
RESPOSTA DO FEIJOEIRO 'PRINCESA' CULTIVADO EM ARGISSOLO E NEOSSOLO À APLICAÇÃO DE NÍQUEL

Marcela Campanharo, Pedro Henrique Monnerat, Marcelo Curitiba Espindula
e Wanderson Souza Rabello

RESUMO

O objetivo neste trabalho foi verificar a resposta do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Princesa, cultivado em Argissolo e Neossolo à aplicação de níquel via foliar. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil, utilizando-se o esquema fatorial 5×2 no delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5kg de solo com quatro plantas. Os tratamentos foram constituídos de aplicações de cinco doses de Ni (0; 20; 40; 60 e 100mg·l⁻¹) via foliar e dois solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb. As doses de Ni aplicadas promoveram sintomas de toxidez nas folhas primárias do feijoeiro

caracterizadas por pequenas manchas bruno avermelhadas que não progrediram ao longo do tempo e não interferiram no crescimento das plantas. A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente em ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens do feijoeiro 'Princesa', indicando grande mobilidade na planta, mas não alterou o teor de uréia, indicando ausência de efeito sobre a atividade da enzima urease. A produção de massa seca da parte aérea das plantas e os teores dos demais nutrientes avaliados não foram afetados pela aplicação de Ni via foliar. As plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior crescimento e maiores teores de K, B e Cu em folhas maduras, folhas jovens e ramos e de Ca e Zn em folhas maduras e ramos.

Introdução

O Brasil se destaca no cenário mundial como maior produtor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e na safra de 2011/2012 produziu 2.899.000 toneladas (Agriannual, 2013). Essa cultura tem grande importância sócio econômica e é a principal fonte proteica na dieta alimentar dos brasileiros, sendo um dos alimentos mais consumidos no país (Furtini Neto *et al.*, 2000).

Mesmo com o aumento da produtividade do feijoeiro no Brasil nos últimos anos, essa cultura ainda apresenta baixos níveis de produtividade devido a fatores refe-

rentes a cultivar utilizada, manejo e estresses bióticos e abióticos (Lago *et al.*, 2009). Entre os estresses abióticos, aqueles relacionados à falta de nutrientes do solo são os mais expressivos para essa cultura (Kikuti *et al.*, 2006; Leal e Prado, 2008).

O feijoeiro comum é considerado exigente em nutrientes, em razão do seu sistema radicular pequeno e pouco profundo e, também, ao seu ciclo curto, sendo o nitrogênio e o potássio os nutrientes mais absorvidos e exportados seguidos, em termos de absorção, do cálcio, magnésio, enxofre e fósforo (Rosolém e Maru-

bayashi, 1994; Vieira, 2006). Embora o feijoeiro tenha relação simbiótica com microrganismos diazotróficos, este processo é insuficiente para suprir a demanda da planta por nitrogênio. Por essa razão, na maioria das vezes, é imprescindível sua aplicação na cultura, para que a produção não seja afetada negativamente (Alves, 2002; Silva, 2002).

O níquel é um micronutriente importante no metabolismo do nitrogênio em leguminosas, porém, o feijoeiro é considerado bastante sensível a doses de Ni em relação a outras culturas. Sua produção é reduzida

significativamente quando os teores foliares de Ni estão acima de 40g·kg⁻¹, bem como há efeito negativo nos teores de clorofila total, devido à menor absorção de magnésio pelas plantas provocado pelas altas doses de Ni (Piccini, 1990).

Em se tratando de essencialidade e toxidez, existem muitos questionamentos sobre alguns metais pesados, pois muitos desses são considerados essenciais às plantas (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) e se não forem utilizados, podem limitar a produção agrícola (Malavolta *et al.*, 2006). Somente os efeitos tóxicos e a capacidade de algumas espécies to-

PALAVRAS CHAVE / Cloreto de níquel / *Phaseolus vulgaris* L. / Urease /

Recebido: 13/10/2011. Modificado: 12/03/2013. Aceito: 10/07/2013.

Marcela Campanharo. Engenheira Agrônoma e Mestre em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Brasil. Doutora em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Brasil. Professora, Faculdades Integradas Aparício Carvalho, Brasil.

Pedro Henrique Monnerat. Engenheiro Agrônomo. Ph.D. em Nutrição Mineral de Plantas, Purdue University, EEUU. Professor, UENF, Brasil.

Marcelo Curitiba Espindula. Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. Pesquisador, EMBRA-

PA Rondônia, Brasil. Endereço: BR 364, Km 5,5, Zona Rural. Caixa Postal 127, Porto Velho, Rondônia. CEP 76.815-800. e-mail: marcelo.espindula@embrapa.br

Wanderson Souza Rabello. Engenheiro Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal e Doutorado em Produção Vegetal, UENF, Brasil. Doutorando, UENF, Brasil

RESPONSE OF 'PRINCESA' BEAN CULTIVATED IN ULTISOL AND TYPIC QUARTZIPSAMMENT TO NICKEL APPLICATION

Marcela Campanharo, Pedro Henrique Monnerat, Marcelo Curitiba Espindula and Wanderson Souza Rabello

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv *Princesa* cultivated in Ultisol and Typic Quartzipsamment to nickel application. The experiment was carried out in a greenhouse at the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brazil, using a 5×2 factorial scheme in a randomized block design with four replicates. Each experimental unit consisted of a 5kg capacity pot with four plants. Treatments consisted of foliar applications of five Ni concentrations (0, 20, 40, 60 and 100mg·l⁻¹) and two soils, a Typic Quartzipsamment and an Ultisol. Ni rates promoted toxicity symptoms in the primary leaves of the bean plants, charac-

terized by small red brown stains that did not progress in time, not interfering on plants growth. The foliar application of Ni increased levels of this micronutrient in stems, mature leaves, young leaves and pods of 'Princesa' bean, indicating its high mobility in the plant, but did not alter the urea contents, indicating no effect on the activity of urease enzyme. The dry mass of the shoots and the levels of other nutrients were not affected by foliar application of Ni. Plants grown in Ultisol showed higher growth and higher contents of K, B and Cu in mature leaves, young leaves and twigs, and of Ca and Zn in mature leaves and branches.

RESPUESTA DEL FRIJOL 'PRINCESA' CULTIVADO EN 'ARGISSOLO' Y 'NEOSSOLO' A LA APLICACIÓN DE NÍQUEL

Marcela Campanharo, Pedro Henrique Monnerat, Marcelo Curitiba Espindula y Wanderson Souza Rabello

RESUMEN

El objeto de este estudio fue evaluar la respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cv *Princesa* cultivado en un 'Argissolo' y un 'Neossolo' a la aplicación de níquel. El experimento fue conducido en invernadero en la Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil, empleando un esquema factorial 5×2 en un diseño de bloque al azar con cuatro réplicas. Cada unidad experimental consistió de un recipiente de 5kg de capacidad con cuatro plantas. Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares de cinco concentraciones de Ni (0, 20, 40, 60 y 100mg·l⁻¹) y dos suelos, un 'Argissolo' y un 'Neossolo'. Las dosis de Ni aplicadas produjeron síntomas de toxicidad en las hojas primarias caracterizados por pequeñas manchas

marón rojizo que no aumentaron en el tiempo y no interfirieron el crecimiento de la planta. La aplicación foliar de Ni incrementó el tenor de este micronutriente en tallos, hojas maduras, hojas jóvenes y vainas del frijo 'Princesa', indicando una alta movilidad en la planta, pero sin alterar el contenido de urea, indicando falta de efecto en la actividad de la enzima ureasa. La masa seca de los brotes y el nivel de otros nutrientes no fueron afectados por la aplicación foliar de Ni. Plantas crecidas en 'Argissolo' mostraron mayor crecimiento y mayores contenidos de K, B y Cu en hojas maduras, hojas jóvenes y ramitas, y de Ca y Zn en hojas maduras y ramas.

lerarem as altas concentrações de Ni em seus tecidos eram considerados até o final da década de 80. A sua essencialidade foi comprovada há pouco mais de duas décadas (Brown, 1987) e, ainda, não consta como micronutriente na Legislação Brasileira. Em contrapartida, o silício, que é um elemento apenas benéfico, consta na Legislação Brasileira como micronutriente (Decreto 4954-04, 2004).

As plantas absorvem somente uma pequena proporção de Ni proveniente do solo, mas, este metal deve receber uma atenção especial, pois sua mobilidade na

planta é alta quando comparada a de outros metais (Gerendás *et al.*, 1999). O seu acúmulo na planta faz-se diferentemente, sendo maior nas folhas que nos ramos, nos grãos que nas folhas, e nas partes jovens que nas partes adultas (Yu e Woo, 1999). Berton *et al.* (2006) observaram que a elevação da concentração de Ni no solo para 2,3mg·kg⁻¹ foi suficiente para aumentar a concentração desse metal nos grãos de feijoeiro comum cv Goiano Precoce acima de 5mg·kg⁻¹ de massa fresca, tornando-os impróprios para o consumo humano.

A função do Ni em organismos superiores ainda não é totalmente conhecida, embora seja essencial para animais e plantas. O Ni é importante catalisador de muitas enzimas fundamentais em rotas bioquímicas em vegetais, afetando a ciclagem de C e N e também dos metabólitos secundários. São conhecidas como Ni dependente as enzimas urease, monóxido de carbono desidrogenase, hidrogenase de Ni e metil coenzima M redutase (Nakagaki *et al.*, 2006). Dessa forma, o objetivo neste trabalho foi verificar a desempenho vegetativo do feijoeiro comum

(*Phaseolus vulgaris* L.) cv *Princesa*, cultivado em Argissolo e Neossolo à aplicação de Ni via foliar.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil (21°19'23"N, 41°10'40"O, altitude de 14m), no período de 03/04/2009 a 16/05/2009.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em arranjo fatorial 5×2, sendo cinco

TABELA I
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO
ÓRTICO TÍPICO E DE UM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO
DISTRÓFICO TB, CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ, 2008

	pH	CE	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
	H ₂ O 1:2,5	μS·m ⁻¹	mg·kg ⁻¹			mmol _c ·kg ⁻¹		
Neossolo Argissolo	5,03	79	136	67	39,4	3,9	1,5	36,7
	5,62	120	19	180	98,6	13,4	0,5	35,1
	Na	B	Mo	Mn	Zn	Cu	Fe	Ni
	mg·kg ⁻¹							
Neossolo Argissolo	0,04	0,1	0,027	13,9	1,2	0,73	47,1	0,12
	0,41	0,51	0,021	38,1	3,8	0,59	86,9	0,23
	S	C	MO	T	t	V	SB	m
	mg·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	g·kg ⁻¹	mmol _c ·kg ⁻¹		%	mmol _c ·kg ⁻¹	%
Neossolo Argissolo	3,77	8,6	14,9	82	47	55	45	3,22
	4,60	13,5	23,6	152	118	77	117	0,42

doses de Ni (0; 20; 40; 60 e 100mg·l⁻¹, aplicados via foliar na forma de cloreto de níquel hexahidratado) e dois solos, Neossolo Quartzarênico Órtico típico e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso com capacidade de 5kg de solo na base seca com quatro plantas.

Os solos utilizados foram coletados em profundidade de 0-20cm, destorroados e passados em peneira com malha de 6mm de diâmetro. As análises dos solos (Tabelas I e II) foram realizadas segundo Embrapa (2009).

Foi utilizado como material propagativo, sementes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Princesa, provenientes do Instituto Agrônômico de Pernambuco, Recife, Brasil. A semeadura foi realizada no dia 03/04/2009. Foram semeadas doze sementes por vaso, que continham em média 1,26mg·kg⁻¹ de Ni. Dez dias após a semeadura (DAS) foi feito o desbaste, mantendo-se cinco plantas mais vigorosas em cada vaso.

Vinte e três DAS no estágio de desenvolvimento V₄ (fase vegetativa em que a terceira folha trifoliada estava totalmente expandida e a planta iniciava a ramificação) foi feito o fornecimen-

to de Ni às plantas, realizado por meio de um pulverizador manual calibrado para dispensar ~170l·ha⁻¹, de modo a simular uma aplicação mecanizada no campo. Foi adicionado a cada solução de Ni o espalhante adesivo Adesil® na proporção de 0,2ml por litro.

Foram realizadas duas aplicações foliares (38 e 42 DAS) com uréia p.a. (solução contendo 10g·l⁻¹ de uréia) utilizando o mesmo procedimento adotado com o Ni.

Aos 43 DAS, 24h após a última aplicação foliar com solução contendo uréia, foram coletadas as quatro plantas de cada vaso no estágio de desenvolvimento R₆ (frutificação). Separaram-se as raízes, ramos, folhas maduras (basais), folhas jovens (apicais), vagens e nódulos para constituírem as amostras. Em seguida, esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 72°C, durante 48h, para determinação da massa seca das raízes, ramos, folhas e vagens. As raízes foram retiradas de cada vaso e lavadas com água corrente sobre peneira e bandeja. Os nódulos foram retirados das raízes e foram colocados em placas de Petri para secar em estufa conforme as outras amostras supracitadas para determinação da massa

TABELA II
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO E DE UM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO TB, CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ, 2008

Solos	Areia	Silte	Argila
	g·kg ⁻¹		
Neossolo	937	20	43
Argissolo	552	68	380

seca dos nódulos e também do número de nódulos.

As amostras conten-

do ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens foram moídas em moinho tipo Willey, usando peneira de 20 mesh e acondicionadas em recipientes plásticos hermeticamente. Foram determinados os teores de uréia, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, Mo e Ni nos ramos, folhas maduras e folhas jovens e os teores de Mo e Ni nas amostras de vagens.

Os teores de uréia foram determinados em material vegetal seco pelo método enzimático colorimétrico. Os teores de N, P e K foram determinados a partir do extrato da digestão sulfúrica. O N-orgânico, pelo método colorimétrico com reagente de Nessler, segundo Jackson (1965). O P por colorimetria, utilizando-se molibdato de amônio. O K por emissão em espectrofotômetro. Os demais nutrientes, exceto o B, foram determinados pelo extrato da digestão nítrico-perclórica. O Ca, Mg, Zn, Cu, Mn e Fe foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O S foi quantificado por turbidimetria, utilizando BaCl₂ e goma arábica. O cloreto foi determinado por titulometria com AgNO₃, após submeter o material a extração aquosa em banho-maria a 40°C por 1h e agitação. O boro

foi determinado pelo método colorimétrico utilizando Azometina-H, após incineração em mufla a 550°C por 4h (Malavolta, 1997).

O Mo e o Ni foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite após digestão via seca adaptados de Embrapa (2009).

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância e as diferenças verificadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para as comparações entre médias. Os efeitos de doses foram verificados pela análise de regressão, sendo os modelos matemáticos escolhidos segundo as equações com melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação (R²), pela significância dos coeficientes de regressão (β_i) e do teste F da regressão, ambos até 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

As doses de Ni aplicadas promoveram sintomas de toxidez apenas nas folhas primárias do feijoeiro, caracterizados por pequenas manchas bruno avermelhadas que não progrediram ao longo do tempo e não interferiram no crescimento posterior das plantas.

Os teores de Ni em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens aumentaram linearmente em função das doses de Ni aplicadas em ambos os solos estudados, com maior intensidade nas

folhas maduras no Argissolo (Figura 1a), ao passo que nas folhas jovens, ramos e vagens, a intensidade de aumento foi maior no Neossolo (Figura 1b, c, d). Tendo em vista que as folhas novas e vagens formaram-se após a aplicação foliar de Ni, o teor de Ni nessas partes da planta decorreu da translocação desse micronutriente das folhas mais velhas, principalmente. Verifica-se, portanto, que a translocação de Ni para as folhas jovens, ramos e vagens foi mais intensa nas plantas crescidas no Neossolo.

Isso indica que as plantas absorveram o Ni aplicado via foliar e que

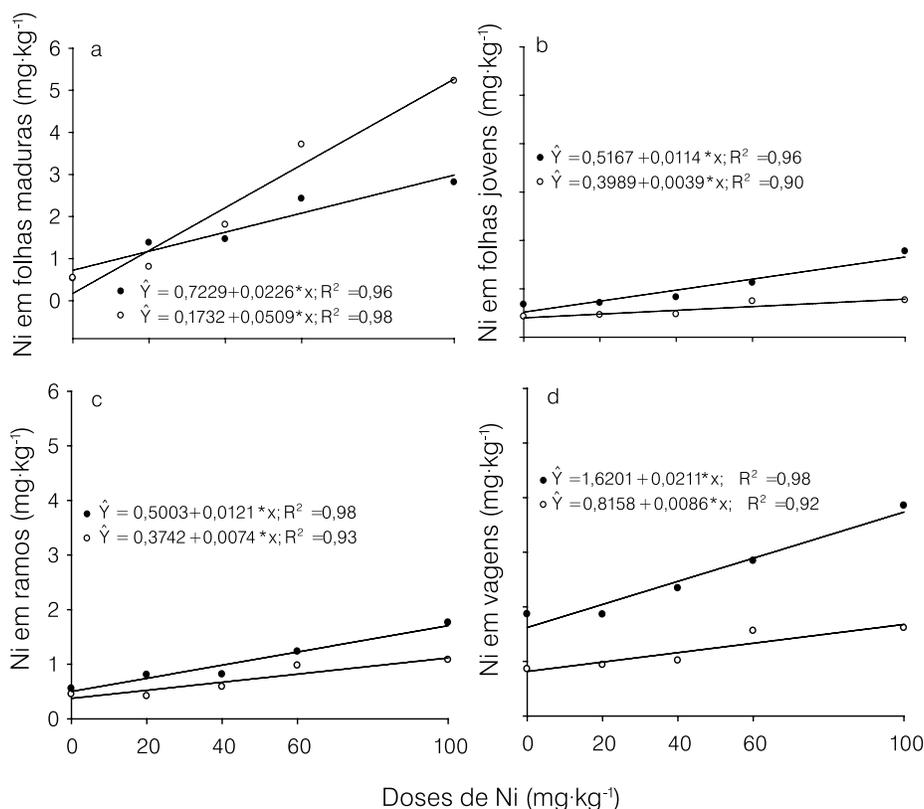


Figura 1. Teor de Ni em folhas maduras (a), folhas jovens (b), ramos (c) e vagens (d) em feijoeiro comum cv Princesa, submetido a doses de Ni, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico (●) e Argissolo Vermelho Amarelo (○).

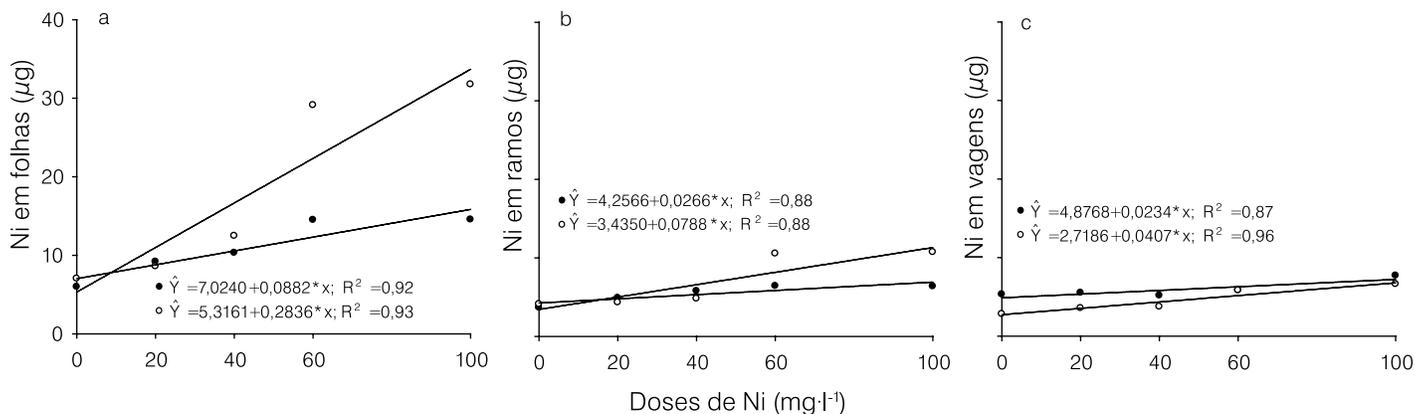


Figura 2. Conteúdo de Ni em folhas (a), ramos (b) e vagens (c) do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Princesa, submetido a doses de Ni, cultivado em Neossolo Quartzarênico Órtico típico (●) e Argissolo Vermelho Amarelo distrófico Tb (○).

TABELA III
MASSA SECA (G) E NÚMERO DE NÓDULOS DE QUATRO PLANTAS DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CV PRINCESA, CULTIVADAS EM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO E ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO TB, CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2009*

Solos	Folhas	Ramos	Vagens	Parte aérea	Raízes	Nódulos	Nº de nódulos
Neossolo	8,69 b	5,48 b	2,54 b	16,7 b	4,23 b	0,36	148 a
Argissolo	14,3 a	9,83 a	3,66 a	27,8 a	5,00 a	0,19	94 b
CV%	21,4	20,6	36,1	20,7	21,9	52,6	59,6

* Médias de cinco doses de Ni. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

amente em função das doses de Ni para ambos os solos estudados, com maior intensidade no Argissolo (Figura 2a, b), em decorrência do maior crescimento dessas partes da planta (Tabela III). O conteúdo de Ni nas vagens também aumentou linearmente em função das doses de Ni nos dois solos (Figura 2c). O conteúdo de Ni nas vagens de plantas cultivadas no Neossolo foi maior do que no Argissolo, pois, embora a matéria seca de vagens tenha sido maior no Argissolo (Tabela III), o teor de Ni nessas partes foi muito maior no Neossolo (Figura 1d). Verifica-se, portanto, que a transloca-

esse micronutriente apresenta elevada mobilidade no feijoeiro. Os locais de acúmulo variam conforme as espécies e também conforme a sensibilidade ou tolerância das plantas ao Ni. O Ni pode ser encontrado no apoplasto, vacúolo ou no próprio citoplasma das células das plantas (Kramer *et al.*, 2000).

O conteúdo de Ni em ramos e folhas aumentou line-

ção de Ni para as vagens foi maior no Neossolo.

O acúmulo de Ni em sementes requer regulação da mobilização e da retranslocação de Ni das folhas mais velhas durante o estágio de florescimento e enchimento de grãos (Kirkby e Romheld, 2007).

Os valores médios da massa seca das folhas, ramos, vagens, parte aérea, e raízes de plantas cultivadas

TABELA IV

TEORES DE URÉIA E MACRONUTRIENTES (g·kg⁻¹) EM FOLHAS MADURAS, FOLHAS JOVENS E RAMOS DE QUATRO PLANTAS DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CV PRINCESA, CULTIVADAS EM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO E ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO TB CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2009*

Solos	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	6,04 a	31,9 a	1,43 a	18,4 b	14,4 b	5,06 a	1,16 a
Argissolo	5,48 a	29,3 b	1,38 a	29,0 a	18,7 a	5,48 a	1,08 b
CV%	44,2	12,5	22,2	13,1	19,3	14,7	11,1
Folhas jovens							
Neossolo	3,14 a	31,7 a	2,40 a	16,5 b	11,4 a	4,58 a	1,22 a
Argissolo	2,98 a	34,1 a	2,54 a	26,0 a	12,3 a	4,27 a	1,26 a
CV%	35,6	12,9	20,2	14,4	19,1	15,5	15,1
Ramos							
Neossolo	1,22 a	11,0 a	1,29 a	8,05 b	5,75 b	2,81 a	0,53 a
Argissolo	1,22 a	10,5 a	1,38 a	13,2 a	6,49 a	2,37 b	0,51 a
CV%	37,2	22,8	15,3	12,3	14,2	14,9	34,2

* Médias de cinco doses de Ni. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA VI

TEORES DE MO EM FOLHAS MADURAS, FOLHAS JOVENS, RAMOS E VAGENS DE QUATRO PLANTAS DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CV PRINCESA, CULTIVADAS EM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO E ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO TB, CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2009*

Solos	Teor de Mo (mg kg ⁻¹)			
	Folhas maduras	Folhas jovens	Ramos	Vagens
Neossolo	0,37 a	0,42 a	2,42 a	0,46 a
Argissolo	0,21 b	0,27 b	0,67 b	0,30 b
CV%	56,2	48,6	33,5	23,0

* Médias de cinco doses de Ni. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA VIII

CONTEÚDOS DE MICRONUTRIENTES (MG) EM FOLHAS E RAMOS DE QUATRO PLANTAS DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CV. PRINCESA, CULTIVADAS EM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO E ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO TB, CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2009*

Solos	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	0,34 b	0,19 b	1,32 b	1,73 b	0,03 b
Argissolo	0,79 a	0,36 a	1,97 a	1,97 a	0,06 a
CV%	25,7	44,1	1,64	31,4	29,9
Ramos					
Neossolo	0,09 b	0,14 b	0,20 b	0,21 b	0,01 b
Argissolo	0,18 a	0,43 a	0,25 a	0,72 a	0,03 a
CV%	23,7	53,7	30,0	161,7	29,8

* Médias de cinco doses de Ni. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA V

TEORES DE MICRONUTRIENTES (mg·kg⁻¹) EM FOLHAS MADURAS, FOLHAS JOVENS E RAMOS DE QUATRO PLANTAS DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CV PRINCESA, CULTIVADAS EM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO E ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO TB, CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2009*

Solos	B	Zn	Mn	Fe	Cu
Neossolo	44,0 b	48,7 b	170 a	166 a	5,04 b
Argissolo	56,9 a	65,5 a	140 a	186 a	6,98 a
CV%	17,2	29,8	34,4	21,8	24,5
Folhas jovens					
Neossolo	39,1 b	55,4 a	166 a	40,4 a	2,63 b
Argissolo	56,0 a	70,3 a	137 b	44,4 a	3,51 a
CV%	13,9	40,9	28,9	20,6	14,7
Ramos					
Neossolo	16,5 b	24,6 b	42,1 a	5,12 a	1,72 b
Argissolo	18,1 a	43,4 a	25,5 b	5,90 a	2,41 a
CV%	9,78	37,8	53,7	21,8	19,8

* Médias de cinco doses de Ni. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA VII

CONTEÚDOS DE URÉIA E MACRONUTRIENTES (MG) EM FOLHAS E RAMOS DE QUATRO PLANTAS DE FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CV. PRINCESA, CULTIVADAS EM NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO ÓRTICO TÍPICO E ARGISSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO TB, CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2009*

Solos	Uréia	N	P	K	Ca	Mg	S
Neossolo	34,2 b	263 b	16,7 b	150 b	112 b	40,9 b	10,2 b
Argissolo	54,2 a	462 a	30,4 a	383 a	207 a	66,7 a	16,9 a
CV%	35,8	28,4	34,8	28,2	29,6	29,1	29,9
Ramos							
Neossolo	5,92 b	55,2 b	5,92 b	45,0 b	32,0 b	15,8 b	2,78 b
Argissolo	12,0 a	103,6 a	12,0 a	129 a	62,8 a	23,5 a	4,82 a
CV%	33,7	23,1	33,7	23,5	21,3	26,0	35,7

* Médias de cinco doses de Ni. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

em Argissolo foram maiores que os das plantas cultivadas no Neossolo (Tabela III), pela melhor condição ao crescimento dessas plantas proporcionada pelo Argissolo que, no geral, possui melhor nível de fertilidade (Tabela I).

Em se tratando da massa seca de nódulos e números de nódulos, esses foram superiores em plantas cultivadas em Neossolo (Tabela III). Apesar de não ter sido feito isolado das estirpes de bactérias diazotróficas pre-

sentes nos solos estudados, a maior nodulação pode ter ocorrido devido ao fato de a estirpe de rizóbio presente no Neossolo ser mais agressiva comparada àquela presente no Argissolo, bem como também o Neossolo (Tabela II) apresentar características físicas mais favoráveis a infecção das raízes do feijoeiro, por esse solo ser classificado como areia.

Os teores de uréia nas folhas maduras, folhas jovens e ramos não foram alterados pelas doses de Ni

nos dois solos estudados, os quais não diferiram entre si (Tabela IV), indicando que a quantidade da enzima urease pré-existente foi suficiente para manter baixo o teor de uréia existente na planta. Para promover a síntese e ativação da enzima urease é necessária a presença de uréia e de Ni (Gerendás *et al.*, 1998). As quantidades de uréia aplicadas via foliar 24h antes da coleta das plantas foram muito pequenas (1,7kg·ha⁻¹) e a originária da fixação simbiótica é também baixa. Essas condições podem justificar a ausência de efeito das doses de Ni na hidrólise da uréia.

A aplicação de Ni não afetou os teores de macronutrientes e dos demais micronutrientes em folhas e ramos das plantas em ambos os solos (Tabelas IV, V e VI).

Em folhas maduras de plantas cultivadas em Neossolo o teor de N foi superior ao de folhas de plantas cultivadas em Argissolo (Tabela IV); possivelmente, a fixação biológica de nitrogênio tenha sido maior no Neossolo que apresentou maior número de nódulos (Tabela III).

Os teores de K, B e Cu em folhas maduras, jovens e ramos das plantas cultivadas em Argissolo foram maiores do que os de plantas cultivadas em Neossolo; os teores de Ca e Zn foram também maiores nesse solo apenas nas folhas maduras e ramos (Tabelas IV e V). Com exceção do cobre, cuja disponibilidade é maior no Neossolo, os demais têm maior disponibilidade no Argissolo (Tabela I).

Os teores de Mg em ramos foi maior no Neossolo (Tabela IV), embora este solo contenha muito menos desse macronutriente (Tabela I). Nas folhas, não houve diferença entre os solos.

Os teores de S foram maiores em folhas maduras de plantas cultivadas em Neossolo e os teores observados em folhas jovens e ramos não apresentaram diferença significativa entre os solos estudados (Tabela IV).

O teor de Mn foi maior em folhas jovens e ramos de plantas cultivadas em Neossolo (Tabela V), embora os teores no solo sejam maiores no Argissolo (Tabela I). Esse resultado, aliado ao observado para Cu, sugere que o extrator de solo utilizado não seja o mais adequado para esses dois micronutrientes.

Os teores de Mo em folhas maduras, folhas jovens, ramos e vagens de plantas cultivadas em Neossolo foram maiores que os de plantas cultivadas em Argissolo (Tabela VI) e isso está em consonância com a análise de solo em que o Neossolo apresenta maior teor desse micronutriente (Tabela I). Os maiores teores de Mo foram encontrados em ramos (Tabela VI).

Os conteúdos de uréia, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Mn, Fe e Cu em folhas e ramos de plantas cultivadas em Argissolo foram superiores aos de plantas cultivadas em Neossolo (Tabelas VII e VIII). Estes resultados são devido, principalmente, à maior produção de massa dessas plantas no Argissolo (Tabela III), além de maiores teores de vários nutrientes.

Conclusões

A aplicação foliar de Ni aumentou os teores deste micronutriente em ramos, folhas maduras, folhas jovens e vagens do feijoeiro 'Princesa', indicando grande mobilidade deste micronutriente na planta, mas não alterou o teor de uréia, indicando ausência de efeito sobre a atividade da enzima uréase.

A produção de massa seca da parte aérea das plantas e os teores dos demais nutrientes avaliados não foram afetados pela aplicação de Ni via foliar.

As plantas cultivadas no Argissolo apresentaram maior crescimento e maiores teores de K, B e Cu em folhas maduras, folhas jovens e ramos e de Ca e Zn em folhas maduras e ramos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado à primeira autora.

REFERÊNCIAS

- Agriannual (2013) *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Agros comunicação/FNP Consultoria e Agroinformativos. 480 pp.
- Alves VG (2002) Resposta do feijoeiro a doses de nitrogênio no plantio e cobertura e à inoculação de sementes com rizóbio. Tese. Universidade Federal de Lavras. Brasil. 46 pp.
- Berton RS, Pires AMM, Andrade SAL, Abreu CAA, Ambrosino EJ, Silveira APD (2006) Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesq. Agropec. Brás.* 41: 1305-1312.
- Brown PH, Welch RM, Cary EE (1987) Nickel: A micronutriente essencial for higher plants. *Plant Physiol.* 85: 801-803.
- Decreto 4954-04 (2004) www.jusbrasil.com.br/legislacao/97977/decreto-4954-04. Cons. 20/08/2009.
- Embrapa (2009) *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*. 2ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, Brasil. 627 pp.
- Furtini Neto AE, Fernandes LA, Faquin V, Silva IRda, Accioly AMdeA (2000) Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. *Pesq. Agropec. Brás.* 35: 567-573.
- Gerendás J, Zhu Z, Sattelmacher B (1998) Influence of N and Ni supply on nitrogen metabolism and urease activity in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 49: 1545-1554.
- Gerendás J, Polacco JC, Freyermuth SK, Sattelmacher B (1999) Significance of nickel for plant growth and metabolism. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162: 241-256.
- Jackson ML (1965) *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, EEUU: 498 pp.
- Kikuti H, Andrade JMBde, Carvalho JGde, Morais ARde (2006) Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. *Bragantia* 65: 347-354.
- Kirkby EA, Römheld V (2007) *Micronutrientes na Fisiolo-*

gia de Plantas: Funções, Absorção e Mobilidade. Informações Agronômicas N° 118. Piracicaba, Brasil. 24 pp.

- Kramer U, Pickering IJ, Prince RC, Raskin IL, Salt de (2000) Subcellular localization and speciation of nickel in hyperaccumulator and non-accumulator *Thlaspi* species. *Plant Physiol.* 122: 1343-1353.
- Lago FJdo, Furtini Neto AE, Furtini IV, Ramalho MAP, Horta IdemF (2009) Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciênc. Agroecol.* 33: 440-447.
- Leal RM, Prado RdeM (2008) Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Rev. Brás. Ciênc. Agr.* 3: 301-306.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SAde (1997) *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações*. 2ª ed. Potafos. Piracicaba, Brasil. 319 pp.
- Malavolta E, Moraes MFde, Lavres Junior J, Malavolta M (2006) Micronutrientes em metais pesados - essencialidade e toxidez. Em Paterniani, E (Ed.) *Ciência, agricultura e sociedade*. EMBRAPA Informação Tecnológica. Brasília, Brasil. pp. 117-154.
- Nakagaki S, Friedermann GR, Caiu JMA (2006) Metil coenzima M redutase (MCR) e o fator 430 (F430). *Quím. Nova* 29: 1003-1008.
- Piccini DF (1990) *Toxidez do Níquel em Arroz e Feijão*. Tese. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, Brasil. 144 pp.
- Rosolem CA, Marubayashi OM (1994) *Seja o Doutor do seu Feijoeiro*. Informações Agronômicas N° 68. Piracicaba, Brasil. 16 pp.
- Silva FC (2002) *Eficiência de Uso de Nitrogênio por Seis Cultivares de Milho*. Tese. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 61 pp.
- Vieira NMB (2006) *Crescimento e Marcha de Absorção de Nutrientes no Feijoeiro cvs. BRS-MG Talismã e Ouro Negro, em Plantio Direto e Convencional*. Tese. Universidade Federal de Lavras. Brasil. 145 pp.
- Yu JW, Woo KC (1999) Correlation between the development of photorespiration and the change in activities of NH₃ assimilation enzymes in greening oat leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 18: 583-588.