

RELAÇÕES HÍDRICAS E DANO CELULAR DO MARACUJAZEIRO-AZEDO IRRIGADO COM ÁGUAS SALOBRAS E ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Francisco Jean da Silva Paiva¹, Geovani Soares de Lima², Vera Lucia Antunes de Lima³, Lauriane Almeida dos Anjos Soares⁴, Rafaela Aparecida Frazão Torres⁵, Jackson Silva Nóbrega⁶

RESUMO: A salinidade da água de irrigação é um fator abiótico que compromete a produtividade agrícola global. Para mitigar seus efeitos, práticas de manejo como por exemplo a adubação potássica são essenciais e podem reduzir os danos causados pelos sais às plantas. Objetivou-se avaliar os efeitos da adubação potássica nas relações hídricas e o dano à membrana celular do maracujazeiro-azedo irrigado com águas salobras. O experimento foi realizado sob condições de campo na fazenda experimental da Universidade Federal de Campina Grande, em São Domingos, Paraíba. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5×4 , sendo cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,3; 1,1; 1,9; 2,7 e 3,5 dS m⁻¹) e quatro doses de potássio - DK (60; 80; 100 e 120% da recomendação de K₂O). A salinidade da água de irrigação acima de 0,3 dS m⁻¹ comprometeu o status hídrico do maracujazeiro-azedo, reduzindo o conteúdo relativo de água, aumentando o extravasamento de eletrólitos e intensificando o déficit de saturação hídrica. Apesar desses impactos negativos, a adubação potássica na dose de 120% da recomendação de K₂O demonstrou-se uma alternativa promissora na mitigação dos efeitos do estresse salino.

PALAVRAS-CHAVE: estresse abiótico, *Passiflora edulis* Sims, semiárido brasileiro

¹ Prof. Doutor, Universidade Federal de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, SE. CEP 49680-000. Fone (83) 99694-2079. E-mail: jeanpaiva@academico.ufs.br

² Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias, UFCG, Pombal, PB.

³ Prof^a. Doutora, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB.

⁴ Prof^a. Doutora, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias, UFCG, Pombal, PB.

⁵ Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB.

⁶ Prof. Doutor, Universidade Federal do Oeste do Pará, Rurópolis, PA

WATER RELATIONS AND CELLULAR DAMAGE OF SOUR PASSION FRUIT IRRIGATED WITH BRACKISH WATER AND POTASSIUM FERTILIZATION

ABSTRACT: The salinity of irrigation water is an abiotic factor that compromises global agricultural productivity. To mitigate its effects, management practices such as potassium fertilization are essential and can reduce the damage caused by salts to plants. This study aimed to evaluate the effects of potassium fertilization on the water relations and cell membrane damage of sour passion fruit irrigated with saline water. The experiment was conducted under field conditions at the experimental farm of the Federal University of Campina Grande, in São Domingos, Paraíba, Brazil. A randomized block design was adopted in a 5×4 factorial scheme, consisting of five levels of irrigation water electrical conductivity – EC_w (0.3; 1.1; 1.9; 2.7 and 3.5 dS m⁻¹) and four potassium doses – KD (60, 80, 100, and 120% of the K₂O recommendation). Irrigation water salinity above 0.3 dS m⁻¹ impaired the water status of the sour passion fruit reducing relative water content, increasing electrolyte leakage, and intensifying the water saturation deficit. Despite these negative impacts, potassium fertilization at a dose of 120% of the K₂O recommendation proved to be a promising alternative in mitigating the effects of saline stress.

KEYWORDS: abiotic stress, *Passiflora edulis* Sims, brazilian semiarid region

INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil lidera a produção nacional de maracujá, tendo produzido, em 2023, mais de 505.461 toneladas de frutos, o que representa aproximadamente 71,1% da produção total do país. No entanto, a produtividade média da região ainda é relativamente baixa, atingindo apenas 15.543 kg ha⁻¹, um valor inferior à média nacional (IBGE, 2025). A baixa produtividade pode estar associada as restrições impostas pelo uso de água de irrigação com elevada salinidade, uma prática frequente entre os produtores da região.

O estresse salino gera espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem causar danos a moléculas essenciais, como DNA, proteínas e membranas celulares, compromete a absorção de água e nutrientes e reduz a eficiência fotossintética, resultando em inibição no crescimento e na produtividade das plantas (Sodaeizadeh et al., 2025; Sultan et al., 2021).

Assim, é fundamental a busca por alternativas capazes de amenizar os efeitos deletérios do estresse salino nas plantas, dentre elas destaca-se a adubação com potássio. O potássio exerce

um papel essencial nos processos fisiológicos das plantas, e sua aplicação equilibrada contribui para a regulação osmótica e a preservação da homeostase iônica, tornando-as mais resistentes ao estresse salino (Lima et al., 2018).

Objetivou-se avaliar os efeitos da adubação potássica nas relações hídricas e o dano à membrana celular do maracujazeiro-azedo 'BRS Sol do Cerrado' irrigado com águas salobras.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no setor de fruticultura da fazenda experimental 'Rolando Enrique Rivas Castellón', pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, localizado na cidade de São Domingos, Paraíba.

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 5×4 , cujos tratamentos foram obtidos pela combinação de cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa (0,3; 1,1; 1,9; 2,7 e 3,5 dS m^{-1}) e quatro doses de potássio - DK (60; 80; 100 e 120% de K_2O da recomendação de Costa et al. (2008), com 3 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Os níveis de CEa foram estabelecidos a partir de estudo desenvolvido por Lima et al. (2020). A dose de 100% correspondeu a 345 g de K_2O por planta por ano (Costa et al., 2008). Na pesquisa, foi utilizado o genótipo de maracujazeiro-azedo 'BRS Sol do Cerrado', cujas mudas foram formadas em condições de ambiente protegido.

O experimento foi realizado sob condições de campo em vasos adaptados como lisímetros de drenagem, com capacidade de 100 L, preenchidos com 110 kg de um Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico de textura franco arenosa oriundo de uma propriedade particular localizada próximo à área experimental, cujas características físico-hídrica e químicas foram determinadas conforme metodologia de Teixeira et al. (2017), conforme dispostos a seguir: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+ = 3,00; 2,44; 0,05; 0,12$ e $0,69 \text{ cmolc kg}^{-1}$, respectivamente; pH (H_2O , 1:2,5) = 6,01; CEes = $0,71 \text{ dS m}^{-1}$; matéria orgânica = $0,21 \text{ dag kg}^{-1}$; areia, silte e argila = 75,65; 20,21 e $4,34 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente; P = $0,53 \text{ mg kg}^{-1}$; RAS = $0,61 (\text{mmol L}^{-1})0,5$; PST = 0,8%; CTC = $6,25 \text{ cmolc kg}^{-1}$.

O espaçamento adotado foi de 3,0 m entre plantas e 2,5 m entre fileiras. O transplântio das mudas para os lisímetros foi realizado aos 60 dias após o semeio. Na adubação com nitrogênio, fósforo e potássio, foi utilizado a ureia (45% N), o superfosfato simples (20% P_2O_5 ; 16% Ca^{2+} ; 10% S) e o sulfato de potássio (51,5% K_2O), respectivamente. O fósforo foi aplicado em uma única vez em fundação, incorporado com o solo no enchimento dos lisímetros. A

adubação com nitrogênio e potássio foi realizada de maneira parcelada, mensalmente ao longo do ciclo da cultura, adotando a relação (N/K) de 1/1 na fase de floração, 1/2 na fase de frutificação e 1/3 até o final da colheita, conforme recomendação de Costa et al. (2008). O suprimento com micronutrientes foi realizado via foliar, quinzenalmente, na concentração de 1 g L⁻¹, utilizando-se o produto comercial Dripsol[®] micro.

A água utilizada na irrigação foi proveniente de um poço artesiano situado na área experimental, cuja composição química está apresentada a seguir: Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, SO₄²⁻, HCO₃³⁻, CO₃³⁻ e Cl⁻ = 0,17; 0,61; 1,41; 0,29; 0,18; 0,81; 0,00 e 1,26 mmolc L⁻¹; CE = 0,22 dS m⁻¹; pH = 7,10; RAS = 2,26 (mmolc L⁻¹)^{0,5}. Para a obtenção dos níveis de condutividade elétrica, foi adicionado a água do poço, cloreto de sódio (NaCl), ajustando-as às concentrações da água disponível, sendo considerada a relação entre CEa e concentração de sais (Richards, 1954). Utilizou-se um sistema de irrigação por gotejamento, onde cada planta continha dois gotejadores autocompensantes com vazão de 10 L.h⁻¹.

Aos 118 dias após o transplântio (DAT), os efeitos dos tratamentos foram avaliados através da determinação do extravasamento de eletrólitos no limbo foliar, o conteúdo relativo de água e o déficit de saturação hídrica.

O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar foi obtido de acordo com metodologia de Scotti-Campos et al. (2013), com a coleta de folhas (terceira folha contada a partir da gema apical) e delas retiradas quatro discos de 113 mm² de área, lavados com água destilada, visando à retirada de possíveis sujeiras aderidas aos folíolos, acondicionados em beckers, contendo 50 mL contendo água destilada. Os beckers foram mantidos à temperatura de 25 °C, durante 24 horas, e a partir de então foi quantificada a condutividade elétrica inicial (Ci). Posteriormente, os beckers foram levados à estufa com ventilação forçada de ar em temperatura de 80 °C durante 120 minutos, onde após este período as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente para aferição da condutividade elétrica final (Cf). De posse dos dados, a % EE foi determinada conforme Eq. 1.:

$$EE = (Ci/Cf) * 100 \quad (1)$$

Em que,

EE = Extravasamento de eletrólitos no limbo foliar (%); Ci = Condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹); e, Cf = Condutividade elétrica final (dS m⁻¹).

O conteúdo relativo de água foi mensurado de acordo com Weatherley (1950). Sendo utilizadas a terceira folha a partir do ápice do ramo terciário, onde foram retirados quatro discos de 113 mm² de área e, imediatamente, pesados em balança analítica com precisão de 0,001 g;

para determinação da massa túrgida (MT), em seguida, os discos foram imersos em água destilada durante 24 horas. Passado esse período, os discos foram secos, com papel toalha e pesados novamente, para obtenção da massa túrgida (MT). Logo após, foram acondicionados em sacos de papel kraft, levados à estufa com ventilação forçada de ar em temperatura de 85 °C até obtenção de peso constante. Em seguida, realizou-se a pesagem dos mesmos, obtendo assim, o peso da massa seca (MS). A partir de então, o CRA foi determinado de acordo com a Eq. 2.:

$$\text{CRA} = ((\text{MF} - \text{MS})/(\text{MT} - \text{MS})) * 100 \quad (2)$$

Em que,

CRA = Conteúdo relativo de água (%); MF = Massa fresca dos discos (g); MT = Massa túrgida dos discos (g); MS = Massa seca dos discos (g).

De posse dos dados para a determinação do CRA, foi obtido o déficit de saturação hídrica, conforme Eq. 3.:

$$\text{DSH} = ((\text{MT} - \text{MF})/(\text{MT} - \text{MS})) * 100 \quad (3)$$

Em que,

DSH = déficit de saturação hídrica (%); MF = massa fresca dos discos foliares (g); MT = massa túrgida dos discos foliares (g); MS = Massa seca dos discos foliares (g).

Os dados obtidos foram analisados por meio da análise de variância utilizando o teste F, considerando um nível de significância de $p \leq 0,05$. Quando detectada significância, aplicou-se a análise de regressão polinomial para avaliar os efeitos dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e das doses de adubação potássica. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico SISVAR - ESAL, versão 5.7 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constata-se, através da tabela dos resumos de análise de variância (Tabela 1), efeito significativo da interação entre os fatores (CEa × DK) para todas as variáveis analisadas no maracujazeiro-azedo, aos 118 dias após o transplântio.

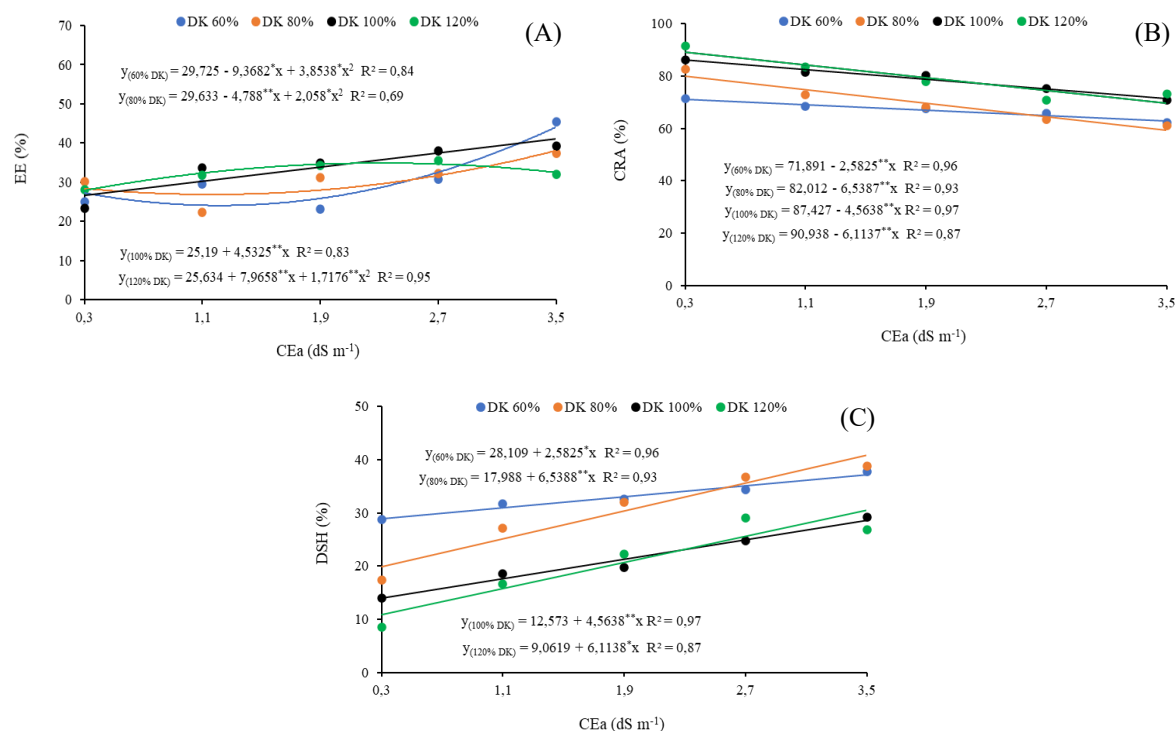
Tabela 1. Resumo das análises de variância referente ao extravasamento de eletrólitos (EE), conteúdo relativo de água (CRA) e déficit de saturação hídrica (DSH) do maracujazeiro-azedo ‘BRS Sol do Cerrado’ cultivado sob salinidade da água de irrigação (CEa) e adubação potássica (DK), aos 118 dias após o transplantio.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		EE	CRA	DSH
Condutividade elétrica da água (CEa)	4	1103,58**	62,91 ^{ns}	81,05**
Regressão Linear	1	1634,37**	101,05 ^{ns}	50,83 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	915,60**	132,96 ^{ns}	248,20*
Doses de potássio (DK)	3	198,46**	20,77 ^{ns}	43,24 ^{ns}
Regressão Linear	1	221,91*	18,64 ^{ns}	40,22 ^{ns}
Regressão Quadrática	1	119,85 ^{ns}	39,18 ^{ns}	88,45 ^{ns}
Interação (CEa × DK)	12	680,56**	166,35**	151,51**
Bloco	2	6,98	5,61	7,00
Resíduo	38	34,63	27,87	11,87
CV (%)		16,22	6,71	15,35

GL - Grau de liberdade; CV (%) - Coeficiente de variação; (*) significativo a $p \leq 0,05$; (**) significativo a $p \leq 0,01$ de probabilidade; (^{ns}) não significativo pelo teste F ($p > 0,05$)

Para a porcentagem de extravasamento de eletrólitos (EE), nota-se que ao adubar as plantas com a dose equivalente à 100% da recomendação de K_2O , houve aumento de 17,99% por incremento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 1A). As plantas cultivadas sob adubação de 60, 80 e 120% da recomendação de K_2O , os valores máximos estimados foram de 44,15; 17,99 e 34,87% sob os níveis de 3,5; 3,5 e 2,3 $dS\ m^{-1}$, respectivamente.

Entre os diversos efeitos provocados pelo estresse salino nas plantas, destaca-se o aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o peróxido de hidrogênio, os radicais hidroxila e os radicais superóxido (Sachdev et al., 2021). Esse aumento pode levar a um desequilíbrio entre a geração e a eliminação dessas moléculas, resultando em danos fotooxidativos aos fotossistemas e induzindo a peroxidação das membranas celulares (Yudina et al., 2020), conforme evidenciado neste estudo. Paiva et al. (2023), ao avaliarem o efeito da irrigação com água salobra, com condutividade elétrica variando de 0,3 a 3,5 $dS\ m^{-1}$, em três genótipos de maracujazeiro-azedo, observaram efeitos mais intensos da salinidade sobre o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar, sendo quantificados aumentos de 148,21%, 6,12% e 36,57% na %EE por incremento unitário na condutividade elétrica da água de irrigação para os genótipos BRS Gigante Amarelo, BRS Sol do Cerrado e BRS Catarina, respectivamente, aos 154 dias após o transplantio.



** e * representam respectivamente, significativo em $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Figura 1. Extravasamento de eletrólitos - %EE (A), conteúdo relativo de água - CRA (B) e déficit de saturação hídrica - DSH (C) do maracujazeiro-azedo ‘BRS Sol do cerrado’, em função da interação entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa e doses de potássio - DK, aos 118 dias após o transplântio.

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação reduziu de forma linear o conteúdo relativo de água no limbo foliar das plantas de maracujazeiro-azedo, independente do incremento no fornecimento de potássio para as plantas (Figura 1B), sendo as diminuições por incremento unitário da CEa de 3,59; 7,97; 5,22 e 6,72% no CRA das plantas adubadas com 60, 80, 100 e 120% da recomendação de K_2O , respectivamente. Isto compreende a uma redução de 11,62; 26,14; 16,97 e 21,96% no CRA, quando comparados os resultados alcançados no maior nível de CEa (3,5 $dS m^{-1}$) em relação ao menor nível (0,3 $dS m^{-1}$) nos níveis de adubação equivalente a 60, 80, 100 e 120% da recomendação, respectivamente.

A redução do teor relativo de água é consequência da restrição hídrica imposta pelo efeito osmótico decorrente do estresse salino, o qual compromete a absorção de água pelas raízes e promove o fechamento estomático, afetando negativamente a transpiração e intensifica a limitação hídrica, resultando em baixos níveis de água nos tecidos do limbo foliar (Polash et al., 2018). Souza et al. (2023) avaliando o efeito da adubação potássica (60, 80, 100 e 120% da recomendação de K_2O) na atenuação do estresse salino (variando de 0,3 a 3,5 $dS m^{-1}$) do maracujazeiro-azedo ‘BRS Sol do Cerrado’ aos 60 dias após o transplântio, verificaram que o

teor relativo de água diminuiu em 4,40% por incremento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação, valores estes semelhantes aos observados neste trabalho.

O déficit de saturação hídrica (DSH) é inversamente proporcional ao conteúdo relativo de água, desta forma, constata-se aumento no DSH em função da adição de saias à água de irrigação (Figura 1C), ou seja, incrementos de 9,19; 36,35; 36,30 e 67,47% no DSH por acréscimo unitário da condutividade elétrica da água de irrigação quando submetidas às adubações com 60, 80, 100 e 120% da recomendação de K_2O , respectivamente.

A limitação no estado hídrico das folhas, evidenciada neste estudo pelo déficit de saturação hídrica, pode comprometer a absorção de nutrientes pelas raízes, resultando em sérios impactos no crescimento e desenvolvimento das plantas (Lima et al. 2019).

CONCLUSÕES

A salinidade da água de irrigação a partir de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ diminui o conteúdo relativo de água, e eleva o extravasamento de eletrólitos no limbo foliar e o déficit de saturação hídrica do maracujazeiro-azedo 'BRS Sol do Cerrado', aos 118 dias após o transplantio.

O aumento da adubação potássica para 120% da recomendação revelou-se uma estratégia promissora para reduzir os impactos da salinidade em plantas de maracujazeiro-azedo.

AGRADECIMENTOS

Ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical - INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes), processos 406570/2022-1 (CNPq) e Processo INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, A. de F. S.; Costa, A. N.; Ventura, J. A.; Fanton, C. J.; Lima, I. de M.; Caetano, L. C. S.; Santana, E. N. de. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro**. Vitória, ES: Incaper (Incaper. Documentos, 162). 2008. 56p.

Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2023**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>> Acesso em: mai. 2025.

Lima, G. S. de; Dias, A. S.; Souza, L. P. de; Sá, F. V. da S.; Gheyi, H. R.; Soares, L. A. dos A. Effects of saline water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian cherry. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.3, p.1-12, 2018.

Lima, G. S. de; Gheyi, H. R., Nobre, R. G., Soares, L. A. dos A.; Santos, J. B. dos S. Dano celular, status hídrico e trocas gasosas na mamoneira sob natureza catiônica da água. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.482-492, 2019.

Lima, G. S. de; Souza, W. B. B. de; Soares, L. A. dos A.; Pinheiro, F. W. A.; Gheyi, H. R.; Oliveira, V. K. N. de. Dano celular e pigmentos fotossintéticos do maracujazeiro-azedo em função da natureza catiônica da água. **Irriga**, v.25, n.4, p.663-669, 2020.

Paiva, F. J. da S.; Lima, G. S. de; Lima, V. L. A. de; Souza, W. B. B. de; Soares, L. A. dos A.; Torres, R. A. F.; Gheyi, H. R.; Silva, L. de A.; Sá, F. V; da S.; Sá, V. K. N. O. de; Silva, S. T. de A.; Fátima, R. T. de; Fernandes, P. D.; Almeida, A. K. D. de. The Effects of Irrigation Water Salinity on the Synthesis of Photosynthetic Pigments, Gas Exchange, and Photochemical Efficiency of Sour Passion Fruit Genotypes. **Plants**, v.12, n.22, e-389, 2023.

Polash, M. A. S.; Sakil, A.; Tahjib-Ul-Arif; Hossain, A. Effect of salinity on osmolytes and relative water content of selected rice genotypes. **Tropical Plant Research**, v.5, n.2, p.227-232, 2018.

Richards, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S, Department of Agriculture. 1954. 160 p.

Sachdev, S.; Ansari, A. A.; Ansari, M. I.; Fujita, M.; Hasanuzzaman, M. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. **Antioxidants**, v.10, n.2, e-277, 2021.

Scotti-Campos, P.; Pham-Thi, A.; Semedo, J. N.; Pais, I. P.; Ramalho, J. C.; Matos, M. C. Physiological responses and membrane integrity in three Vigna genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 12, p. 1002-1013, 2013.

Sodaeizadeh, H.; Hokmollahi, F.; Ghasemi, S.; Sadeghian, M.; Tarrah, S. Cyanobacteria inoculation mitigates salinity stress by regulating plant growth, photosynthetic performance, elemental concentrations and yield in wheat. **South African Journal of Botany**, v.180, n.1, p.857-869, 2025.

Souza, W. B. B. de; Lima, G. S. de; Paiva, F. J. da S.; Soares, L. A. dos A. Fátima, R. T. de; Silva, A. A. R. da; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D. Potassium fertilization as salt stress attenuator in sour passion fruit Adubação potássica como atenuante do estresse salino em maracujazeiro-azedo. **Ciência Rural**, v.53, n.9, e-20210769, 2023.

Sultan, I.; Khan, I.; Chattha, M. U.; Hassan, M. U.; Barbanti, L.; Calone, R.; Ali, M.; Majeed, S.; Ghani, M. A.; Khan, I.; Batool, M.; Izzat, W.; Usman, S. Improved salinity tolerance in early growth stage of maize through salicylic acid foliar application. **Italian Journal of Agronomy**, v.16, n. 3, e1810,2021.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. 2017.

Weatherley, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I- The field easurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950.

Yudina, L.; Sukhova, E.; Gromova, E.; Nerush, V.; Vodeneev, V.; Sukhov, V. A light in-duced decrease in the photochemical reflectance index (PRI) can be used to estimate the energy-dependent component of non-photochemical quenching under heat stress and soil drought in pea, wheat, and pumpkin. **Photosynthesis Research**, v.146, n.1, p.175-187, 2020.