

Efeitos do níquel sobre o crescimento do capim sectária

Caroline da Paz Santos⁽¹⁾⁽⁴⁾, Julieta de Jesus da Silveira Castor⁽²⁾, Antônio Vander Pereira⁽³⁾, Juarez Campolina Machado⁽³⁾ e Leônidas Paixão Passos⁽³⁾

⁽¹⁾Bolsista (Pibic/Fapemig), Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. ⁽²⁾Analista, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. ⁽⁴⁾E-mail: carolpazsantos@gmail.com.

Resumo — O níquel (Ni) é um micronutriente essencial para as plantas superiores, favorecendo o crescimento e processos fisiológicos, tais como a assimilação de nitrogênio (N), atividades enzimáticas e relações hídricas, além de agir no controle de doenças limitantes à produção. A maioria dos estudos tem abordado sua toxicidade, mas existem poucos relatos referentes à tolerância de gramíneas tropicais a níveis elevados de Ni. Assim, o objetivo do presente estudo foi verificar a resposta do capim setária a doses crescentes de níquel adicionado à solução nutritiva (respectivamente, 0, 5, 10 e 15 mg NiSO₄/L) em três cortes sucessivos. Os pesos fresco e seco da parte aérea sofreram redução nos níveis menores de Ni, mas mostram aumentos expressivos com o nível de 15 mg. O teor de matéria seca teve decréscimo linear no primeiro corte, resposta em terceiro grau no segundo, e resposta não significativa no terceiro. Não foram detectados efeitos sobre os pesos secos das raízes e total e o teor foliar de clorofila, sugerindo que a espécie possui elevada tolerância a esse metal. Novas abordagens são necessárias para a obtenção de resultados mais conclusivos, tais como estudo da relação dessas respostas com o teor de oxalato, e determinação da composição mineralógica dos tecidos vegetais e do substrato de crescimento.

Termos para indexação: indicadores fisiológicos, metais pesados, nutrição mineral, tolerância, *Setaria sphacelata*.

Effects of nickel on growth of setaria grass

Abstract — Nickel (Ni) is an essential micronutrient for higher plants, promoting growth and physiological processes such as nitrogen (N) assimilation, enzymatic activities, and water relations, as well as acting in the control of diseases that limit production. Most studies have addressed its toxicity, but there are few reports regarding the tolerance of tropical grasses to high levels of Ni. Thus, the objective of this study was to verify the response of setaria grass to increasing doses of nickel added to the nutrient solution (respectively, 0, 5, 10, and 15 mg NiSO₄/L) in three successive cuts. The fresh and dry weights of the aerial part decreased at the lower Ni levels, but showed significant increases at the 15 mg level. The dry matter content decreased linearly in the first cut, showed a third-degree response in the second cut, and was not significantly affected in the third cut. No effects were detected on root and total dry weight, and leaf chlorophyll content, suggesting that the species has a high tolerance to this metal. New approaches are needed to obtain more conclusive results, such as studying the relationship between these responses and oxalate content, and determining the mineralogical composition of plant tissues and the growth substrate.

Index terms: physiological indicators, heavy metals, mineral nutrition, tolerance, *Setaria sphacelata*.

Introdução

O capim setária (*Setaria sphacelata* (Schumach.) é considerado uma opção viável para a produção de forragem em regiões degradadas e sujeitas a anomalias climáticas, tais como inundação (Hare et al., 2003) e seca (Kellner; De Wet, 2001). Nesse contexto, o estudo de suas relações minerais é relevante para aumentar a sustentabilidade de seu cultivo e agregação de valor, pela inclusão de outras aplicabilidades.

Um aspecto muito divulgado e pouco explorado é a tolerância da espécie a elevados níveis de elementos tóxicos. O capim setária é classificado como espécie hiperacumuladora de vários elementos tóxicos e recomendada na fitorremediação de metais (Rabêlo et al., 2018). Além disso, apesar de sua sensibilidade ao sódio, a espécie mostra maior capacidade de acúmulo desse elemento do que outras hiperacumuladoras estudadas (Trang et al., 2023). A literatura, todavia, não especifica quais elementos tóxicos são hiperacumulados pelo capim setária, e nem qual seria o mecanismo principal de tolerância. Visto que a espécie apresenta altos níveis de ácido oxálico (Roughan; Warrington, 1976), essa característica pode ser a indutora da tolerância, via transporte de metais no xilema, formação de quelatos de metais no citosol, ou sequestro de íons no vacúolo, conforme ocorre em outras gramíneas quando expostas a níveis tóxicos de cádmio (Xie et al., 2014) ou chumbo (Pidatata et al., 2016).

O Ni pode ser tanto um micronutriente essencial para plantas, vital para processos como o metabolismo do N e a atividade hormonal, quanto um elemento tóxico quando em excesso, causando danos celulares, deficiências nutricionais e uma série de outros efeitos adversos (Begum et al., 2022). A toxidez por Ni geralmente ocorre a partir de níveis muito baixos em vários cultivos. Assim, nossa hipótese de trabalho é que o capim setária apresenta tolerância a níveis tóxicos de níquel, possibilitando o seu uso em processos de biorremediação de áreas contaminadas com esse metal, tendo em vista sua capacidade hiperacumuladora de outros metais pesados.

O objetivo do estudo foi avaliar a resposta do capim setária a níveis elevados de Ni adicionado ao substrato de cultivo e gerar acervo amostral para posterior investigação dos níveis de absorção desse elemento pela espécie e suas relações com teores endógenos de oxalato e de N.

As recomendações deste trabalho contribuem para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 e 8 (Fome Zero e Agricultura Sustentável; e Trabalho Decente e Crescimento Econômico), contidos na Agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas, com foco nas metas 2.3 (Produtividade de pequenos produtores) e 8.2 (Produtividade – Diversificação, modernização tecnológica e inovação), visto que a melhoria do balanço nutricional do capim setária permitirá ganhos na produção forrageira, portanto com a perspectiva de contribuir para a sustentabilidade agrícola e para o crescimento econômico (Nações Unidas, 2025).

Material e métodos

A semeadura foi feita em recipientes plásticos de 250 mL contendo vermiculita. Decorridos 16 dias da germinação, as plântulas receberam os seguintes tratamentos: 0, 5, 10 ou 15 mg $\text{NiSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_6 \cdot \text{L}^{-1}$ de solução nutritiva de Hoagland em ½ força (Passos, 1996), correspondendo a, respectivamente: 0; 1,12; 2,23 e 3,35 mg $\text{Ni} \cdot \text{L}^{-1}$ de solução. O fornecimento foi feito a cada duas semanas por rega na vermiculita.

Foram realizados três cortes e colheita da parte aérea a cada 121 dias, para as avaliações. O teor de clorofila foi medido em folhas intactas (Medidor SPAD-502, Konica-Minolta, NJ,

EUA) e, em seguida, a parte aérea das plantas foi colhida na altura de 10 cm e as amostras pesadas para obtenção dos pesos fresco e seco (balança analítica SHI-AUW-220D, TECNAL, Piracicaba, SP). Para a obtenção do peso seco, as amostras foram secadas a 65 °C por 72h em forno THELCO 130DM (Precision Scientific, Chicago, IL, EUA). A porcentagem de matéria seca foi calculada. Em seguida as amostras foram moídas (moinho analítico A11B, IKA, Wilmington, NC, EUA) e armazenadas, para análises posteriores.

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (níveis de sulfato de níquel hexa-hidratado), nove repetições e 10 plantas por parcela. Os dados foram submetidos à análise de variância (Minitab, versão demo, State College, PA, EUA).

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos com o peso fresco da parte aérea. Nos dois primeiros cortes ocorreu uma severa redução até o nível de 10 mg NiSO₄, seguida de aumento no nível de 15 mg. No terceiro corte houve decréscimo geral, porém, sem atingir nível de significância.

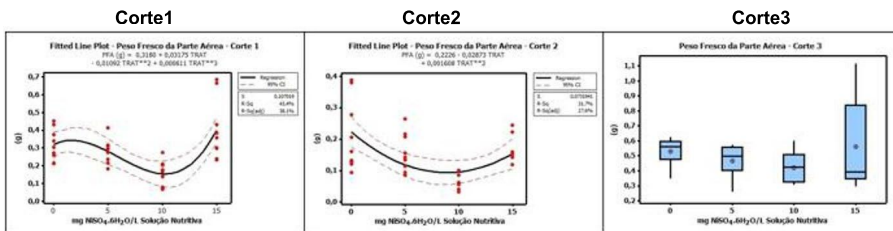


Figura 1. Efeito da adição de Ni ao substrato de cultivo sobre o peso fresco da parte aérea do capim-setária - resultados de três cortes.

A Figura 2 mostra os resultados obtidos com o peso seco da parte aérea. Nos dois primeiros cortes ocorreu uma severa redução até o nível de 10 mg NiSO₄, seguida de aumento no nível de 15 mg. O mesmo comportamento foi verificado no terceiro corte, porém sem atingir nível de significância. Em geral, o peso seco aumentou gradualmente de um corte para outro, atingindo valores máximos no terceiro corte.

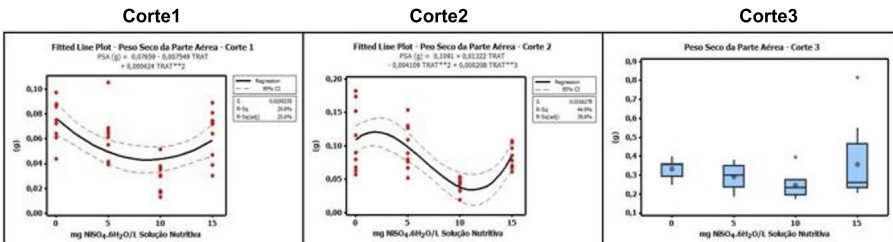


Figura 2. Efeito da adição de Ni ao substrato de cultivo sobre o peso seco da parte aérea do capim-setária - resultados de três cortes.

A Figura 3 exibe os resultados obtidos com a porcentagem de matéria seca da parte aérea. No primeiro corte ocorreu decréscimo linear. No segundo corte houve aumento até o nível de 10 mg, com redução em 15 mg. As diferenças no terceiro corte não atingiram nível significativo. As porcentagens de matéria seca aumentaram de um corte para outro.

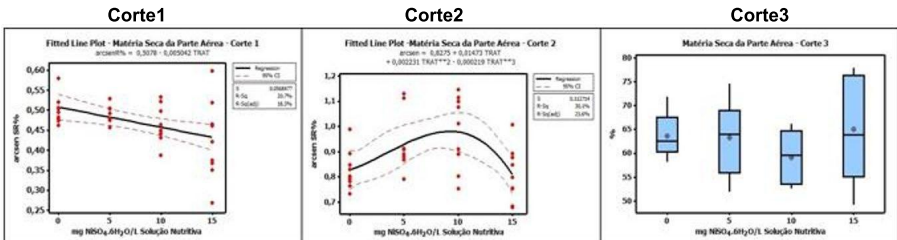


Figura 3. Efeito da adição de Ni ao substrato de cultivo sobre a porcentagem de matéria seca da parte aérea do capim-setária - resultados de três cortes.

A Figura 4 exibe os resultados obtidos com o teor de clorofila (corte 1) e pesos secos e total (corte 3). Essas variáveis não foram afetadas significativamente pelos tratamentos. Os pesos secos das raízes e total apresentaram aumento com o nível de 15 mg NiSO_4 sem, no entanto, atingirem nível significativo.

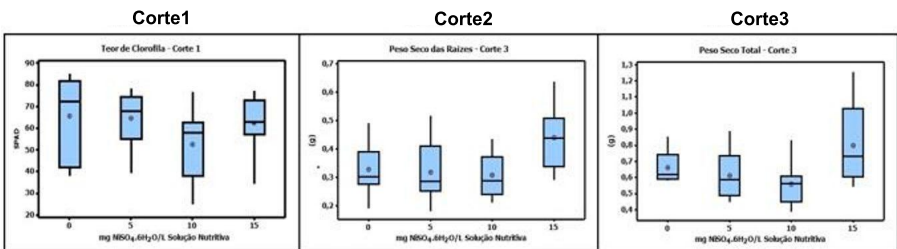


Figura 4. Efeito da adição de Ni ao substrato de cultivo sobre o peso seco das raízes, peso seco total e teor de clorofila do capim-setária.

Inerente aos resultados das análises estatísticas, cumpre esclarecer, conforme Gupta et al. (2024), que a regressão com baixo valor de R^2 é plenamente aceitável. Embora um R^2 baixo indique que o modelo explica uma pequena proporção da variação da variável dependente, a significância do modelo (e de suas variáveis) sugere que ele ainda revela relações reais que não se devem ao acaso. Conforme ocorre em áreas da biologia, nas quais se estuda sistemas e comportamentos complexos, valores baixos de R^2 são comuns e aceitáveis.

O estudo, em geral, indica que o crescimento da parte aérea do capim-setária é inibido nos níveis de 5 e 10 mg de NiSO_4 , porém apresentando uma forte recuperação com a aplicação de 15 mg NiSO_4 . Isto sugere que um possível mecanismo de tolerância seria desencadeado na parte aérea, a partir desse nível de exposição. O teor de matéria seca, apesar do aumento verificado do primeiro até o terceiro corte, produziu resultados inconclusivos, necessitando ser avaliado com maior detalhamento. O sistema radicular, por outro lado, estaria imune aos níveis de Ni aplicados.

O teor de clorofila, em diversos cultivos, é severamente reduzido pela presença de Ni no substrato de crescimento, comprometendo todo o aparato fotossintético (Bhalerao et al., 2015). A ausência desse efeito no presente estudo reforça a possibilidade de elevada tolerância do capim setária a esse metal.

De acordo com Hassan et al. (2019), as concentrações de níquel utilizadas no presente estudo representam toxidez moderada. A eventual aplicação de concentrações mais elevadas de Ni poderá quantificar o grau de tolerância e de hiperacumulação do capim setária. Igualmente, a mudança de estratégia metodológica para ensaios de menor duração, com apenas uma colheita, poderá oferecer melhores evidências.

Conclusões

1. O capim setária tem elevada tolerância ao Ni.
2. A tolerância pode estar relacionada aos níveis de oxalato ou de N e pode ocorrer por mecanismo de hiperacumulação ou por bloqueio da absorção desse metal.
3. O capim setária pode ser indicado para a biorremediação de solos contaminados com Ni.

Agradecimentos

À Fapemig (CRD-00169-21, APQ 03630-23 e RED-00056-23), ao CNPq, Rede Mineira de Química (RQ-MG), Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais (PPGMQ-MG) e aos assistentes Mário Baesso e Sebastião Evaristo.

Referências

- BHALERAO, S.; SHARMA, A.; POOJARI, A. C. Toxicity of nickel in plants. **International Journal of Pure and Applied Bioscience**, v. 3, n. 2, p. 345-355, 2015.
- BEGUM, W.; RAI, S.; BANERJEE, S.; BHATTACHARJEE, S.; MONDAL, H. M.; BHATTARAI, A.; SAHA, B. A comprehensive review on the sources, essentiality and toxicological profile of nickel. **RSC Advances**, v. 15, p. 9139-9153, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2RA00378C>.
- GUPTA, A.; STEAD, T. S.; GANTI, L. Determining a meaningful R-squared value in clinical medicine. **Academic Medicine & Surgery**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.62186/001c.125154>.
- HARE, M. D.; KAEWKUNYA, C.; TATSAPONG, P.; SAENGGHAM, M. Evaluation of forage legumes and grasses on seasonally waterlogged sites in north-east Thailand. **Tropical Grasslands**, v. 37, n. 1, p. 30-32, 2003.
- HASSAN, U. H.; CHATTHA, M. U.; KHAN, I.; CHATTHA, M. B.; AAMER, M.; NAWAZ, M.; KHAN, M. A. U.; KHAN, T. A. Nickel toxicity in plants; reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 12673-12688, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04892-x>.
- KELLNER, K.; DE WET, S. Evaluation of a number of grass species for restoring degraded semi-arid rangelands in Southern Africa. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001. São Pedro, SP. **Proceedings** [...]. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 968-969. Tema: Grassland ecosystems: an outlook into the 21st century.
- NAÇÕES UNIDAS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 out. 2025.
- PASSOS, L. P. Solução nutritiva de Hoagland. In: PASSOS, L. P. (ed.). **Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal**. Coronel Pacheco: Embrapa Gado de Leite, 1996. p. 101-105. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/592370/1/Metodos-analiticos-e-laboratoriais-em-fisiologia-vegetal.pdf>. Acesso em: 20 out. 2025.

PIDATALA, V.; KEFENG, L.; SARKAR, D.; RAMAKRISHNA, W.; DATTA, D. Identification of biochemical pathways associated with lead tolerance and detoxification in *Chrysopogon zizanioides* L. Nash (Vetiver) by metabolic profiling. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 5, p. 2530-2537, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04725>.

RABÊLO, F. H.; BORGIO, L.; LAVRES, J. The use of forage grasses for the phytoremediation of heavy metals: plant tolerance mechanisms, classifications, and new prospects. In: MATICHENKOV, V. (ed.). **Phytoremediation: methods, management and assessment**. New York: Nova Science Publishers, 2018. p. 59-102.

ROUGHAN, P. G.; WARRINGTON, I. J. Effect of nitrogen source on oxalate accumulation in *Setaria sphacelata* (cv. Kazungula). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 27, n. 3, p. 281-286, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740270314>.

TRANG, N. T. D.; TUNG, N. C. T.; HAN, P. T.; VIET, V. H. Screening wetland and forage plants for phytoremediation of salt-affected soils in the Vietnamese Mekong Delta. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 110, article 29, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-022-03667-4>.

XIE, Y.; HU, L.; DU, Z.; SUN, X.; AMOMBO, E.; FAN, J.; FU, J. Effects of cadmium exposure on growth and metabolic profile of bermudagrass [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.]. **PLoS ONE**, v. 9, n. 12, e115279, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115279>.