protetor da clorofila. Além disso, Zhu et al. (2015) afirmam que a adição de Si colabora para aumentar a abertura e a atividade do centro de reação do PSII, facilitando o uso de mais energia na transferência de elétrons do PSII e aumentando a eficiência de conversão de energia luminosa em energia química.

Para a relação Fv/Fm, houve efeito significativo entre T1 e os demais tratamentos, com reduções de 5% nos tratamentos T2, T3, T4 e T5 em relação à testemunha (Tabela 8). Essa variável reflete a eficiência relativa à absorção de energia luminosa pelo complexo de antenas do PSII e à sua conversão em energia química (DIAS et al., 2018), sendo considerada importante para avaliar a aptidão e integridade do aparelho interno da fotossíntese (VERMA,



et al., 2019), com valores ótimos entre 0,75 a 0,85, que indicam que as plantas apresentam aparelho fotossintético intacto (SILVA et al., 2015b).

No entanto, apesar das mudas de umbu-cajazeiras estarem com valores dentro da faixa estabelecida pelos autores, as reduções foram iguais ao limite 0,75 e significativamente menores do que foi encontrado para as mudas da testemunha, evidenciando perturbação no processo fotossintético em virtude da salinidade, especificamente no PSII, o que corrobora com resultados da Ci e fotossíntese.

### 3.6 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Para os pigmentos fotossintéticos, houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos para as variáveis clorofila a e carotenoides. Não foi observada diferença ( $p \leq 0,05$ ) para a variável clorofila b (Tabela 9).

**Tabela 9.** Resumo do teste F e Tukey para clorofila a, b e carotenoides de mudas de umbu-cajazeira irrigadas com águas salinas e adubadas com silício.

Teste F (p-valor)			
FV	Clorofila a	Clorofila b <sup>1</sup>	Carotenoides <sup>1</sup>
Tratamento	0,0000*	0,2704 <sup>ns</sup>	0,0000*
CV (%)	14,91	12,35	9,64
Tratamento	Teste de Tukey		
T1	153,00 a	26,64 a	44,90 a
T2	86,42 b	27,20 a	34,74 bc
T3	84,39 bc	28,98 a	35,87 ab
T4	66,14 c	22,17 a	25,75 c
T5	73,01 bc	23,81 a	28,06 bc
DMS	19,85	9,02	9,17

Nota: T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar). FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (\*) significativo e (<sup>ns</sup>) Não significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F; respectivamente; (<sup>1</sup>) análise estatística realizada após transformação de dados para  $\sqrt{X}$ .

O teor de clorofila a foi superior na testemunha (T1), sendo igual a 153 mg L<sup>-1</sup>, e significativamente diferente ( $p \leq 0,05$ ) de T2, T3, T4 e T5. Desses tratamentos, somente T2 e T4 diferiram entre si, com valores de 86,42 a 66,14 mg L<sup>-1</sup>. A maior redução comparada ao

T1 foi notada em T4, com 56,78%. Efeito semelhante foi observado por Wasti et al. (2017) e Diniz et al. (2020; 2021), nas culturas do tomateiro e maracujazeiro, respectivamente.

A quantificação da clorofila é considerada um parâmetro importante para verificar o teor de pigmento fotossintético, que interfere na absorção da energia luminosa e na transferência de energia durante o processo fotoquímico da fotossíntese (VERMA et al., 2019). No entanto, o acúmulo de sais diminui a concentração de pigmentos fotossintéticos (LIU; SOUNDARARAJAN; MANIVANNAN, 2019); nessas condições, a atividade da enzima clorofilase, que degrada as moléculas do pigmento fotossintetizante, é estimulada e causa destruição dos cloroplastos, com efeito na perda da atividade das proteínas de pigmentação da planta (MUNNS; TESTER, 2008; DINIZ et al., 2021), degradando o aparato fotossintético das mudas de umbu-cajazeira, corroborando com redução da eficiência fotoquímica do fotossistema II.

Quanto ao conteúdo de carotenoide, o tratamento T3 que recebeu adubação com  $\text{CaSiO}_3$  assemelhou-se à testemunha, com redução aproximadamente de 20%. Os carotenoides são pigmentos acessórios que absorvem a energia da luz e transferem a clorofila para o processo de fotossíntese (TAIZ et al., 2017), além de serem protetores da clorofila no tocante da fotooxidação. Porém, o estresse salino induz a degradação de  $\beta$ -caroteno e a redução na formação de zeaxantina, produzindo diminuição no teor de carotenoides (LIMA et al., 2004).

Conforme Taibi et al. (2016), ocorrem reduções dos carotenoides em função da salinidade, o que pode influenciar também na capacidade de desintoxicação das plantas ao excesso de espécies reativas. Acredita-se que tais resultados observados no experimento possam ser provenientes do benefício do Si aplicado via  $\text{CaSiO}_3$ , quanto à produção de antioxidantes como o carotenoide, uma vez que o Si atua na formação de complexos protetores e reguladores, ativação de genes para estimulação dos sistemas antioxidantes, que aumentam a atividade antioxidante não enzimática (DORNELES et al., 2016). Resultados semelhante foi obtido por Wasti et al. (2017) na cultura do tomate, quando aplicaram  $\text{CaSiO}_3$ .

### 3.7 TEOR NUTRICIONAL FOLIAR

Na avaliação nutricional das folhas, houve significância ( $p \leq 0,05$ ) para os teores de sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), silício (Si) e nas relações Na/K, Na/Ca e Na/Si (Tabela 10).

Nas condições de irrigação com água de CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup>, foi alcançado o menor teor de Na (0,51 g kg<sup>-1</sup>). Sob irrigação com água salina de CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>, as mudas adubadas com silicato (T3, T4 e T5) não diferiram entre si ( $p \leq 0,05$ ), apresentando reduções de 43,94, 46,97 e 47,73%, respectivamente, comparadas ao tratamento T2. Porém, na comparação ao T1 os teores foram superiores e estatisticamente iguais em T4 e T5 (Tabela 10).

**Tabela 10.** Resumo do teste F e Tukey para os teores e relações dos nutrientes: sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), silício (Si), relação sódio e potássio (Na/K), relação sódio e cálcio (Na/Ca) e a relação sódio e silício (Na/Si) de mudas de umbu-cajazeiras irrigadas com águas salinas e adubadas com silício.

Teste F (p-valor)							
FV	Na (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	K (g kg <sup>-1</sup> )	Ca (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	Si (g kg <sup>-1</sup> )	Na/K <sup>1</sup>	Na/Ca <sup>1</sup>	Na/Si
Tratamento	0,0000*	0,0000*	0,0085*	0,0000*	0,0002*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	8,88	17,41	10,43	10,85	13,94	14,82	14,05

Tratamento	Teste de Tukey						
T1	0,51 c	10,54 b	4,64 b	15,52 a	0,049 b	0,11 b	0,03 c
T2	1,32 a	18,57 a	5,99 ab	11,11 b	0,074 a	0,23 a	0,12 a
T3	0,74 b	14,89 a	6,63 a	11,93 b	0,050 b	0,11 b	0,06 b
T4	0,70 bc	18,37 a	5,19 ab	12,03 b	0,039 b	0,15 b	0,06 b
T5	0,69 bc	18,23 a	6,31 a	12,01 b	0,040 b	0,11 b	0,06 b

Nota: T1: CEa 0,5 dS m<sup>-1</sup> (Testemunha); T2: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup>; T3: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo); T4: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar) e T5: CEa 3,5 dS m<sup>-1</sup> + 3,5 g de CaSiO<sub>3</sub> (via solo) + 2,2 mL L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (via foliar). FV: Fonte de variação; CV: Coeficiente de variação; (\*) significativo e (ns) Não significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F; respectivamente; <sup>(1)</sup> análise estatística realizada após transformação de dados para  $\sqrt{X}$ .

As fontes de Si fornecidas às mudas proporcionaram reduções nos teores de Na principalmente em T4 e T5, contribuindo para homeostase iônica da umbu-cajazeira, uma vez que o Si restringe o acúmulo de Na<sup>+</sup>, melhora a absorção de K<sup>+</sup>, bem como a manutenção do equilíbrio osmótico, podendo ajudar na melhora do processo fotossintético em condições de salinidade (ZHU; GONG, 2014; RIOS et al., 2017).

Essas reduções podem ocorrer em virtude do Si aumentar a resistência da planta ao estresse salino pela diminuição da absorção de Na<sup>+</sup> via transportadores na membrana plasmática e no tonoplasto, além de aumentar captação de íons K<sup>+</sup> via transporte simporte (RIZWAN et al., 2015). Outro fato a ser considerado são os benefícios efetivos do Si associados principalmente à sua alta deposição nos tecidos vegetais, aumentando sua

resistência e rigidez (MA; YAMAJI, 2006), diminuindo a transpiração e, conseqüentemente, a maior absorção de sais.

A mitigação do estresse salino, nos tratamentos que receberam Si na forma de  $K_2SiO_3$ , pode estar relacionado ao maior fornecimento do K, que contribuiu para uma maior homeostase iônica; além disso, esses tratamentos tiveram maiores médias de transpiração, favorecendo maior absorção passiva do Si.

Comportamento semelhante ao da pesquisa foi relatado por Ashraf et al. (2010) e Khan et al. (2018), que reduziram os teores de sais quando aplicaram o Si em plantas sob estresse salino.

Para o K, verificou-se que os teores foliares foram altos na CEa  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ , independentemente da aplicação do silicato, demonstrando a mínima interferência da salinidade na absorção deste nutriente (Tabela 10). Os tratamentos T2, T3, T4 e T5 não foram diferentes estaticamente ( $p \leq 0,05$ ), porém o T1 diferiu dos demais e apresentou o menor teor ( $10,54 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Com relação ao Ca, observa-se também que os teores foliares das mudas dos tratamentos T2, T3, T4 e T5 não diferiram entre si e foram superiores, quando comparadas ao T1 ( $4,64 \text{ g kg}^{-1}$ ). Porém, o T1 mostrou-se estatisticamente semelhante ( $p \leq 0,05$ ) ao T2 e T4 (Tabela 0). Constatou-se também que T3 e T5, que receberam fornecimento de Si com  $CaSiO_3$ , obtiveram as maiores médias de Ca.

Geralmente em condições salinas, ocorrem diminuições na concentração de K e Ca (DIAS et al., 2016), porém as mudas de umbu-cajazeiras apresentaram maiores concentrações, caracterizando-se uma estratégia para mitigar os efeitos do sódio, a partir da homeostase iônica. Segundo Tang et al. (2015), a manutenção de alta concentração de  $K^+$  desempenha importante papel na tolerância das plantas ao estresse salino, visto que o  $K^+$  atua nos processos osmóticos, na síntese proteica, permeabilidade da membrana, fotossíntese e atividades enzimáticas (TAIZ et al., 2017; LIU; SOUNDARARAJAN; MANIVANNAN, 2019). Portanto, a persistência de uma quantidade elevada de  $K^+$  colabora para exclusão do  $Na^+$  da célula (TANG et al., 2015), favorecendo a homeostase iônica (MUNNS; TESTER, 2008).

Não obstante, Ca também atua na manutenção da permeabilidade da membrana como o K, além de desempenhar papel importante nos processos de divisão e alongação celular (LIU; SOUNDARARAJAN; MANIVANNAN, 2019), na indução de atividades de enzimas antioxidantes, na redução da peroxidação lipídica das membranas e ser mensageiro secundário para várias respostas de planta relacionadas com o ambiente (WASTI et al., 2017; TAIZ et al.,

2017). Assim, as mudas suplementadas com Ca mediado pelo  $\text{CaSiO}_3$  podem auxiliar no processo de desenvolvimento celular em ambientes estressantes, de forma a poder aumentar a taxa de crescimento e demais processos fisiológicos da cultura, mas os benefícios notados foram apenas na porcentagem de sobrevivência e teor de carotenoide.

Para o teor de Si, as mudas de umbu-cajazeiras do tratamento T1 apresentaram o teor máximo ( $15,52 \text{ g kg}^{-1}$ ), diferindo dos tratamentos T2, T3, T4 e T5. Vale ressaltar que no T1 não houve aplicação do Si, presumindo-se que este teor superior pode se dever à sua presença detectada na análise química do substrato antes do início do experimento (Tabela 1), além disso, o nutriente geralmente está presente na água de irrigação (MA; YAMAJI, 2006). Por sua vez, os teores estaticamente iguais entre os tratamentos que estavam sob estresse salino, independente do fornecimento do Si, indicam que o estresse foi suficiente severo a ponto de interferir na maior absorção e atuação do Si.

A absorção do Si pode ser ativa, por meio de transportadores específicos (KORNDORFER; SOUZA, 2018), ou passiva, regulada pela transpiração (MA; YAMAJI, 2006). Então, as reduções na absorção do Si podem ser justificadas pela limitação da energia disponível, visto que a absorção ativa precisa de energia, e sob condições salinas a planta desvia energia para ajustamento osmótico (MUNNS; TESTER, 2008), diminuindo absorção de nutrientes. No transporte passivo, por sua vez, justifica-se pelo decréscimo da transpiração foliar verificada anteriormente. Além disso, o silício é considerado imóvel na planta, pois é depositado principalmente nas folhas e tecidos mais velhos (MA; YAMAJI, 2006). Desta forma, a baixa sobrevivência das folhas observada pode ter implicado na exportação do Si, assim como favoreceu a diminuição da transpiração, logo a absorção passiva do Si.

As alterações no balanço nutricional das mudas de umbu-cajazeira resultaram em maiores aumentos nas relações Na/K (0,07), Na/Ca (0,23) e Na/Si (0,12) no tratamento T2, que se mostrou diferente estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) de T1, T3, T4 e T5 (Tabela 10). Tal situação indica acréscimos da absorção de sódio em detrimento da absorção de K, Ca e Si, nas mudas de umbu-cajazeiras irrigadas com água de CEa  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ , indicando, portanto, a toxicidade iônica e quais se apresentam menos tolerantes ao estresse, interferindo na homeostase iônica das células.

A relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  está altamente relacionada à tolerância das culturas à salinidade (ARIF et al., 2020), podendo ser utilizada como índice para a toxicidade do sódio, sendo os valores iguais ou menores que 1,0 necessários para uma ótima eficiência metabólica em plantas não halófitas (GREENWAY; MUNNS, 1980). Apesar dos resultados do trabalho estarem abaixo do índice, nota-se que a maior relação (T2) comparada ao T1 provavelmente

inativa enzima e, conseqüentemente, inibe a síntese proteica, provocando reduções no crescimento e desenvolvimento das mudas, o que foi notado em resultados anteriores.

Segundo Marschner (1995), uma relação  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  elevada faz com que o  $\text{Na}^+$  desloque o  $\text{Ca}^{2+}$  da membrana celular, provocando a perda de sua integridade e resultando em desequilíbrio na absorção iônica e não expressão dos benefícios já citados do elemento.

No geral, tais reduções de Na, Na/K, Na/Ca e Na/Si em tratamentos adubados com silício e aumentos de K e Ca não foram suficientes para amenizar os efeitos da sensibilidade das mudas ao estresse imposto, uma vez que não houve aumentos da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e melhorias no crescimento das mudas de umbu-cajazeiras.

Diante dos resultados supracitados, a água salina causou o estresse osmótico nas mudas com: redução da disponibilidade hídrica, aumento do fechamento estomático e, conseqüentemente, redução da captura de  $\text{CO}_2$ , que perturbou o aparato fotossintético, altamente sensível à salinidade. A redução da fotossíntese também envolveu fatores não estomáticos ao se considerar o incremento do substrato utilizado, a redução do número de folhas, degradação dos pigmentos fotossintéticos e reduções na fluorescência inicial e máxima eficiência quântica do PSII. Portanto, a redução da disponibilidade hídrica e baixa fotossíntese resultaram no menor crescimento dos órgãos vegetativos, principalmente as folhas, levando a uma redução da biomassa e menor tolerância à salinidade, o que desfavoreceu a ação do silício para as mudas estudadas neste trabalho.

#### **4 CONCLUSÕES**

As mudas de umbu-cajazeira são sensíveis ao nível de salinidade da água de 3,5 dS m<sup>-1</sup>.

A aplicação do silício via silicato de cálcio é capaz de mitigar os efeitos deletérios da salinidade para porcentagem de sobrevivência das folhas, carotenoides e fluorescência inicial.

Apesar da adubação silicatada tanto com silicato de cálcio quanto com potássio reduzir o teor de sódio, melhorando a homeostase iônica, a adubação não foi suficiente para redução do estresse salino evidenciado pelo crescimento e fisiologia das mudas de umbu-cajazeira.

Considerou-se a abscisão foliar e a diminuição da fotossíntese como as principais causas da diminuição de crescimento das mudas umbu-cajazeira sob estresse salino.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. P. N.; LEITE, G. A.; MENDONÇA, V.; CASTRO FREITAS, P. S.; ARRAIS, I. G.; DA SILVA TOSTA, M. Concentrações de AIB e substratos no enraizamento e vigor de estacas lenhosas de cajaraneira. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 60, p. 11-18, 2017. Disponível em: <http://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2004>. Acesso em: 15 dez. 2020.

ARIF, Y.; SINGH, P.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 64-77, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942820304241>. Acesso em: 19 dez. 2021.

ASHRAF, M.; AFZAL, M.; AHMED, R.; MUJEEB, F.; SARWAR, A.; ALI, L. ASHRAF, M. Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Plant and Soil**, v. 326, n. 1, p. 381-391, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0019-9>. Acesso em: 05 jan. 2022.

BAKER, B. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>. Acesso em: 16 set. 2021.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M.; CAVALCANTE, I. H. L. **Possibilidade do uso de água salina no cultivo do maracujazeiro-amarelo**. Areia: Editorações Gráficas Diniz, 2001.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S. D.; SÁ, F. V. D. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. D. A.; FERNANDES, P. D. Gas exchanges and photochemical efficiency of West Indian cherry cultivated with saline water and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 628-633, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xzCzjgcP4TyjhGmhsQ9K7pP/abstract/?lang=en>. Acesso em: 20 set. 2021.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI H. R. et al. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. D.; SOARES, L. A. D. A.; GHEYI, H. R. Irrigation with saline water and silicate fertilization in the cultivation of 'gigante amarelo' passion fruit 1 2. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 199-207, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/3bCkqPS5dkYc6CvW4jVksYh/abstract/?lang=en>. Acesso em: 10 nov. 2021.

DINIZ, G. L.; NOBRE, R. G.; LIMA, G. S. D.; SOUZA, L. D. P.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, M. N. Physiological indices and growth of 'Gigante Amarelo' passion fruit under salt stress and silicate fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**

**Ambiental**, v. 24, p. 814-821, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wxqzHGHdqmkhPH5wmjjv8QQ/abstract/?lang=en>. Acesso em: 10 nov. 2021.

DINIZ, M. T. M.; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima. **Boletim Goiano de Geografia, Goiânia**, v. 35, n. 3, p. 488-506, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3371/337142817008.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

DORNELES, A. O. S.; PEREIRA, A. S.; ROSSATO, L. V.; POSSEBOM, G.; SASSO, V. M.; BERNARDY, K.; TABALDI, L. A. Silicon reduces aluminum content in tissues and ameliorates its toxic effects on potato plant growth. **Ciência Rural**, v. 46, p. 506-512, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/8MWvym5xtQTF5Hq8x5DhpVF/abstract/?lang=en>. Acesso em: 15 out. 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2009.

FAGERIA, N. K. Salt tolerance of rice cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 88, p. 237-243, 1985. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02182450>. Acesso em: 06 abr. 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Determinação de silício em material vegetal, pelo método colorimétrico do "azul-de-molibdênio". **Bragantia**, v. 37, n. 1, p. 5-11, 1978. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/Bp7V4KvZfPzhyYrxbYGXStg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2022.

HOLANDA, J. D.; AMORIM, J. D.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. D.; SÁ, F. D. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI H. R. et al. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 35-50. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2020.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual review of plant physiology**, v. 31, n. 1, p. 149-190, 1980. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.pp.31.060180.001053?journalCode=arplant.1>. Acesso em: 10 jan. 2022.

KHAN, W. U. D.; AZIZ, T.; MAQSOOD, M. A.; FAROOQ, M.; ABDULLAH; Y., RAMZANI, P. M. A.; BILAL, H. M. Silicon nutrition mitigates salinity stress in maize by modulating ion accumulation, photosynthesis, and antioxidants. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1047-1057, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-018-0812-x>. Acesso em: 15 dez. 2021.

KORNDÖRFER, G.; SOUZA, S. R. Elementos benéficos. In: FERNANDES, Manlio Silvestre; SOUZA, Sônia Regina de; SANTOS, Leandro Azevedo. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2018. p. 563-599.



KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWARDS, G. E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, v. 79, p. 209-218, 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d>. Acesso em: 10 jun. 2021.

LAHAYE, P. A.; EPSTEIN, E. Calcium and salt toleration by bean plants. **Physiologia plantarum**, v. 25, n. 2, p. 213-218, 1971. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1971.tb01430.x>. Acesso em: 10 jan. 2022.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. (org.). **Methods in enzymology**. London: Academic Press, 1987. p. 350-382.

LIMA, G. S.; NETO, V. E. D. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; DINIZ, G. L.; DOS ANJOS SOARES, L. A.; FERNANDES, P. D.; AMEILDA, F. A.; PINHEIRO, F. W. A. Photosynthetic pigments and photochemical efficiency of precocious dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) under salt stress and potassium fertilization. **AIMS Agriculture and Food**, v. 4, n. 4, p. 1007-1019, 2019. Disponível em: <http://www.aimspress.com/fileOther/PDF/agriculture/agrfood-04-04-1007.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

LIMA, M. G. S.; LOPES, N. F.; BACARIN, M. A.; MENDES, C. R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 335-340, 2004. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/908/90863303.pdf>. Acesso em: 17 set. 2021.

LIU, B.; SOUNDARARAJAN, P.; MANIVANNAN, A. Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. **Plants**, v. 8, n. 9, p. 307, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/9/307>. Acesso em: 19 abr. 2021.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in plant science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1360138506001634>. Acesso em: 19 abr. 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Potafos, Piracicaba, Brasil. 1997.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 173f. Dissertação - (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2896>. Acesso em: 16 set. 2020.

MOUGET, J. L.; TREMBLIN, G. Suitability of the fluorescence monitoring system (FMS, Hansatech) for measurement of photosynthetic characteristics in algae. **Aquatic Botany**, v. 74, n. 3, p. 219-231, 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304377002001043>. Acesso em: 16 set. 2021.

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops—what is the cost?. **New phytologist**, v. 208, n. 3, p. 668-673, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/279307832\\_Salinity\\_tolerance\\_of\\_crops\\_-\\_what\\_is\\_the\\_cost](https://www.researchgate.net/publication/279307832_Salinity_tolerance_of_crops_-_what_is_the_cost). Acesso em: 11 jan. 2021.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2.ed. New York: Academy, 1995. 889p.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; RODRIGUES, C. R. Crescimento e nutrição mineral de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr.Cam.) submetidas a níveis de salinidade em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 997-1006, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/zptvmBpcZFtNTbCVw4mYVXX/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 16 set. 2021.

NOVAIS, R. D.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. D. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo: ensaio em ambiente controlado**. Brasília: Embrapa-SEA, 1991.

OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of organization. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p. 1473-1483, 1997. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-42.x>. Acesso em: 15 jun. 2021.

RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. The use saline waters for crop production. **Rome: FAO, 1992**. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48).

RIOS, J. J.; MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; RUIZ, J. M.; BLASCO, B.; CARVAJAL, M. Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 948, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00948/full>. Acesso em: 15 out. 2021.

RIZWAN, M.; ALI, S.; IBRAHIM, M.; FARID, M.; ADREES, M.; BHARWANA, S. A.; ZIA-UR-REHMAN, M.; QAYYUM, M. F.; ABBAS, F. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 20, p. 15416-15431, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-5305-x>. Acesso em: 07 jan. 2022.

SÁ, F. D. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; DE PAIVA, E. P.; SILVA, L. D. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 1, p. 211-221, 2019. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193266262>. Acesso em: 19 dez. 2021.

SÁ, F. V. S.; ARAÚJO, J. L.; OLIVEIRA, F. S.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA NETO, A. N. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, v. 43, n. 1, p. 77-83, 2015a. Disponível em: <http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/621>. Acesso em: 13 jan. 2021.

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; FIGUEIREDO, L. C. Fisiologia da percepção do estresse salino em híbridos de tangerineira - Sunki Comum sob solução hidropônica salinizada. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 4, p. 463-470, 2015b. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6294726>. Acesso em: 19 jun. 2021.

SÁ, J. R. D.; TOLEDO, F. H. S. F. D.; MARIÑO, Y. A.; SOARES, C. R. F. S.; FERREIRA, E. V. D. O. Growth and nutrition of *Passiflora edulis* submitted to saline stress after silicon application. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/Xbcv7FCVwSGbBmBJhDKsR3B/abstract/?lang=en>. Acesso em: 11 fev. 2021.

SANDERS, D. The salinity challenge. **New Phytologist**, v. 225, n. 3, p. 1047-1048, 2020. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.16357>. Acesso em: 15 dez. 2021.

SANTANA, I. B. B.; SOARES FILHO, W. S.; RITZINGER, R.; COSTA, M. A. P. C. Umbu-cajazeira: boas perspectivas para o Semiárido baiano. **Bahia Agrícola**, Bahia, v. 9, p. 101-105, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/924319/umbu-cajazeira-boas-perspectivas-para-o-semiarido-baiano>. Acesso em: 15 dez. 2020.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; DE ARAÚJO, F. P.; MELO, N. F.; AZEVEDO NETO, A. D. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, n. 1-3, p. 147-157, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847207002328>. Acesso em: 16 mai. 2020.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015a. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/k7CjkCCTnXCZZRYn4ZFG4DL/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 16 dez. 2021.

SILVA, F. G. D.; DUTRA, W. F., DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M. D.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. D. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015b. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/k7CjkCCTnXCZZRYn4ZFG4DL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 dez. 2021.

SILVA, L. A. S.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L. M.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. Especial, p. S1-S7, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xrdgRK4KGZS89jzbwbgNGSH/?format=html&stop=previuss&lang=pt>. Acesso em: 16 jun. 2021.

SOUSA, J. R. M.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; XAVIER, D. A.; FURTADO, G. F. Impact of saline conditions and nitrogen fertilization on citrus production and gas exchanges. **Revista Caatinga**, v.29, p.415-424, 2016. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/cwg7Qc9NLMHk5PgSH9ZvTTP/?lang=en&format=html>. Acesso em: 16 ago. 2021.

SOUZA, T. M. A. DE; MENDONÇA, V.; SÁ, F. V. S.; SILVA, M. J. DA; DOURADO, C. S. T. Calcium silicate as salt stress attenuator in seedlings of yellow passion fruit cv. BRS GA1. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 2, p. 509-517, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/9039/10219>. Acesso em: 10 fev. 2021.

TAIBI, K.; TAÏBI, F.; ABDERRAHIM, L. A.; ENNAJAH, A.; BELKHODJA, M.; MULET, J. M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, v. 105, p. 306-312, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915326739>. Acesso em: 16 set. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TANG, X.; MU, X.; SHAO, H.; WANG, H.; BRESTIC, M. Global plant-responding mechanisms to salt stress: physiological and molecular levels and implications in biotechnology. **Journal Critical Reviews in Biotechnology**, Cardiff, v. 35, n. 4, p. 425-437, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/07388551.2014.889080>. Acesso em: 16 jan. 2022.

VERMA, K. K.; LIU, X. H.; WU, K. C.; SINGH, R. K.; CANÇÃO, Q. Q.; MALVIYA, M. K.; SONG, X. P.; SINGH, P.; VERMA, C. L.; LI, Y.R. The Impact of Silicon on Photosynthetic and Biochemical Responses of Sugarcane under Different Soil Moisture Levels. **Silicon**, v. 12, n. 6, p. 1355-1367, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12633-019-00228-z>. Acesso em: 15 dez. 2021.

WASTI, S.; MANAA, A.; MIMOUNI, H.; NSAIRI, A.; IBTISSEM, M.; GHARBI, E.; GAUTIER, H.; BEN AHMED, H. Exogenous application of calcium silicate improves salt tolerance in two contrasting tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 5, p. 673-684, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2016.1250908>. Acesso em: 20 ago. 2021.

YOUNAS, H. S.; ABID, M.; SHAABAN, M.; ASHRAF, M. Influence of silicon and chitosan on growth and physiological attributes of maize in a saline field. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 27, n. 2, p. 387-397, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12298-021-00940-4>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ZHU, Y. X.; XU, X. B.; HU, Y. H.; HAN, W. H.; YIN, J. L.; LI, H. L.; GONG, H. J. Silicon improves salt tolerance by increasing root water uptake in *Cucumis sativus* L. **Plant Cell Reports**, v. 34, n. 9, p. 1629-1646, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00299-015-1814-9>. Acesso em: 15 out. 2021.

ZHU, Y. X.; GONG, H. J. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for sustainable development**, v. 34, n. 2, p. 455-472, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-013-0194-1>. Acesso em: 15 out. 2021.

ZHU, Y. X.; GONG, H. J.; YIN, J. L. Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: a review. **Plants**, v. 8, n. 6, p. 147, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/6/147>. Acesso em: 15 out. 2021.