



Níveis Críticos de Níquel para Gramíneas Forrageiras⁽¹⁾.

Enilson de Barros Silva⁽²⁾; Francisco Vagner Pereira de Souza⁽³⁾; Paulo Henrique Graziotti⁽⁴⁾; Luís Reynaldo Ferracciú Alleoni⁽⁵⁾; Sandra Silva do Nascimento⁽³⁾; Bárbara Olinda Nardis⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq, Fapemig e Capes.

⁽²⁾ Professor Associado do Departamento de Agronomia, Bolsista CNPq PQ-2, UFVJM. Campus JK, Rodovia MGT 367, 5000 CEP 39100-000 Diamantina (MG). E-mail: ebsilva@ufvjm.edu.br. ⁽³⁾ Mestre em Produção Vegetal da UFVJM. E-mail: francisco_vagner@hotmail.com, sandrassn@gmail.com ⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, UFVJM. E-mail: graziotti@yahoo.com.br. ⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Caixa Postal 9 CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: alleoni@usp.br. ⁽⁶⁾ Mestranda em Produção Vegetal, UFVJM. E-mail: babi.olinda@gmail.com

RESUMO: O presente estudo foi conduzido em casa de vegetação com o objetivo de estimar os níveis críticos de Ni no solo e na parte aérea de gramíneas forrageiras. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, no esquema fatorial, sendo cinco gramíneas forrageiras (*Panicum maximum* cv. Aruana e cv. Tanzânia e *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e cv. Marandu) e quatro doses de Ni (0, 20, 40 e 120 mg kg⁻¹ de solo). Foram avaliados a massa seca e o teor de Ni na parte aérea das forrageiras e, o teor de Ni no solo pelos extratores Mehlich-1 e DTPA a pH 7,3. Os resultados mostraram que os níveis críticos de Ni na parte aérea e no solo foram menores para as gramíneas forrageiras do gênero *Panicum* em comparação às do gênero *Brachiaria*. Na parte aérea das gramíneas forrageiras, os níveis críticos de Ni variam de 1,7 a 8,3 mg kg⁻¹ e no solo variam de 1,9 a 12,7 mg kg⁻¹ (DTPA) e de 3,2 a 19,2 mg kg⁻¹ (Mehlich-1).

Termos de indexação: extrator de solo, *Brachiaria*, *Panicum*.

INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre o papel de níquel (Ni) na nutrição, fisiologia e metabolismo da maioria das culturas é ainda limitado (López & Magnitski, 2011). Embora o Ni seja um elemento essencial para as plantas (Bai et al., 2006), teores elevados deste metal no ambiente podem causar fitotoxicidade (Ahmad & Ashraf, 2011). Além disso, a elevação deste elemento no solo pode levá-lo a atingir a cadeia alimentar podendo afetar os animais e até o ser humano (Iyaka, 2011).

A disponibilidade do Ni está relacionada com características do solo e das plantas. Os fatores de influenciam a fitodisponibilidade do Ni no solo são: pH, potencial redox, textura, composição mineral como conteúdo e tipos de argilas e de óxidos de Fe, Al e Mn, características do perfil, CTC, matéria

orgânica, presença de outros metais pesados e outros fatores que afetam a atividade microbiana (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). De maneira geral, o nível crítico de Ni em folhas varia de acordo com a espécie, mas geralmente um faixa adequada é considerada entre 1 e 10 mg kg⁻¹ na massa seca (Marschner, 2012).

No Brasil, ainda é inexistente um procedimento definido pela pesquisa para avaliar a disponibilidade de Ni no solo (Abreu et al., 2001), sendo o extrator oficial para micronutrientes catiônicos no estado de São Paulo (Abreu et al., 2001). Já o extrator Mehlich-1 tem sido amplamente utilizado em análises de rotina nos laboratórios de Minas Gerais (Alvarez V. et al., 1999).

O objetivo deste trabalho foi de estimar os níveis críticos de Ni no solo e na parte aérea de gramíneas forrageiras.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina (MG). O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (0,20-0,40 m) e as análises químicas e de textura do solo (Embrapa, 1997) (Quadro 1).

A calagem foi realizada para elevar a saturação por bases para 45% (Alvarez V. & Ribeiro, 1999) com calcário dolomítico. A adubação básica de plantio foi em vaso segundo Malavolta (1980) com reagentes puros e misturados totalmente ao solo com incubado por 30 dias em condição de umidade equivalente a 60 % do volume total de poros (VTP), controlada por pesagem diária.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, num esquema fatorial, com quatro repetições. Foram avaliadas cinco gramíneas forrageiras: *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés e cv. Marandu, *Panicum maximum* Jacq cv. Tanzânia e *Panicum maximum* cv. Aruana e quatro doses de Ni: 0, 20, 40



e 120 mg kg^{-1} de solo na forma de cloreto de níquel. As doses de Ni foram baseadas nas diretrizes de uso e ocupação do solo indicado pela CETESB (2005). O Ni foi aplicado após a calagem e a adubação básica de plantio, com incubação do solo por 15 dias em condição de umidade equivalente a 60% do VTP, controlada por pesagem diária.

O plantio das forrageiras foi realizado com semeadura direta em vasos plásticos contendo 4 kg de solo. A umidade do solo foi mantida em torno de 60 % do VTP, com pesagem diária e completando-se o peso com água deionizada. Após a germinação foi efetuado um desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso. Depois de 30 dias após o desbaste foi feito um corte de uniformização a 0,03 m do colo da planta, dando início ao período de avaliação e foram efetuados três cortes a cada 30 dias.

Foram feitas quatro adubações de cobertura com 50 mg kg^{-1} de N na forma de uréia a cada 5 dias após o corte de uniformização no primeiro período de crescimento e cinco adubações de N com 60 mg kg^{-1} de N na forma de uréia para os dois últimos períodos de crescimento das forrageiras.

A cada corte da parte aérea das forrageiras foi seco e pesado para obter a massa seca, posteriormente foi moído e analisado quimicamente para Ni (Malavolta et al., 1997). O controle de qualidade da análise de Ni foi utilizado material de referência certificado (NIST SRM 1573a Folha de tomate).

Após o último corte das forrageiras, amostras de solo foram coletadas para quantificação do teor de Ni extraídos com Mehlich-1 (Mehlich, 1978) e com DTPA pH 7,3 (Abreu et al., 2001). O teor de Ni foi determinado por espectrometria de absorção atômica de forno de grafite. O controle de qualidade da análise de Ni no solo foi com amostras certificadas (NIST SRM 2709 San Joaquin soil).

As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância e a estudos de regressão. Pelas equações de regressão entre a MSPA e as doses de Ni foram estimadas as doses de Ni para se atingir a máxima produção e 90 % da máxima de cada forrageira. Foram estimados os níveis críticos de Ni na MSPA das forrageiras e de Ni no solo por Mehlich-1 e DTPA pH 7,3 pela substituição das doses de Ni para 90 % da produção de MSPA das forrageiras, nas equações de regressão ajustadas para um período de crescimento de 90 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa seca da parte aérea (MSPA) das gramíneas forrageiras avaliadas foi influenciada pelas doses de Ni aplicadas no solo ($P < 0,01$). Para as forrageiras Aruana e Tanzânia, do gênero

Panicum, a resposta da MSPA as doses de Ni seguiu um modelo de quadrática base raiz quadrática, as forrageiras Marandu, Xaraés e Basilisk, do gênero *Brachiaria*, a resposta em produção de MSPA seguiu um modelo quadrático (Figura 1).

As respostas das gramíneas forrageiras a aplicação de Ni no solo, deve-se ao fato de que o Ni é um nutriente de planta (Bai et al., 2006), que eleve o crescimento e produtividade das culturas (López & Magnitski, 2011). Por ser considerado um micronutriente, doses elevadas de Ni causam fitotoxicidade (Iyaka, 2011), comprometendo a produtividade das culturas, sendo que nas maiores doses de Ni provocou toxidez que inibiu a fotossíntese e a respiração das plantas (Ahmad & Ashraf, 2011; Iyaka, 2011).

Para todas as forrageiras, a partir das equações apresentadas na Figura 1, foram estimadas as produções de MSPA e as doses de Ni correspondentes à produção máxima e 90 % da produção máxima (Quadro 2), considerada como a de máxima eficiência econômica (Malavolta et al., 1997).

De acordo com os modelos de regressão ajustados, as forrageiras Aruana e Tanzânia apresentaram os menores valores de dose de Ni (Quadro 2) devida aos maiores incrementos na produção em doses de Ni mais baixas, o que resultou num ajuste do modelo quadrático base raiz quadrática (Figura 1). Já para as forrageiras Marandu, Xaraés e Basilisk, as doses de Ni correspondentes a 90 % da produção máxima foram mais elevadas devido aos ajustes quadráticos dos dados (Figura 1). Tal comportamento sugere que as forrageiras do gênero *Panicum* são mais eficiente na utilização do Ni em relação aos do gênero *Brachiaria*.

Foram ajustadas equações de regressão entre o teor de Ni no solo extraído pelos extratores Mehlich-1 e DTPA pH 7,3 como variável dependente das doses de Ni aplicadas aos solos cultivados com as diferentes espécies de forrageiras (Quadro 3). As variações dos coeficientes angulares das equações lineares ajustadas refletem diferenças entre os extratores na capacidade de recuperação do Ni do solo. Independentemente da espécie de forrageira cultivada, os maiores teores de Ni extraídos do solo foi verificado para Mehlich-1 e DTPA (Quadro 3).

Os extratores DTPA e Mehlich-1; verificou-se menor extração de Ni disponível pelo DTPA (Quadro 3). Corroborando com esses resultados, Mantovani et al. (2004), verificaram em solo argiloso (Latossolo Vermelho distroférico) que a solução de Mehlich-1 extraiu quantidades superior de Ni em relação ao DTPA.



Os níveis críticos de Ni no solo variaram de um valor mínimo de 1,9 a um máximo de 19,2 mg kg⁻¹ de Ni para os extratores DTPA e Mehlich-1, para as forrageiras Tanzânia e Marandu, respectivamente. Quando se considera o Ni como um poluente ambiental, os teores permissíveis para área agricultável, que determina o Valor de Intervenção Agrícola, é de 70 mg kg⁻¹ de Ni no solo (CETESB, 2005).

A partir da substituição das doses de Ni correspondentes a 90 % da produção máxima de MSPA (Quadro 2) nas equações ajustadas para os teores de Ni na MSPA das diferentes forrageiras em função das doses de Ni aplicadas ao solo, estimaram-se os níveis críticos de Ni para as forrageiras (Quadro 3). Os níveis críticos na MSPA foram superiores nas forrageiras do gênero *Brachiaria* em relação às do gênero *Panicum* (Quadro 3), indicando a existência de diferenças na eficiência de utilização de Ni entre os dois gêneros de gramíneas forrageiras estudadas.

Os níveis críticos de Ni na MSPA das gramíneas forrageiras do presente estudo variaram de 1,7 a 8,3 mg kg⁻¹ para Tanzânia e Marandu, respectivamente (Quadro 3). Segundo Marschner (2012), o nível crítico de Ni nas folhas das plantas pode variar de 1 a 10 mg kg⁻¹, dependendo da espécie, conteúdo no solo, acidez do solo, entre outros fatores.

CONCLUSÕES

Os níveis críticos de Ni na parte aérea e no solo foram menores para as gramíneas forrageiras do gênero *Panicum* em relação às do gênero *Brachiaria*.

Na parte aérea das gramíneas forrageiras, os níveis críticos de Ni variam de 1,7 a 8,3 mg kg⁻¹ e no solo variam de 1,9 a 12,7 mg kg⁻¹ (DTPA) e de 3,2 a 19,2 mg kg⁻¹ (Mehlich-1).

AGRADECIMENTOS

À Capes pela bolsa de mestrado. Ao Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP pelas análises laboratoriais de amostras de solo e Fapemig pelos recursos financeiros. À UFVJM, pela infraestrutura necessária para condução do experimento.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; ABREU, M. F. & ANDRADE, J. C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B.van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, IAC, 2001. p.240-250.

AHMAD, K.; KHAN, Z.I.; ASHRAF, M.; VALLEM, E.E.; SHAH, Z.A. & McDOWELL, L.R. Determination of forage concentrations of lead, nickel and chromium in relation to the requirements of grazing ruminants in the Salt Range, Paquistan. Pakistan J. Bot., 41:61-65, 2009.

AHMAD, M.S.A. & ASHRAF, M. Essential roles and hazardous effects of nickel in plants. R. Environ. Contam. Toxicol., 214:125-167, 2011.

ALVAREZ V., V. H. & RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, CFSEMG, 1999. p.43-60.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, CFSEMG, 1999. p.25-32.

BAI, C.; REILLY, C. & WOOD, B.W. Ni deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. Plant Physiol., 140:433-443, 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. Decisão de diretoria nº 195-2-005-E. (CETESB). 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise do solo. Brasília, Produção de Informação, 1997. 212p.

IYAKA, Y.A. Nickel in soils: A review of its distribution and impacts. Sci. Res. Essays, 6:6774-6777, 2011.

KABATA- PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3. ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.

LÓPEZ, M.A. & MAGNITSKI, S. Nickel: the last of the essential micronutrientes. Agron. Colomb., 29:49-56, 2011.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. & OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319 p.

MANTOVANI, J. R.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E. & ALVES, W. L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. Pesq. Agrop. Bras., 39:371-378, 2004.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3.ed. London, Academic Press, 2012. 651p.

MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 9:477-492, 1978.

Quadro 1. Análise de química e textural do solo antes da aplicação dos tratamentos.

pH _{água}	P	K	Ca	Mg	Al	T	m	V	MO	Areia	Silte	Argila
	-- mg dm ⁻³ --		----- mmol _c dm ⁻³ -----			--- %----		g dm ⁻³		----- g kg ⁻¹ -----		
5,9	0,4	6	7	1	1	81	11	10	0,4	730	70	200

pH_{água} - Relação solo-água 1:2,5. P e K - Extrator Mehlich-1. Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L⁻¹. T - Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. m - Saturação por alumínio. V - Saturação por bases. MO - Matéria orgânica determinada através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método *Walkley-Black* por 1,724. Areia, silte e argila - Método da pipeta.

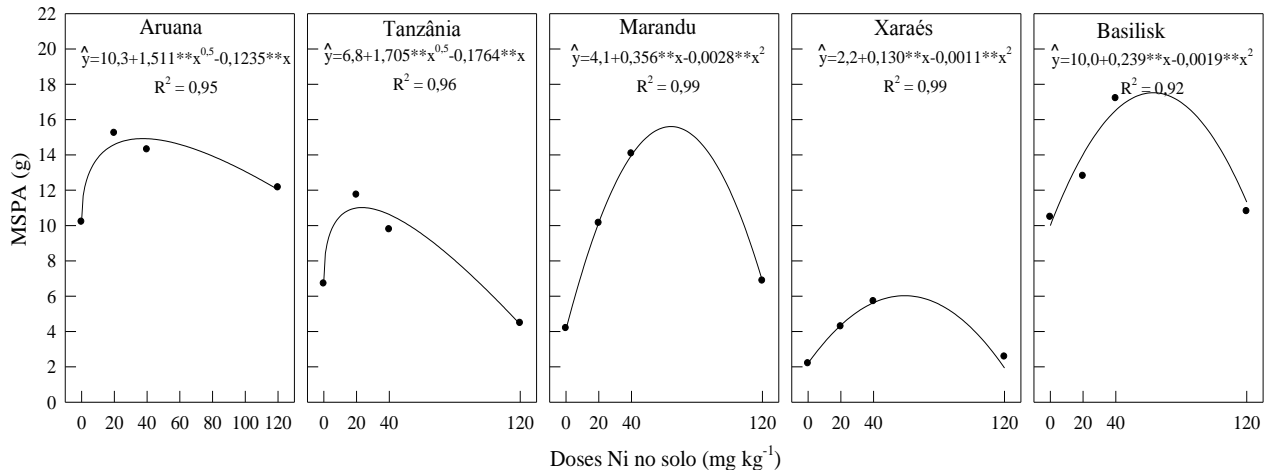


Figura 1. Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de cinco gramíneas forrageiras em função de doses de Ni aplicadas no solo. (** significativo a 1 % pelo teste t)

Quadro 2. Produção estimada de massa seca da parte aérea (MSPA) das gramíneas forrageiras correspondente à produção máxima e 90 % da máxima e as doses de Ni para promover essas produções.

Forrageira	MSPA (g/vaso)		Dose de Ni (mg kg ⁻¹)	
	90%	Máxima	90%	Máxima
Aruana	13,4	14,9	7,0	37,4
Tanzânia	9,8	10,9	5,6	23,4
Marandu	14,0	15,6	41,4	63,7
Xaraés	5,4	6,0	20,6	59,1
Basilisk	15,8	17,5	32,6	62,9

Quadro 3. Equações de regressão ajustadas entre o teor de Ni no solo extraído Mehlich-1 e DTPA pH 7,3 e na parte aérea das gramíneas forrageiras como variável dependente (\hat{y}) das doses de Ni aplicadas (x) no solo, e níveis críticos correspondentes para 90% da MSPA máxima.

Forrageira	Equação	R ²	Nível crítico mg kg ⁻¹
Teor de Ni no solo - Mehlich-1			
Aruana	$\hat{y} = 0,02 + 0,4530**x$	0,99	3,2
Tanzânia	$\hat{y} = 0,02 + 0,4728**x$	0,99	2,7
Marandu	$\hat{y} = 0,01 + 0,4645**x$	0,99	19,2
Xaraés	$\hat{y} = 0,01 + 0,4244**x$	0,99	8,8
Basilisk	$\hat{y} = 0,01 + 0,4351**x$	0,99	14,2
Teor de Ni no solo - DTPA a pH 7,3			
Aruana	$\hat{y} = 0,08 + 0,2866**x$	0,99	2,1
Tanzânia	$\hat{y} = 0,05 + 0,3360**x$	0,99	1,9
Marandu	$\hat{y} = 0,07 + 0,3059**x$	0,99	12,7
Xaraés	$\hat{y} = 0,05 + 0,2909**x$	0,99	6,0
Basilisk	$\hat{y} = 0,03 + 0,3170**x$	0,99	10,4
Teor de Ni na parte aérea			
Aruana	$\hat{y} = 0,01 + 1,1176**x^{0,5}$	0,99	3,0
Tanzânia	$\hat{y} = 0,01 + 0,3035**x$	0,99	1,7
Marandu	$\hat{y} = 0,01 + 0,2014**x$	0,99	8,3
Xaraés	$\hat{y} = 0,01 + 1,8122**x^{0,5}$	0,98	8,2
Basilisk	$\hat{y} = 0,01 + 0,2425**x$	0,99	7,9

** Significativo a 1 % pelo teste t.