



Adução com níquel na soja: teores nos grãos e produtividade⁽¹⁾.

**Bruna Wurr Rodak⁽²⁾; Milton Ferreira de Moraes⁽³⁾; Adilson de Oliveira Junior⁽⁴⁾;
Douglas Siqueira Freitas⁽²⁾; Luiz Roberto Guimarães Guilherme⁽⁴⁾.**

⁽¹⁾ Parte da dissertação de mestrado da primeira autora apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Trabalho executado com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA SOJA).

⁽²⁾ Doutorando(a) bolsista da CAPES; Universidade Federal de Lavras (UFLA); Lavras, Minas Gerais (MG); brunawurrrodak@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor adjunto do Departamento de Agronomia; Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT); ⁽⁴⁾ Pesquisador; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA SOJA); ⁽⁵⁾ Professor titular do Departamento de Ciência do Solo; UFLA.

RESUMO: O objetivo foi verificar a influência do Ni aplicado via solo na produtividade da soja e a relação com os teores nos grãos, em condições controladas. O cultivar de soja BRS 360 RR foi cultivado em dois Latossolos (LVef e LVd) submetidos às doses de 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0 e 5,0 mg dm⁻³ de Ni. Foi avaliado ao final do ciclo (R9) a produtividade e o teor de Ni nos grãos. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foi realizada análise de variância (Teste F) e quando significativos foram ajustados modelos de regressão. As variáveis analisadas foram correlacionadas pelo teste linear de Pearson. O fornecimento de Ni não proporcionou aumento da produtividade, provavelmente devido o teor inicial da semente de aproximadamente 0,78 mg kg⁻¹ de Ni ter suprido as exigências das plantas. A aplicação das maiores doses, 1,0 e 5,0 mg dm⁻³ de Ni, reduziram a produtividade das plantas cultivadas no solo LVef, com ocorrência de sintomas de toxidez. A redução da produtividade apresentou correlação negativa com os teores de Ni nos grãos ao final do ciclo de crescimento.

Termos de indexação: micronutriente, urease, *Glycine max*.

INTRODUÇÃO

O Ni foi o último elemento inserido na lista de micronutrientes de plantas. Esse nutriente é constituinte da metaloenzima urease que desdobra a uréia [CO(NH₂)₂] em amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂) (Eskew et al., 1983, 1984; Brown et al., 1987), além de participar do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), por ser constituinte da enzima hidrogenase (Evans et al., 1987).

Foi inserido recentemente na legislação brasileira de fertilizantes na Instrução Normativa N° 05 (MAPA, 2015), de 23 de fevereiro de 2007, sendo incipientes os estudos sobre a recomendação de adubação desse micronutriente. A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) vem sendo uma das culturas mais

estudadas, onde o fornecimento de Ni, em doses adequadas, vem apresentando respostas positivas nos aspectos fisiológicas e morfológicas (Seregin & Kozhevnikova, 2006), repercutindo no incremento da produtividade (Bertrand, 1973; Moraes et al., 2010), entretanto, existem diversos trabalhos, onde não ocorreu resposta dos componentes produtivos (Alovisi et al., 2011; Kutman et al., 2012, 2014). Tal fato sugere uma provável influência dos teores iniciais de Ni dos grãos de soja. Uma vez que, a importância dos teores dos demais micronutrientes em sementes na nutrição mineral das culturas é amplamente documentada na literatura (Welch 1999; Cakmak 2008). Entretanto, tal pressuposto deve ser averiguado, possibilitando assim compreender a resposta das plantas de soja ao fornecimento de Ni, principalmente nas condições brasileiras, onde, como relatado anteriormente, ainda não se tem recomendações para sua adubação.

O objetivo foi verificar a influência do Ni aplicado via solo na produtividade da soja e a relação com os teores nos grãos, em condições controladas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente controlado e no Laboratório de Solo e Tecido Vegetal da EMBRAPA SOJA, Londrina, PR.

Foram coletados dois solos da profundidade de 0 a 20 cm, localizados no município de Palotina e Iporã, ambos do estado do PR, classificados como Latossolo Vermelho eutroférrico típico (LVef) e Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), respectivamente. O LVef apresentava teor disponível de Ni de 0,335 e 0,165 mg dm⁻³ em Mehlich-1 e DTPA, respectivamente. Enquanto no LVd o teor era de < 0,1 e < 0,013 mg dm⁻³ em Mehlich-1 e DTPA, respectivamente.

Realizou-se a correção da acidez do solo e adubação. Os tratamentos consistiram em doses de 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0 e 5,0 mg dm⁻³ de Ni, utilizando como fonte sulfato de Ni (NiSO₄.6H₂O). As sementes do cultivar BRS 360 RR foram inoculadas

com 2,0 mL kg⁻¹ do produto comercial líquido SEMIA 5019 e SEMIA 5079.

Ao final do ciclo, estágio de desenvolvimento R9, as plantas foram colhidas e avaliada a produtividade, com posterior quantificação dos teores de Ni nos grãos (Malavolta et al., 1997).

O delineamento experimental adotado foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância (Teste F) e quando significativos foram ajustados modelos de regressão. O teor de Ni no grão e a produtividade foram correlacionados pelo teste linear de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa seca dos grãos variou de 16,98 a 21,8 e 11,67 a 13,69 g/planta no solo LVd e LVeF, respectivamente, apresentando diferença estatística apenas para o LVd, onde ocorreu redução da massa seca com a aplicação das maiores doses de Ni (Figura 1). O comportamento distinto dessa variável entre os solos está relacionado ao teor disponível inicial de Ni nos mesmos, enquanto o LVeF apresentava teor < 0,1 e < 0,013 mg dm⁻³ em Mehlich-1 e DTPA, respectivamente, no solo LVd o teor era de 0,335 e 0,165 mg dm⁻³ em Mehlich-1 e DTPA, respectivamente, a maior disponibilidade associada as maiores doses provocaram toxidez desse micronutriente nas plantas.

Os resultados obtidos corroboram com Alovisei et al. (2011) que não verificaram acréscimo da produtividade de soja, em condições brasileiras de cultivo a campo, com fornecimento de até 132 g ha⁻¹ de Ni via foliar. Em condições controladas, Levy (2013) cultivou soja em dois Latossolos submetidos a doses de até 2 kg ha⁻¹ de Ni via foliar e solo, também não constatou aumento dos componentes produtivos. Nesse mesmo estudo o fornecimento de Ni via semente prejudicou a germinação dos grãos de soja, com ocorrência de sintomas de toxidez nas plântulas.

Contudo, em condições de campo, não brasileiras, Bertrand (1973) verificou incremento da produtividade de soja com aplicação de até 0,02 mg dm⁻³ Ni. Segundo Martins (comunicado pessoal) citado por Moraes et al. (2010), cultivando soja em condições de campo brasileiras, verificou que o fornecimento de 50 g ha⁻¹ de Ni proporcionou aumento de até 6,2 sc ha⁻¹, aventando que o Ni estaria atuando no controle de doenças fúngicas. Estudo recente de Wiebke-Strohm et al. (2012) em genótipos de soja verificaram que a urease, enzima a qual o Ni é constituinte, é codificada pelo gene *GmEu4*, ao suprimir a expressão desse gene nas plantas, ou seja, reduzir a atividade da urease, ocorreu maior suscetibilidade ao ataque de fungos

nas plantas, principalmente *Phakopsora pachyrhizi*, evidenciando, portanto, a efetiva influência da urease no controle de doenças fúngicas na soja.

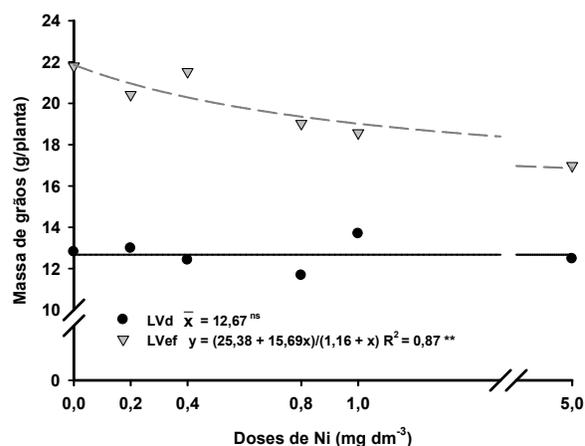


Figura 1 - Massa seca de grãos de soja cultivada em um Latossolo Vermelho eutrófico típico (LVeF) e um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), submetidos à aplicação de níquel (Ni) (ns não significativo; ** significativo ao nível de p < 0,01 pelo Teste de F).

A contraposição da literatura documentada a respeito da influência do Ni na produtividade de soja evidencia a necessidade de mais estudos, bem como da necessidade de elucidar a dose e forma de aplicação desse micronutriente. Nesse contexto, ressalta-se também a ausência de estudos explorando a variabilidade genética da soja em função do fornecimento de Ni, poucos foram os cultivares estudados. Considerando que a soja apresenta exigência distinta de N, por conseguinte, maior ou menor eficiência do processo de FBN (Herridge & Rose, 2000), logo, o Ni poderia exercer papel preponderante e diferenciado em alguns cultivares de soja, uma vez que esse micronutriente exerce função direta no metabolismo do N, assim poderia contribuir de maneira efetiva na expressão gênica, alterando o comportamento de enzimas e proteínas estruturais nas plantas, possibilitando a diferenciação das células e consequentemente um maior incremento produtivo.

A principal justificativa para a falta de resposta dos componentes de produtividade a adubação com Ni, mesmo em solos com teores disponíveis baixos, como o LVeF utilizado nesse experimento, provavelmente se deve ao teor inicial de Ni da semente suprir as exigências da soja, uma vez que dentre os nutrientes essenciais, o Ni, juntamente com Mo, são os menos exigidos pelas plantas (Brown et al., 1987). De maneira geral, teores foliares adequados para as plantas variam de 0,01 a

10 mg kg⁻¹ (Gerendás et al., 1999; Brown et al., 1987).

O cultivar BRS 360 RR, empregado nesse experimento, apresentava teores iniciais nos grãos de 0,78 mg kg⁻¹ de Ni, portanto, pode-se inferir que um grão de soja desse cultivar apresenta em média aproximadamente 0,15 µg de Ni, com o fornecimento das doses obteve-se teores variando de 0,42 a 13,56 e 0,39 a 4,28 mg kg⁻¹ de Ni no solo LVd e LVef, respectivamente, ocorreu aumento significativo dos teores nos grãos com o fornecimento das doses (**Figura 2**).

A correlação (r) dos teores de Ni nos grãos e sua massa seca foi de -0,79** e -0,12^{ns} para o solos LVd e LVef, respectivamente. Evidenciando que a redução da produtividade das plantas cultivadas no solo LVd, nas maiores doses de Ni, deve-se ao acúmulo de Ni nos grãos. Na **Figura 3** pode se observar sintomas de toxidez de Ni nos grãos, como menor desenvolvimento e enrugamento, ocorridos nas plantas submetidas às doses de 1,0 e 5,0 mg dm⁻³ de Ni.

O acúmulo de Ni nos grãos se deve a elevada atividade da enzima urease nessa leguminosa (Holland et al., 1987; Kutman et al., 2012). Estudo de Cataldo et al. (1978) com plantas de soja constataram que a partir do início da senescência aproximadamente 70% do Ni é translocado das folhas para os grãos.

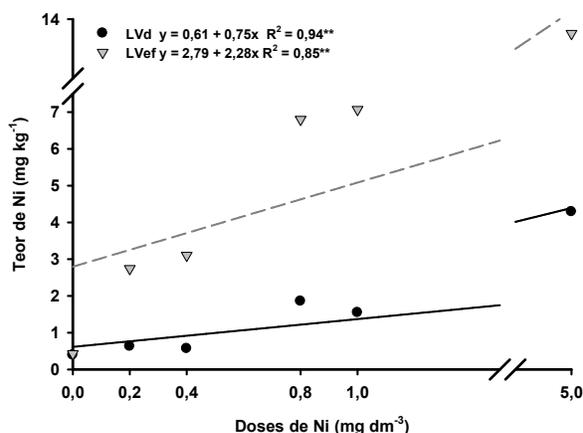


Figura 2 - Teor de níquel (Ni) nos grãos de soja cultivada em Latossolo Vermelho eutrófico típico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), submetidos à aplicação de Ni (^{ns} não significativo; ** significativo ao nível de p < 0,01 pelo Teste de F).

Em trabalhos recentes Kutman et al. (2012, 2014) estudaram as reservas de Ni em grãos de soja, juntamente com o fornecimento foliar desse micronutriente (2x10⁻⁷ M Ni) e de fertilizantes

nitrogenados em solução nutritiva. Constataram respostas à adubação com Ni e uréia quando os teores iniciais nas sementes eram baixos (0,04 a 0,05 mg kg⁻¹) e médios (0,62 mg kg⁻¹), principalmente no metabolismo do N, porém, sem acréscimos de produtividade. Foram verificados redução dos danos foliares decorrentes da pulverização com uréia, bem como aumento da biomassa aérea e do conteúdo de clorofila em função dos teores iniciais de Ni nas sementes e de seu fornecimento via foliar. Quando os teores iniciais nas sementes eram altos (8,32 a 10 mg kg⁻¹) tais respostas fisiológicas e morfológicas não foram verificadas, confirmando, portanto, que as reservas na semente exercem influência direta sobre a resposta das plantas à adubação com Ni. Estudo pioneiro de Brown et al. (1987) que confirmou a essencialidade do Ni as plantas já evidenciava a importância dos teores nas sementes, cultivando cevada (*Hordeum vulgare*) em solução nutritiva, teores de Ni de 250 ng g⁻¹ na semente eram suficientes para suprir até três gerações precedentes sem que houvesse deficiência do mesmo.



Figura 3 - Aspecto visual de grãos de soja cultivada em um Latossolo Vermelho eutrófico típico (LVef), submetidos a doses de 1,0 e 5,0 mg dm⁻³ de níquel (Ni), respectivamente.

CONCLUSÕES

A adubação com Ni, via solo, não proporcionou aumento da produtividade na soja, provavelmente devido o teor inicial da semente de



aproximadamente 0,78 mg kg⁻¹ de Ni ter suprido as exigências das plantas. A aplicação das maiores doses, 1,0 e 5,0 mg dm⁻³ de Ni, reduziram a produtividade das plantas cultivadas no solo Lvef, com ocorrência de sintomas de toxidez. A redução da produtividade apresentou correlação significativa e negativa com os teores de Ni nos grãos ao final do ciclo de desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Aos Programas de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPR e UFLA, EMBRAPA SOJA, CAPES, CNPq, FAPEMIG e FAPEG.

REFERÊNCIAS

- ALOVISI, A. M. T.; MAGRI, J.; DUTRA, J. E.; MAGRI, E.; SANTOS, M. J. G. & ALOVISI, A. A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 15(2):25-32, 2011.
- BERTRAND, D. Importance du nickel, comme oligo-élément, pour les *Rhizobium* des nodosités des légumineuses. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences*, 276(12):1855-1858, 1973.
- BROWN, P. H.; WELCH, R. M. & CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*, 85(3):801-803, 1987.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302:1-17, 2008.
- CATALDO, D. A.; GARLAND, T. R. & WILDUNG, R. E. Nickel in plants: II. Distribution and chemical form in soybean plants. *Plant Physiology*, 62:566-570, 1978.
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M. & CARY, E. E. Nickel: an essential micronutrient for legumes and possibly all higher-plants. *Science*, 222(4624):621-623, 1983.
- ESKEW, D. L.; WELCH, R. M. & NORVELL, W. A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. *Plant Physiology*, 76(3):691-693, 1984.
- EVANS, H. J.; HARKER, A. R.; PAPEN, H.; RUSSELL, S. A.; HANUS, F. J. & ZUBER, M. Physiology, biochemistry and genetics of the uptake hydrogenase in rhizobia. *Annual Review of Microbiology*, 41:335-361, 1987.
- GERENDAS, J.; POLACCO, J. C.; FREYERMUTH, S. K. & SATTELMACHER, B. Significance of nickel for plant growth and metabolism. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162:241-256, 1999.
- HERRIDGE, D. & ROSE, I. Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. *Field Crops Research*, 65:229-248, 2000.
- HOLLAND, M. A.; GRIFFIN, J. D.; MEYER-BOTHLING, L. E. & POLACCO, J. C. Developmental genetics of the soybean urease isozymes. *Developmental Genetics*, 8:375-387, 1987.
- KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B. & CAKMAK, I. Effects of seed nickel reserves or externally supplied nickel on the growth, nitrogen metabolites and nitrogen use efficiency of urea-or nitrate-fed soybean. *Plant and Soil*, 376:261-276, 2014.
- KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B. & CAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. *Plant and Soil*, 1007:1-15, 2012.
- LEVY, C. C. B. Níquel em soja: doses e formas de aplicação. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub Tropical) - Instituto Agronômico de Campinas, 93p. 2013.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Sistema de consultoria a legislação - módulo cidadão. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao>>. Acesso em: 10 mar. 2015.
- MORAES, M. F.; ABREU JUNIOR, C. H. & LAVRES JUNIOR, J. Micronutrientes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARN, V. & STIPP, S. R. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, v.2. 2010. p.205-278.
- SEREGIN, I. V. & KOZHEVNIKOVA, A. D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53(2):285-308, 2006.
- WANG, S.; NAN, Z.; LIU, X.; LI, Y.; QIN, S.; DING, H. Accumulation and bioavailability of copper and nickel in wheat plants grown in contaminated soils from the oasis, northwest China. *Geoderma*, v. 152, p. 290-295, 2009.
- WELCH, R. M. Importance of seed mineral nutrient reserves in crop growth and development. In: RENGEL, Z. (Ed.). *Mineral nutrition of crops: fundamental mechanisms and implications*. New York: The Haworth Press, 1999. p.205-226.
- WIEBKE-STROHM, B.; PASQUALI, G.; MARGIS-PINHEIRO, M.; BENCKE, M.; BÜCKER-NETO, L.; BECKER-RITT, A. B.; MARTINELLI, A. H. S.; RECHENMACHER, C.; POLACCO, J. C.; STOLF, R.; MARCELINO, F. C.; ABDELNOOR, R. V.; HOMRICH, M. S.; DEL PONTE, E. M.; CARLINI, C. R.; CARVALHO, M. C. C. G. & BODANESE-ZANETTINI, M. H. Ubiquitous urease affects soybean susceptibility to fungi. *Plant Molecular Biology*, 79:75-87, 2012.