

EFEITOS DO SUPRIMENTO DE MAGNÉSIO SOBRE A PARTIÇÃO DE FOTOASSIMILADOS E A MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS JOVENS DE *Eucalyptus urophylla*¹

Gustavo Kawan Almeida Costa ², Raul Antonio Araújo Bonfim³, Milton Carriço Sá³, Vinicius Alves Rodrigues³, Camila Valentim Silva², Marcela Ferraz e Silva³, Laécio Novato Ribeiro Filho³, Paulo Araquém Ramos Cairo⁴

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos de diferentes concentrações de magnésio (Mg) sobre a partição de fotoassimilados das folhas para as raízes, em função à participação desse mineral na síntese de sacarose na folha e na sua translocação através do floema, além de características morfofisiológicas e bioquímicas relacionadas ao crescimento em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* submetidas à restrição hídrica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, tendo como fatores o fornecimento de Mg às plantas em concentrações no intervalo de 1,0–3,0 mM de MgSO₄, e regimes de irrigação em 90% e 30% da capacidade de vaso. A deficiência hídrica reduziu a assimilação de CO₂, transpiração e condutância estomática, todavia, 2,5 mM Mg permitiu a recuperação em 18 % de assimilação e 22 % de eficiência de uso da água. Os níveis de Mg 2,0 e 2,5 mM elevaram os teores de clorofila e SPAD. A altura da parte aérea aumentou 15% com 1,5 mM Mg sob estresse. Conclui-se que há uma janela nutricional ótima entre 1,0 e 2,5 mM Mg capaz de preservar funções fotossintéticas e hídricas, tornando-se uma estratégia eficiente para preservar o crescimento inicial, mesmo em ambientes com disponibilidade hídrica limitada.

PALAVRAS-CHAVE: nutrição mineral, plantas lenhosas, restrição hídrica

EFFECTS OF MAGNESIUM SUPPLY ON THE PARTITION OF PHOTOASSIMILATES AND THE MITIGATION OF WATER STRESS IN YOUNG *Eucalyptus urophylla* PLANTS

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of different magnesium (Mg) concentrations on the partitioning of photoassimilates from leaves to roots. This evaluation was based on the mineral's role in sucrose synthesis within the leaf and its translocation through the phloem, in addition to morphophysiological and biochemical characteristics related to growth in young *Eucalyptus urophylla* plants subjected to water restriction. The experiment was conducted in a greenhouse, with the following factors: Mg supply at concentrations ranging from 1.0–3.0 mM MgSO₄, and irrigation regimes at 90% and 30% of pot capacity. Water deficit reduced CO₂ assimilation, transpiration, and stomatal conductance. However, 2.5 mM Mg allowed for an 18% recovery in assimilation and a 22% recovery in water use efficiency. Mg levels of 2.0 and 2.5 mM increased chlorophyll and SPAD levels. Shoot height increased by 15% with 1.5 mM Mg under stress. It is concluded that there is an optimal nutritional window between 1.0 and 2.5 mM Mg capable of preserving photosynthetic and hydraulic functions, making it an effective strategy to preserve initial growth, even in environments with limited water availability.

KEYWORDS: mineral nutrition, water restriction, woody plants

¹ Financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);

² Discentes de graduação em Engenharia Agrônoma da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Estr. Bem Querer, Km-04 - 3293, 3391 - Campus de, Candeias - BA, 45083-900;

³ Discentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Estr. Bem Querer, Km-04 - 3293, 3391 - Campus de, Candeias - BA, 45083-900;

⁴ Professor titular da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Estr. Bem Querer, Km-04 - 3293, 3391 - Campus de, Candeias - BA, 45083-900.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a crescente demanda por eucalipto levou à expansão do cultivo da espécie para regiões de precipitação pluviométrica irregular. Eventuais restrições no suprimento de água geram alterações fisiológicas, anatômicas e metabólicas que se refletem em inibição do crescimento das plantas (Ezzinie et al., 2023). Esses efeitos se devem, em parte, ao fechamento estomático, que restringe a transpiração e as trocas gasosas, reduzindo a taxa fotossintética.

Segundo Pallardy (2008), árvores adultas apresentam maior grau de tolerância à deficiência hídrica do que as plantas anuais. Por isso, em eucalipto, os efeitos da restrição hídrica são mais perceptíveis em plantas jovens do que em plantas adultas.

A expansão do sistema radicial está associada à partição de fotoassimilados através do sistema fonte-dreno, no qual o teor de magnésio (Mg) influencia diretamente, seja como elemento central na molécula de clorofila, ou sua participação no transporte de fotoassimilados através do floema (Ishfaq et al., 2022).

A deficiência de Mg pode levar a um expressivo acúmulo de açúcares nas folhas, em detrimento da partição destes para as raízes (Cakmak e Kirkby, 2008) culminando em prejuízo ao enraizamento.

Apesar dos benefícios do Mg, seu fornecimento deve ser comedido, pois o seu excesso pode tornar-se prejudicial em plantas sob estresse hídrico (Marschner, 2012), devido a seu efeito antagônico sobre a absorção de potássio (K), causando redução no transporte e utilização de fotoassimilados.

O objetivo geral é avaliar os efeitos de diferentes concentrações de Mg sobre a partição de fotoassimilados das folhas para as raízes e alterações em características morfofisiológicas e bioquímicas relacionadas ao crescimento em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* submetidas à restrição hídrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em Vitória da Conquista-BA entre dezembro de 2024 e abril de 2025.

O delineamento inteiramente casualizado constou de um arranjo fatorial 5×2 , sendo cinco repetições por tratamento e uma planta por vaso. O primeiro fator correspondeu as concentrações diferentes de Mg e o segundo pelos regimes de irrigação, baseados em 90% e 30% da capacidade dos vasos. O clone adotado foi AEC-144 (*Eucalyptus urophylla*) com 90 dias de idade, e adubado com solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950). Os tratamentos foram implementados com concentrações de $MgSO_4$ (1,0–1,5–2,0– 2,5– 3,0 mM). A condutividade elétrica e o pH da solução foram controlados.

Aos 60 dias após transplântio, o regime de irrigação em metade dos vasos foi alterada. A verificação da umidade do substrato foi feita pelo método gravimétrico.

As avaliações foram realizadas no final do experimento, 15 dias após a imposição dos regimes de irrigação, intervalo em que as plantas demonstraram efeitos visuais da deficiência hídrica. Foram avaliados atributos biométricos; atributos fotossintéticos como índice SPAD e quantificação de clorofila total; o estado hídrico da planta e trocas gasosas a partir do potencial hídrico foliar utilizando-se uma câmara de pressão, teor relativo de água e condutância estomática e eficiência no uso da água usando um analisador de gases por infravermelha.

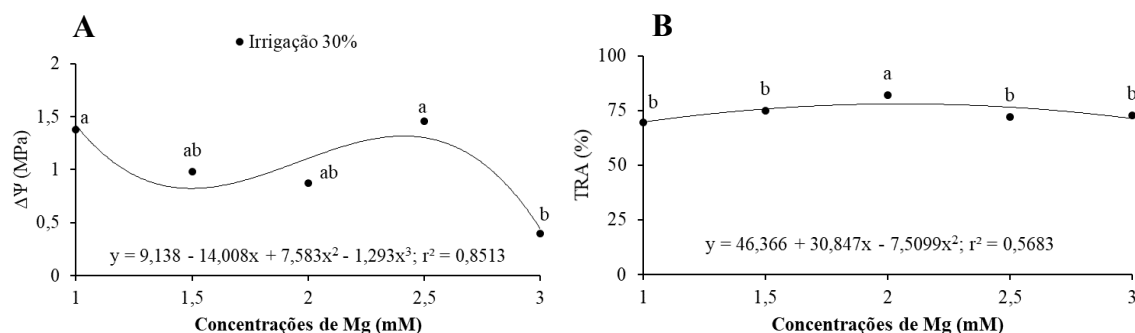
Para todos os resultados obtidos, os dados foram submetidos ao teste de Lilliefors para verificação da distribuição normal dos resíduos, e ao teste de Cochran para homogeneidade. Em seguida, após a análise variância (ANOVA), as médias foram comparadas pela análise de regressão linear pelo programa estatístico SAEG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de 2,5 mM de Mg melhorou o desempenho de plantas sob deficiência hídrica, atenuando os efeitos do estresse hídrico ao auxiliar na regulação da condutância estomática, representando uma zona fisiológica que aprimora o desempenho fotossintético.

Nas trocas gasosas, apenas a condutância estomática mostrou interação significativa. O efeito do Mg na abertura dos estômatos foi observado mesmo com restrição de água, pois a concentração de 2,5 mM produziu o mesmo resultado em ambos os regimes de irrigação. Em relação ao estado hídrico, plantas com restrição de água e 2,5 mM de Mg tiveram maior variação do potencial de pressão hídrico ($\Delta\Psi_w$), em comparação com as plenamente irrigadas, enquanto o oposto aconteceu na concentração de 3 mM.

A Eficiência no Uso da Água (EUA) foi influenciada pelos fatores de forma isolada, com a deficiência hídrica e a concentração de 2,5 mM de Mg promovendo maior eficiência. Já a Eficiência Intrínseca no Uso da Água (EiUA) teve interação significativa. Plantas com irrigação a 30% mostraram maior EiUA no nível de 2,5 mM, bem como a EUA é otimizada no mesmo nível, favorecendo a assimilação de CO₂ sem desequilíbrios iônicos. O teor relativo de água não apresentou interação significativa.



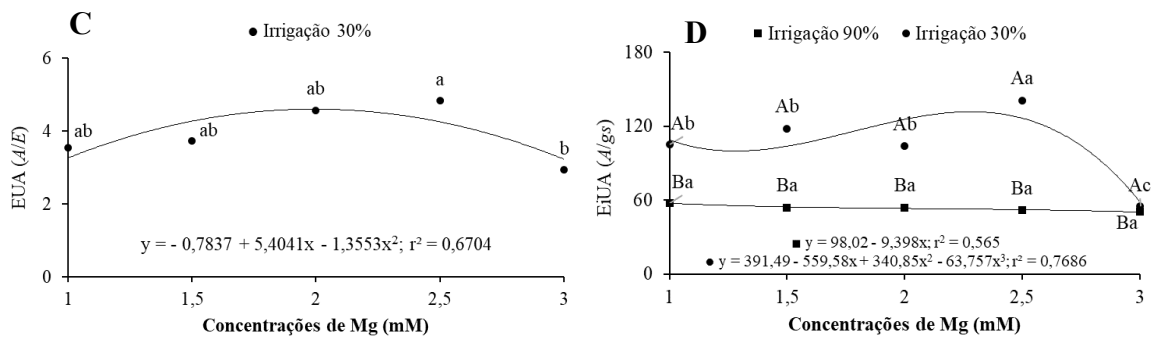
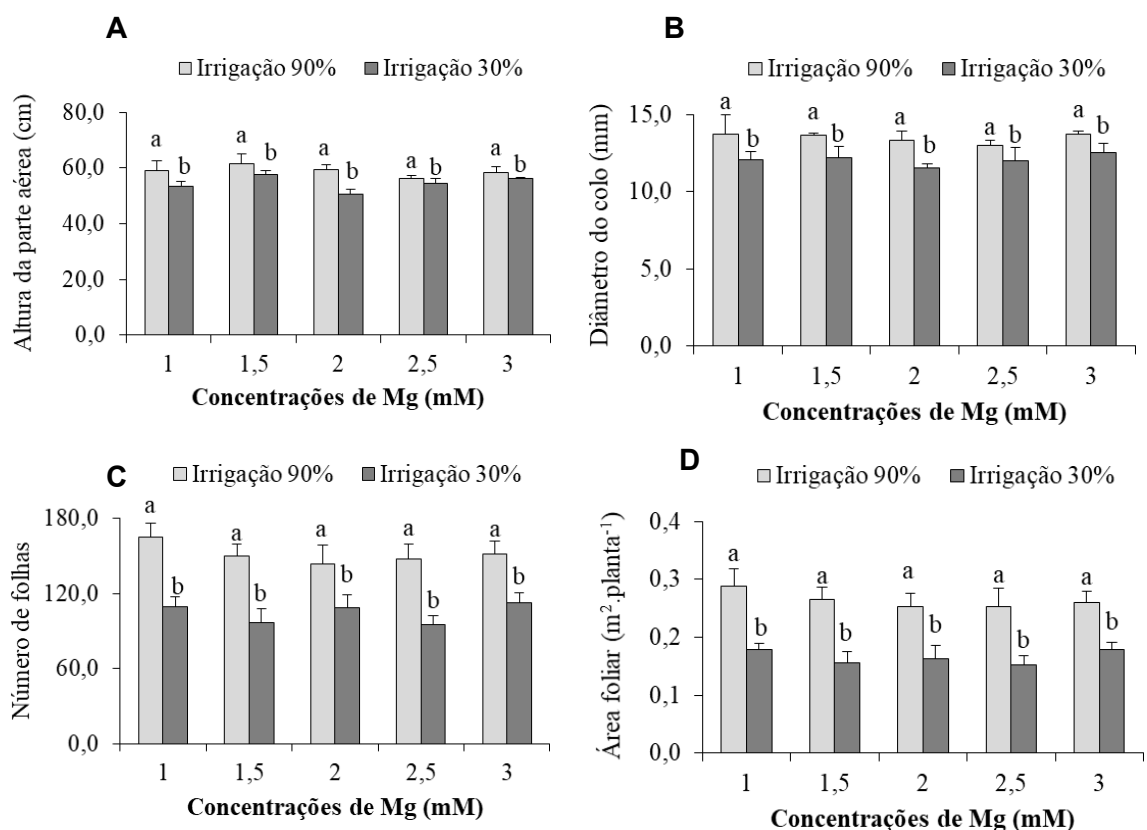


FIGURA 1. (A) Variação do potencial hídrico ($\Delta\Psi_w$), (B) teor relativo de água, (C) eficiência no uso da água (A/E), (D) eficiência intrínseca no uso da água (A/gS) de plantas jovens de eucalipto, clone AEC 144, sob regimes de irrigação 90% e 30%, tratadas com diferentes concentrações de Mg. Letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada concentração de Mg, enquanto letras minúsculas comparam as concentrações de Mg dentro de cada regime de irrigação, pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

No que diz respeito à fotossíntese, o índice SPAD revelou maior expressão e teores de clorofila em plantas sob restrição hídrica. Níveis moderados de Mg podem levar a ajustes osmóticos, e o aumento da eficiência de carboxilação sob restrição hídrica é uma resposta adaptativa. Sob estresse, o Mg atua na estrutura da clorofila e como estabilizador dos complexos fotossintéticos.

Alterações biométricas de menor expressão foram registradas em plantas com restrição hídrica. Contudo, a massa seca da raiz demonstrou interação significativa. A concentração de 3,0 mM de Mg contribuiu para o aumento da massa seca da raiz, sugerindo que o nutriente pode direcionar fotoassimilados para as raízes como estratégia sob estresse hídrico. O excesso de Mg, por outro lado, prejudica a resiliência hídrica ao desestabilizar a homeostase de outros íons.



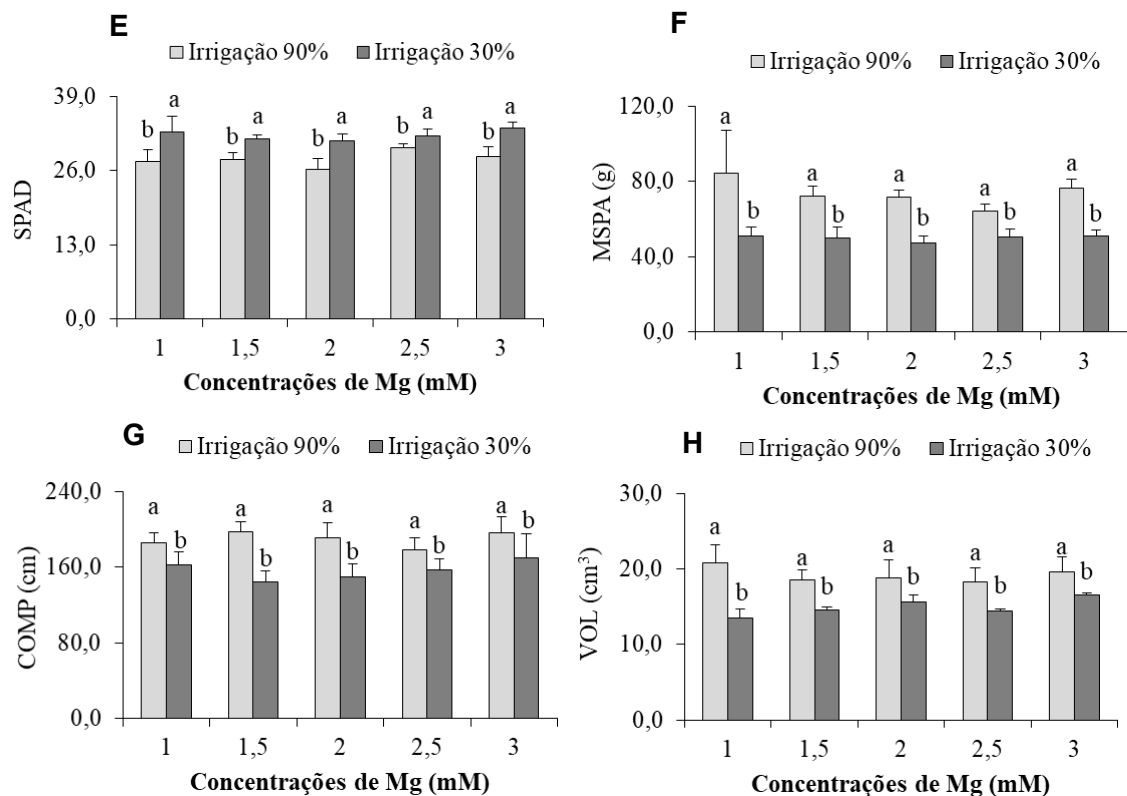


FIGURA 2. (A) Altura da parte aérea, (B) diâmetro do colo, (C) número de folhas, (D) área foliar, (E) índice SPAD, (F) massa seca da parte aérea, (G) comprimento da raiz principal e (H) volume das raízes de plantas jovens de eucalipto clone AEC 144 sob regimes de irrigação 90% e 30%, e tratadas com diferentes concentrações de Mg. As barras em cada coluna indicam o erro padrão das médias (n=4). Letras maiúsculas comparam os regimes hídricos dentro de cada concentração de Mg, enquanto letras minúsculas comparam as concentrações de Mg dentro de cada regime de irrigação, pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

Conclui-se que o fornecimento de Mg no intervalo entre 1,0 e 2,5 mM é eficaz para atenuar os efeitos do déficit hídrico em mudas de *Eucalyptus urophylla*, sugerindo menor suscetibilidade a danos fisiológicos. A redução das variações no potencial hídrico foliar evidencia ajuste osmótico que preserva o turgor celular. No âmbito do crescimento, a suplementação de Mg demonstrou que a nutrição magnésica não só sustenta processos fisiológicos críticos, mas também mantém o acúmulo de biomassa inicial, entretanto, observou-se a importância de se respeitar a janela nutricional adequada. Dessa forma, a aplicação de Mg no intervalo 1,0– 2,5 mM oferece solução de baixo custo e alta eficiência para viveiros e plantios jovens em regiões de pluviosidade limitada. Estudos de campo a longo prazo e avaliações moleculares das vias de proteção fotossintética serão essenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cakmak, I.; Kirkby, E.A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, v. 133, n. 4, p. 692–704, 2008.

<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x>

2. Ezzini, H.; Metougui, M.L.; Boukcim, H.; Abbas, Y. Physiological responses of three field grown species (*Ceratonia siliqua*, *Eucalyptus camaldulensis*, and *Moringa oleifera*) to water deficits in a Mediterranean semi-arid climate. **Nature**, v. 13, n. 4536, p. 1-11, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31664-y>
3. HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347p., 1950.
4. Ishfaq, M.; Wang, Y.; Yan, M.; Wang, Z.; Wu, L.; Li, C.; Li, X. Physiological essence of magnesium in plants and its widespread deficiency in the farming system of China. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, article 802274, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274>
5. Marschner, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3^a ed. London, Academic Press, 2012. 672 p.
6. Pallardy, S.G. **Physiology of woody plants**. 3 Ed. New York, Elsevier, 2008. 46