

IMPACTO DA SALINIDADE NA EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA E DESENVOLVIMENTO DE *ZEAMAYS* L.

Francine Bonomo Crispim Silva¹, Janyne Soares Braga Pires², Geovana Ribeiro Cavilha¹, Maria Eduarda da Silva Barbosa¹, Adriano Alves Fernandes¹, Sara Dousseau Arantes³.

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, São Mateus, Espírito Santo, Brasil, francine.b.silva@edu.ufes.br, geovana.cavilha@edu.ufes.br, maria.s.barbosa@edu.ufes.br, Adriano.fernandes@ufes.br

² Universidade Federal do Espírito Santo, Campos Goiabeiras, Avenida Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, Espírito Santo, Brasil, janyne.braga@edu.ufes.br

³ Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, BR 101N, km 151, Linhares, Caixa postal 62, Espírito Santo, Brasil, saradousseau@gmail.com

Resumo

O aumento da salinidade do solo é um desafio para a agricultura, afetando a produção de culturas essenciais como o milho (*Zea mays* L.). O conhecimento dos efeitos fisiológicos da salinidade sob essa cultura é de suma importância para desenvolver estratégias de manejos mais eficientes. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar os efeitos do estresse salino em plantas de milho. O estudo foi conduzido em Delineamento em Blocos Casualizados, com cinco repetições de 15 vasos. Foram utilizadas duas doses de Cloreto de Sódio (NaCl), sendo 1g/Kg e 3g/Kg. Os resultados não apresentaram diferença significativa entretanto observa-se uma tendência de redução nos níveis de clorofila, bem como de elevação nos valores de VJ.

Palavras-chave: Estresse salino, Nutrição, NaCl, *Zea Mays* L.

Curso: Engenharia Agrônoma - Agronomia

Introdução

A salinidade do solo é um desafio significativo para a agricultura moderna, especialmente no cultivo de milho (*Zea mays* L.). O milho é um dos principais cereais produzidos globalmente, com aplicações que vão desde a alimentação humana e animal até o setor industrial (Pinheiro *et al.*, 2021). No Brasil, um dos maiores produtores de milho do mundo, foram cultivados 22.267,4 mil hectares na safra 2022/23, com produtividade média de 5.922 kg/ha, totalizando cerca de 130.000 mil toneladas. Desse total, 80.000 mil toneladas foram destinadas ao mercado interno e 50.000 mil toneladas à exportação, destacando a importância econômica dessa cultura para o país (Conab, 2023).

Entretanto, a salinidade do solo é um fator de estresse abiótico que prejudica o crescimento e a produtividade das plantas, incluindo o milho (Etesami; Beattie, 2018; Baghel; Kataria; Jain, 2019). O milho é moderadamente sensível à salinidade, afetando processos vitais como respiração, fotossíntese e germinação de sementes, resultando em diminuição do desenvolvimento (Lqbal *et al.*, 2020). Especialmente nas fases iniciais de crescimento, plantas sem mecanismos de tolerância ao sal sofrem consideravelmente com níveis elevados de salinidade no solo (De Villa *et al.*, 2019). A salinidade no solo é um fator que prejudica a homeostase iônica intracelular, levando ao estresse osmótico e à produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) (Iftikhar *et al.*, 2024).

O estresse gerado por conta do estresse salino gera um desalinhamento nas atividades fisiológicas e bioquímicas da planta, redundando no desequilíbrio da absorção de água e nutrientes, que são essenciais para seu desenvolvimento (Amorim *et al.*, 2010). Nesse contexto, esse estudo visa investigar os efeitos do estresse salino no milho, abordando os impactos nos processos fisiológicos.

Metodologia

O estudo foi conduzido no Viveiro da UFES Campus São Mateus. Vasos de 5l foram preenchidos com substrato orgânico comercial contendo 3 níveis de salinidade, utilizando NaCl (0; 1 e 3 g Kg⁻¹ de solo), baseando-se no trabalho de Rojas- Tapias *et al.* (2012). Foram semeadas 3 sementes de milho por vaso e após 10 dias realizou-se o desbaste, mantendo-se apenas a plântula mais vigorosa. O estudo foi conduzido em Delineamento em Blocos Casualizados, utilizando cinco repetições de 15 vasos.

As avaliações ocorreram aos 21, 28, 35 e 42 dias após o plantio (DAP). As características associadas ao índice de clorofila nas folhas, foram estimadas por meio do medidor portátil de clorofila, clorofilômetro eletrônico ClorofiLOG, modelo CFL 1030, determinando-se os índices de clorofila a, b e total (Falker, 2009) e calculadas as relações entre os índices de clorofilas a e b. As avaliações ocorreram entre 08:00h e 11:00h, em uma folha completamente expandida.

Foram realizadas avaliações da fluorescência da clorofila a, em uma planta por parcela, utilizando o fluorômetro portátil da Hansatech, modelo Pocket-PEA (Hansatech, UK), de acordo com as recomendações de Strasser, Tsimilli-Michael e Srivastava (2004). Duas folhas de cada planta foram adaptadas ao escuro utilizando-se clipes foliares por 30 minutos, período para oxidação completa do fotossistema, e um flash de luz saturante de 3000 μmol m⁻² s⁻¹ de fótons com duração de 1 segundo é emitido. A partir da fluorescência transiente OJIP foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP. A interpretação e as normalizações dos parâmetros medidos e calculados foram efetuadas conforme Strasser e Strasser (1995).

O desenvolvimento radicular foi mensurado através do volume radicular (VR), massa fresca do sistema radicular (MFR). O desenvolvimento da parte aérea foi avaliado pela contagem do número de folhas (NF), determinação da massa fresca foliar (MFF), massa fresca do colmo (MFC), comprimento do colmo (CC), diâmetro do colmo (DC). O CC foi obtido medindo do coleto até a gema apical utilizando uma régua graduada e expressando os resultados em centímetro (cm). O DC foi determinado na região do coleto, por meio de paquímetro digital de precisão e expresso em milímetros (mm).

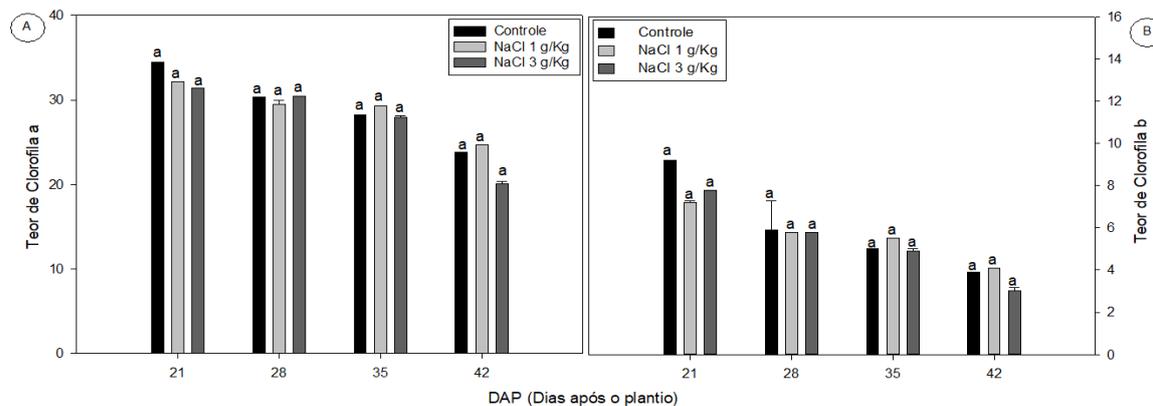
O VR foi obtido mediante o deslocamento da água em proveta graduada, procedimento que consiste em colocar as raízes em proveta graduada, contendo um volume conhecido de água (1L de água) e medindo-se o volume deslocado (pela diferença de volume obtém-se a resposta direta por equivalência de unidades, considerando 1mL = 1 cm³).

As análises estatísticas foram realizadas mediante o uso do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2019) sendo realizada a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro (p≤0,05).

Resultados

Os resultados obtidos revelam que a salinidade afeta negativamente o Vj, ABS/RC e os os teores de clorofila, incluindo clorofila a, clorofila b e clorofila total, resultando em uma diminuição na fotossíntese.

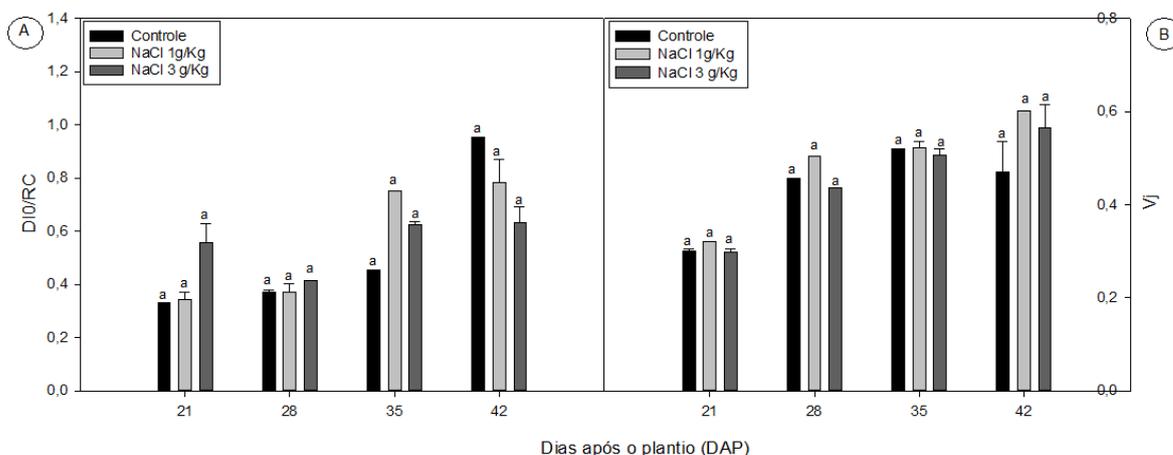
Figura 1: Índice de clorofila em função das doses de NaCl.



Fonte: Autores (2024).

A figura 2 mostra a proporção de centros de reação fechados (VJ) no fotossistema II (PS II) de plantas de milho expostas a diferentes níveis de salinidade e a dissipação de energia por centro de reação no PS II de plantas de milho expostas a diferentes níveis de salinidade. Os valores de DIO/RC são indicadores da energia dissipada como calor, refletindo o nível de estresse salino nas plantas.

Figura 2: (A) Dissipação de Energia por Centro de Reação (DIO/RC) e (B) Proporção de Centros de Reação Fechados (VJ), em função de plantas de milho sob diferentes doses de NaCl.

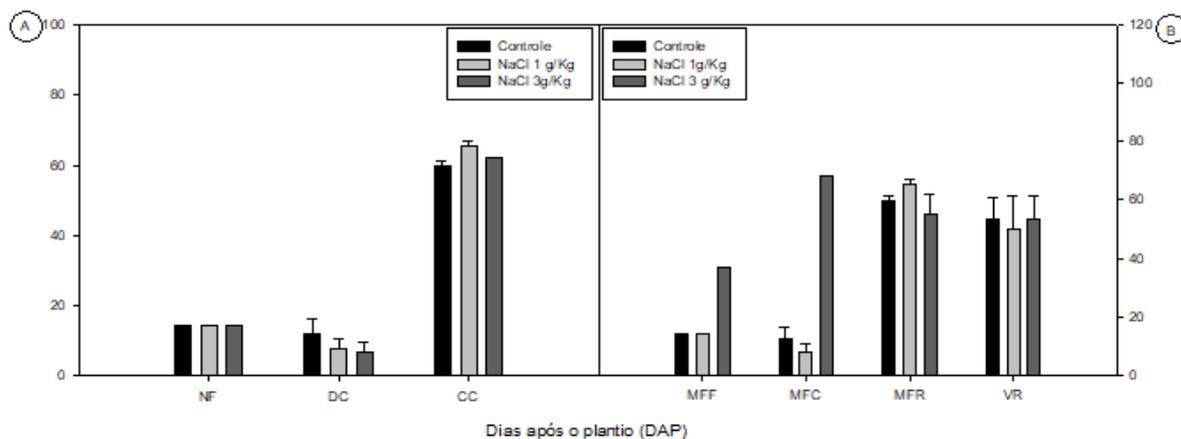


Fonte: Autores (2024)

Os valores de VJ indicam a limitação no transporte de elétrons, com valores elevados sugerindo um maior número de centros de reação inativos, refletindo estresse nas plantas. A figura 2, demonstra que a salinidade afeta negativamente a eficiência dos centros de reação fotossintéticos, aumentando a energia absorvida que não é utilizada.

Observa-se que em condições de alta salinidade, os valores aumentam, indicando maior dissipação de energia devido ao estresse. Para avaliação dos efeitos do estresse no crescimento e desenvolvimento das plantas foi verificado as variáveis morfológicas NF, DC, CC, MFF, MFC, MFR, VR, observadas na figura 3. Os resultados demonstram como essas variáveis são afetadas pela salinidade.

Figura 3: Variáveis morfológicas analisadas em plantas de milho sob diferentes condições de salinidade



Fonte: Autores (2024).

Discussão

A salinidade do solo é, de fato, um fator crítico que afeta a eficiência fotossintética e o crescimento das plantas, incluindo o milho. A redução nos níveis de clorofila, tanto clorofila a quanto clorofila b, é atribuída à diminuição da funcionalidade desses pigmentos sob condições salinas, resultando em um declínio na fotossíntese (Iftikhar *et al.*, 2024). Além disso, níveis elevados de sal no substrato reduzem a disponibilidade de água e nutrientes essenciais para as plantas (Teshale, 2023).

Ao analisar a figura 1, podemos observar como a salinidade afeta os níveis de clorofila, refletindo na atividade fotossintética das plantas. As variações nos teores de clorofila ao longo do tempo e sob diferentes níveis de salinidade evidenciam como as plantas respondem ao estresse salino.

Pesquisas anteriores também destacam diferenças entre variedades de milho. Por exemplo, a variedade Pearl apresenta uma menor redução nos pigmentos de clorofila em comparação com outras cultivares, enquanto a cultivar Sadaf sofre um impacto maior nos pigmentos fotossintéticos devido ao estresse salino. Essa sensibilidade varia entre as plantas e está relacionada à atividade da enzima RUBISCO, que é afetada pelo estresse salino. Compreender esses impactos negativos nos pigmentos de clorofila é crucial para desenvolver estratégias que melhorem a resiliência das plantas de milho ao estresse salino, garantindo uma produção agrícola sustentável em áreas afetadas pela salinidade (Iftikhar *et al.*, 2024).

Além disso, nas plantas submetidas a 3g/Kg de NaCl, observa-se um declínio nos parâmetros analisados. O Vj (Figura 2) representa a proporção de centros de reação (RCs) fechados em relação ao número total de RCs. Valores elevados em condições salinas indicam uma limitação no transporte de elétrons, o que pode reduzir a taxa de fotossíntese, impactando negativamente a produção e o crescimento das plantas.

Estudos como os de Stefanov *et al.* (2024), mostram que a salinidade inibe a atividade fotoquímica do complexo de PSII e afeta a transferência de energia entre os complexos de pigmentos-proteínas do PSII. Esses efeitos também afetam a reoxidação de QA e a função do complexo de evolução de oxigênio (OEC) em plantas de milho tratadas com NaCl. A razão ABS/RC aumenta sob condições de estresse salino, indicando um maior número de centros de reação inativos ou menos eficientes. Essa relação entre energia absorvida e utilizada nos processos fotossintéticos é crucial para entender o estresse nas plantas (Amer, 2024).

A salinidade do solo pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento do milho, reduzindo a disponibilidade de água e nutrientes essenciais. Compreender esses efeitos e buscar estratégias para mitigá-los é fundamental para garantir a produtividade sustentável das culturas em áreas afetadas pela salinidade. Além disso, a salinidade pode reduzir a altura das plantas e retardar o crescimento do milho, afetando também o desenvolvimento e comprimento das raízes, uma vez que o excesso de sal inibe o crescimento e a penetração radicular, limitando o acesso aos recursos do solo (Teshale, 2023).

Conclusão

Nota-se uma tendência de redução nos níveis de clorofila, bem como os valores elevados de VJ, entretanto, nas análises estatísticas, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Dessa forma, compreendendo a importância dessa cultura e sua sensibilidade ao estresse salino, descrito pela literatura, é fundamental o desenvolvimento de novas pesquisas quanto ao efeito da salinidade na eficiência fotossintética e desenvolvimento do milho.

Referências

AMER, K. H. Corn crop response under managing different irrigation and salinity levels. **Agricultural Water Management**, v.97, n. 10, p. 1553-1563. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.010>. Acesso em: 20 Jul. 2024

AMORIM, A. V.; GOMES-FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n. 5, p.113-121. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20100016>. Acesso em: 20 Jul. 2024

BAGHEL, L.; KATARIA, S.; JAIN, M. Mitigation of adverse effects of salt stress on germination, growth, photosynthetic efficiency and yield in maize (*Zea mays* L.) through magnetopriming. **Acta Agrobotanica**. v.72, n.1. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5586/aa.1757>. Acesso em: 20 Jul. 2024

CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**. Brasília. v.10, n.12, p. 1-111. 2023.

DE VILLA, B.; SANTOS, R. F.; SECCO, D.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; TOKURA, L. K.; PRIOR, M. P.; DA SILVA REIS, L.; DA SILVA, D. R. Efeito da salinidade no desenvolvimento inicial do milho. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 3, p. 42–47. 2019. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/20043>. Acesso em: 20 Jul. 2024.

ETESAMI, H.; BEATTIE, G. A. Mining halophytes for plant growth-promoting halotolerant bacteria to enhance the salinity tolerance of non-halophytic crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1–20. 2018.

FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)** Porto Alegre. 2009. 33p. Disponível em: http://www.falker.com.br/produto_download.php?id=4. Acesso em: 28 ago. 2023.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535. 2019.

LQBAL, Q., AHMAD, N.H., NASIM, A., KHAN, S.A.R. A moderated-mediation analysis of psychological empowerment: sustainable leadership and sustainable performance. **J. Clean. Prod.** 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121429>. Acesso em: 20 Jul. 2024.

IFTIKHAR, N.; PERVEEN, S.; ALI, B.; SALEEM, M. H.; AISADOON, M. K. Physiological and Biochemical Responses of Maize (*Zea mays* L.) Cultivars Under Salinity Stress. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 48: n. 3, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3185>. Acesso em: 20 Jul. 2024

PINHEIRO, L. S.; GATTI, V.; OLIVEIRA, J.; SILVA, J.; SILVA, P. Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v.11, n.2, p.13-21. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/cbpc2237-9290.2021.002.0003>. Acesso em: 20 Jul. 2024

ROJAS-TAPIAS, D.; MORENO-GALVÁN, A.; PARDO-DÍAZ, S.; OBANDO, M.; RIVERA, S.; BONILLA, R. Effect of inoculation with plant growthpromoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 264-272. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.006>. Acesso em: 20 Jul. 2024

STEFANOV, M.A.; RASHKOV, G.D.; BORISOVA, P.B.; APOSTOLOVA, E.L. Changes in Photosystem II Complex and Physiological Activities in Pea and Maize Plants in Response to Salt Stress. **Plants**. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13071025>. Acesso em: 20 Jul. 2024

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring Fast Fluorescence Transients to Address Environmental Questions: The JIP-Test. *Photosynthesis: from light to biosphere*, p. 977- 980. 1995. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-0173-5_1142. Acesso em: 20 Jul. 2024

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the chlorophyll a. In: PAPAGEORGIOU, G.C.; GOVINDJEE (Ed.). *Fluorescence transient chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis*. **Netherlands: Spring**, v.14, p. 321-362. 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_12. Acesso em: 20 Jul. 2024

TESHALE, E. The Impacts of Salt Affected Soil on Soil and Plant Growth and Management Options with Organic and Inorganic Amendments A: Review. **Journal of Natural Sciences Research**, v.14, n.10. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.7176/jnsr/14-10-02>. Acesso em: 20 Jul. 2024

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio FAPES, INCAPER e CEUNES/UFES.