

CULTIVO DO FEIJOEIRO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA SOB PROPORÇÕES VARIÁVEIS DE AMÔNIO E NITRATO⁽¹⁾

F. R. VALE⁽²⁾, E. M. F. GUAZELLI⁽³⁾,
A. E. FURTINI NETO⁽⁴⁾ & L. A. FERNANDES⁽⁵⁾

RESUMO

O experimento foi desenvolvido em solução nutritiva, em condições de casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, e teve, como objetivo, avaliar a influência de diferentes proporções de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ sobre o crescimento, nutrição e eficiência de utilização de nitrogênio na fase inicial de crescimento de três cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): Rio Tibagi, Eriparsa e Carioca. Mediu-se a resposta a 4 mmol L⁻¹ de nitrogênio, suprido nas proporções de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ de 0:4, 1:3, 2:2, 3:1 e 4:0, por meio da matéria seca de raiz e parte aérea, bem como os teores de P, S, Ca, Mg, K e a avaliação da eficiência de utilização de nitrogênio. Os cultivares de feijoeiro foram afetados pela relação $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$. A maior produção de matéria seca foi verificada com o suprimento de amônio e nitrato, em igual proporção. Com o predomínio de nitrato, os cultivares Carioca e Rio Tibagi mostraram maior e menor eficiência de utilização de N, respectivamente. O suprimento exclusivo de amônio, para os cultivares de feijoeiro estudados, resultou em sérios prejuízos ao sistema radicular, com conseqüente redução na absorção de nutrientes, notadamente de cálcio.

Termos de indexação: balanço $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$, eficiência de utilização de N, balanço iônico.

SUMMARY: CULTIVATION OF *Phaseolus vulgaris* UNDER VARIABLE AMMONIUM AND NITRATE RATIOS IN NUTRIENT SOLUTION

The experiment was carried out in nutrient solution, under greenhouse conditions at the Soil Science Department - Lavras Federal University, to evaluate the influence of different ammonium/nitrate proportions on the growth of Phaseolus vulgaris L. cultivars: Rio Tibagi, Eriparsa and Carioca. Nitrogen in the nutrient solution was supplied at 4 mmol L⁻¹ with different $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ proportions (0/4; 1/3; 2/2; 3/1 and 4/0). Throughout the growth period the pH of the nutrient solution was monitored. After harvesting, root and shoot dry matter were measured. The supply of both nitrogen forms to the nutrient solution in equal proportion resulted in higher

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em novembro de 1996 e aprovado em novembro de 1997.

⁽²⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽⁴⁾ Professor Adjunto, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽⁵⁾ Aluno do curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras. CEP 37200-000 Lavras (MG).

dry matter production and higher nitrogen utilization efficiency than when only one of the nitrogen forms was supplied. When nitrate supplied 50% or more of the nitrogen, Carioca and Rio Tibagi showed the highest and the lowest nitrogen utilization efficiency, respectively, while with ammonium supplying 50% the situation was reversed. The detrimental effect of supplying only ammonium resulted in a drastic effect to the root system, with reduction of nutrient absorption, especially calcium.

Index terms: balance $NH_4^+ : NO_3^-$, N utilization efficiency, ionic balance.

INTRODUÇÃO

É amplamente reconhecido o papel do nitrogênio no crescimento e desenvolvimento das plantas. Todavia, é discutível a validade da aplicação de nitrogênio para as leguminosas, uma vez que, nesse caso, tal nutriente pode ser suprido via fixação simbiótica.

A exemplo de outras leguminosas, o feijoeiro apresenta a peculiaridade de fixar nitrogênio da atmosfera do solo, porém sua eficiência de fixação é geralmente baixa, sendo a adubação nitrogenada sempre recomendada para atender às exigências da planta (Westermann et al., 1981). Assim, para uma produtividade máxima, torna-se necessária a aplicação de nitrogênio mineral. A manutenção da forma amoniacal, ao invés da nítrica, seria desejável, se considerar que o amônio não se perde facilmente por lixiviação ou desnitrificação (Silva, 1988). No entanto, tem-se observado redução no crescimento das plantas, quando supridas com amônio, sendo essa redução atribuída a efeitos combinados de acidificação da rizosfera, em virtude do menor influxo de ânions, comparado à absorção de cátions e ao acúmulo tóxico de amônio nos tecidos vegetais (Mengel & Kirkby, 1987; Sandoval-Villa et al., 1995).

O predomínio do suprimento de amônio sobre o nitrato tem acarretado aumentos nos níveis de P e S e redução nos teores de Ca, Mg e K absorvidos pelas plantas de várias espécies (Gashaw & Mugwira, 1981). A rápida assimilação de amônio pode, também, afetar seriamente o crescimento, a menos que a planta tenha elevado suprimento de carboidratos. Por isso, a maioria das espécies, quando supridas apenas com o amônio, não cresce tão bem como quando supridas com quantidades semelhantes de nitrogênio na forma de nitrato (Mengel & Kirkby, 1987).

A eficiência de utilização do íon amônio é aumentada, quando se procede à correção da acidez provocada pela absorção dessa fonte nitrogenada (Tolley-Henry & Raper, 1986). No estudo de Barker et al. (1986), plantas de feijoeiro, nutridas com o íon amônio, só tiveram seu crescimento aumentado quando se adicionaram ao meio de cultivo íons carbonatos. A calagem ou a correção da acidez de soluções nutritivas e a neutralização da acidez fisiológica são práticas que têm permitido o crescimento normal das plantas nutridas com amônio (Barker et al., 1986; Magalhães et al., 1995).

Além da presença de nitrato ou amônio, o feijoeiro se mostra também sensível à proporção dessas duas formas de nitrogênio no meio de cultivo. De fato, as maiores taxas de crescimento do feijoeiro têm sido observadas com o suprimento de ambas as formas de nitrogênio, notadamente com predominância do íon nitrato (Silva, 1994).

No estudo de McElhannon & Mills (1978), as maiores proporções de matéria seca de feijoeiro foram obtidas quando 75% ou mais do nitrogênio estava na forma de nitrato. Nesse estudo, o pico de absorção de N pelo feijoeiro foi observado, quando o amônio supriu 50% do nitrogênio, havendo, porém, uma redução na área foliar dessa espécie com este nível de amônio em solução nutritiva. Estudos com outras espécies confirmam o melhor crescimento das plantas em função da maior relação nitrato:amônio (Cao & Tibbitts, 1994; McPharlin & Aylmore, 1995).

O efeito benéfico do suprimento de ambas as formas de nitrogênio não é bem entendido. É provável que tal fato possa estar associado à melhor conservação de energia (Cox & Reisenauer, 1973) ou ao balanço mais equilibrado de cátions e ânions na planta (Kirkby, 1968).

Considerando o fato de que as plantas tendem a responder diferentemente às formas minerais de nitrogênio, este estudo objetivou avaliar os efeitos de nitrato e amônio, em diferentes proporções, no crescimento, nutrição e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro, na fase inicial de crescimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolveu-se o experimento em solução nutritiva, em condições de casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Utilizaram-se, neste estudo, os seguintes cultivares de feijoeiro: Eriparza, com ciclo de 60 a 70 dias e hábito de crescimento determinado; Rio Tibagi, com ciclo de 80 a 90 dias e hábito de crescimento indeterminado com guia curta, e Carioca, também com ciclo de 80 a 90 dias, mas com hábito de crescimento indeterminado com guia longa.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, sendo os tratamentos

distribuídos num arranjo fatorial 5 x 3 (5 proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ e três cultivares), com três repetições.

Com base em estudos anteriores, foram estabelecidas diferentes proporções de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$, considerando-se como ideal para o crescimento do feijoeiro o nível de 4 mmol L⁻¹ de N (Guazzelli, 1988).

Sementes dos cultivares Eriparza, Rio Tabagi e Carioca, provenientes de uma mesma planta e previamente testadas para verificar se eram homozigóticas, foram desinfestadas com etanol 70% (3 min), hipoclorito de sódio a 10 g L⁻¹ (3 min) e ácido clorídrico 0,01 mol L⁻¹ (2 min) e postas para germinar em rolos de papel de germinação umedecidos por capilaridade com $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,5 mmol L⁻¹, à temperatura ambiente.

Após sete dias, plantas selecionadas foram transferidas para casa de vegetação e acondicionadas em vasos (uma planta por vaso) de 1,6 L que continham solução nutritiva (Quadro 1), com todos os nutrientes reduzidos à metade da concentração, exceto o nitrogênio, que foi objeto de estudo. As diferentes proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ foram 0:4, 1:3, 2:2, 3:1 e 4:0. Após oito dias, as plantas foram transferidas para solução com concentração total, procedendo-se, após dez dias, à nova troca da solução. Durante todo o tempo de exposição às soluções com diferentes proporções de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$, o pH foi mantido em $6,0 \pm 0,5$, por meio do uso de HCl 0,1 mol L⁻¹ ou NaOH 0,1 mol L⁻¹. Ainda, durante o período de crescimento, a aeração foi mantida constante, assim como o volume de solução, por meio da adição de água destilada.

Após 23 dias de cultivo na solução com concentração total, as plantas foram colhidas, e o material vegetal, separado em raiz, caule e folha, foi

Quadro 1. Concentrações⁽¹⁾ correspondentes à força total dos nutrientes utilizados nas soluções de crescimento do feijoeiro para as diferentes proporções de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$, em solução com 4 mmol L⁻¹ de N

Nutriente	Proporção $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$				
	0:4	1:3	2:2	3:1	4:0
	----- mmol L ⁻¹ -----				
NO_3^-	4,0	3,0	2,0	1,0	0,0
NH_4^+	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0
P	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
K	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Ca	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Mg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
S	0,8	1,8	4,8	3,8	8,8

⁽¹⁾ As concentrações de micronutrientes foram (mg L⁻¹): B = 0,40; Cu = 0,016; Fe = 2,0; Mn = 0,40; Zn = 0,04 e Mo = 0,008. Os sais que forneceram os macronutrientes foram: KNO_3 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; K_2SO_4 ; CaSO_4 ; MgSO_4 e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

seco em estufa a 70°C, até atingir peso constante. A matéria seca correspondente a cada uma das partes foi moída (40 mesh) e armazenada em frascos de vidro para as determinações químicas.

A eficiência de utilização (EU) de N pela parte aérea do feijoeiro foi calculada pelo critério proposto por Siddiqi & Glass (1981), em que $EU = W^2/Q$, sendo EU = eficiência de utilização, g² g⁻¹; W = gramas de matéria seca da parte aérea e Q = quantidade de nitrogênio na parte aérea, em gramas.

No extrato obtido por digestão nitroperclórica do material vegetal, foram dosados os teores de P, por colorimetria; de Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; de K, por fotometria de chama, e de S, por turbidimetria. O teor de N total foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl, segundo Liao (1981), sendo a destilação e a titulação feitas segundo Bremner & Edwards (1965).

Todas as variáveis estudadas foram submetidas à análise de variância, tendo os cultivares sido comparados por teste de médias, e as proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$, por equações de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se diferença altamente significativa entre os cultivares estudados para as proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$, bem como para a interação das proporções com os cultivares, para a produção de matéria seca da parte aérea (Quadro 2 e Figura 1).

Para os três cultivares, verificou-se efeito quadrático das proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ sobre a produção de biomassa da parte aérea (Figura 1). Considerando uma única fonte nitrogenada, os cultivares, quando supridos com nitrato, apresentaram produção de biomassa cerca de duas vezes superior à dos cultivares supridos exclusivamente com amônio. O maior crescimento das plantas supridas com nitrato, em comparação àquelas supridas com amônio, também foi observado para o feijoeiro por Timpo & Neyra (1983). Todavia, a superioridade da forma nítrica sobre a amoniacal não é, muitas vezes, tão evidente, conforme resultados de Jarvis (1987). Na verdade, certas espécies preferem a forma amoniacal (Griffith & Streeter, 1994). É interessante ressaltar que, na preferência à forma amoniacal, têm-se observado diferenças entre cultivares de uma mesma espécie (Krajina et al., 1973). Nesse sentido, espécies ou cultivares de plantas que crescem bem em solos ácidos, com reduzida nitrificação, tendem a preferir a forma amoniacal à nítrica (Kirkby, 1968).

No presente estudo, o crescimento dos três cultivares foi igualmente reduzido pelo suprimento de amônio como fonte exclusiva de N (Figura 1), o que pode ser indicativo da baixa tolerância desses cultivares à acidez do solo. Entretanto, quando o íon nitrato constituiu a única fonte de nitrogênio, a produção de matéria seca do cultivar Rio Tibagi foi menor que a dos outros dois (Quadro 2).

Quadro 2. Produção de matéria seca, concentração de nitrogênio e eficiência de utilização de nitrogênio pela parte aérea dos cultivares de feijoeiro estudados

NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻	Matéria seca da parte aérea			Concentração de N na parte aérea			Eficiência de utilização de N		
	Rio Tibagi	Eriparza	Carioca	Rio Tibagi	Eriparza	Carioca	Rio Tibagi	Eriparza	Carioca
	g			g kg ⁻¹			g ² g ⁻¹		
0:4	3,0 b ⁽¹⁾	3,92 a	3,85 a	27,1 a	26,5 a	29,6 a	110 b	147 a	130 a
1:3	4,38 b	5,02 a	5,02 a	33,0 a	27,2 b	24,5 b	131 b	184 b	200 a
2:2	4,61 b	5,03 a	5,03 a	23,1 a	24,4 a	23,6 a	198 a	206 a	206 a
3:1	3,69 a	3,96 a	3,96 a	19,4 b	22,6 ab	24,6 a	189 a	175 a	152 b
4:0	1,63 a	1,79 a	1,55 a	33,3 a	34,2 a	35,5 a	48 ab	52 a	44 b

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada variável, não diferem entre si (Tukey, 5%).

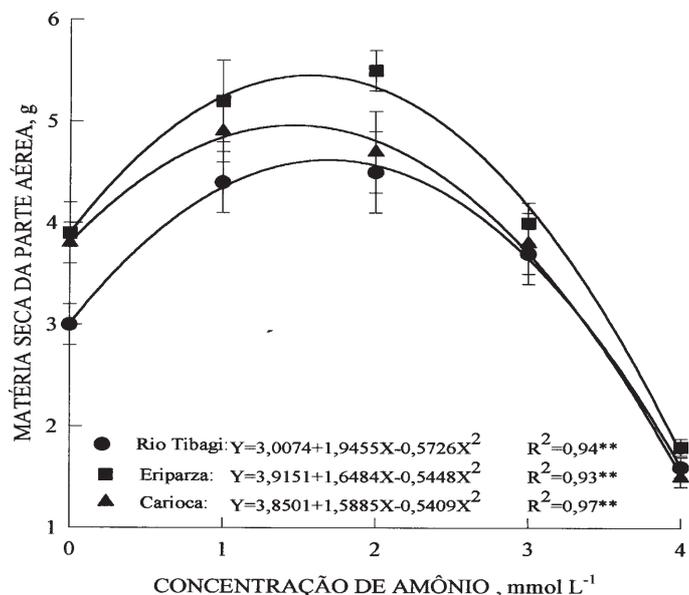


Figura 1. Produção de matéria seca na parte aérea de três cultivares de feijoeiro em função das proporções de NH₄⁺:NO₃⁻ na solução nutritiva.

Freqüentemente, a redução no crescimento de plantas supridas exclusivamente com amônio é atribuída à acidificação da rizosfera (Runge, 1983). Neste estudo, com o fornecimento exclusivo de amônio, observou-se acentuado aumento da acidez da solução nutritiva, cuja magnitude de decréscimo foi igual para os três cultivares (Figura 2, exemplificando o cultivar Carioca, uma vez que os demais mostraram comportamento semelhante).

Ressaltando a importância da acidificação, Maynard & Barker (1969) observaram que o efeito prejudicial do amônio no crescimento de feijão, pepino, milho e ervilha foi neutralizado pelo tamponamento da solução externa. Resultados semelhantes foram

obtidos por Sandoval-Villa et al. (1995), em trigo, e por Magalhães et al. (1995), em milho. Com a acidificação do meio externo, o crescimento das raízes é severamente afetado, o que acarreta redução na absorção de certos nutrientes, incluindo a própria absorção e assimilação do amônio (Tolley-Henry & Harper, 1986).

Observa-se, ainda na figura 1, que o aumento na proporção de amônio na solução, até esta forma alcançar cerca de 40% de nitrogênio suprido, resultou em elevação na produção de matéria seca da parte aérea. O ganho foi, em média, de 45, 20 e 30%, para os cultivares Rio Tibagi, Eriparza e Carioca, respectivamente. O efeito benéfico da presença de

amônio juntamente com o nitrato, com o amônio alcançando de 25 a 50% do nitrogênio total suprido para o feijoeiro, é também confirmado por McElhannon & Mills (1978). A maior absorção de nitrogênio e de outros nutrientes, associada a uma menor taxa de respiração (Lips et al., 1990), nessas condições, podem explicar tal comportamento.

O suprimento de ambas as formas de N, em igual proporção, a exemplo do suprimento exclusivo de amônio, resultou em sensível decréscimo de pH da solução externa (Figura 2). Desse modo, parece que a acidificação induzida pelo amônio não constitui a única causa do efeito prejudicial dessa forma nitrogenada às plantas. Na condição de fornecimento do nitrogênio em igual proporção, as plantas dos cultivares de feijoeiro apresentaram as maiores produções de biomassa da parte aérea (Quadro 2). Cao e Tibbitts (1994) obtiveram resultados semelhantes, quando cultivaram plantas de batata em solução nutritiva.

O fato de o cultivar Rio Tibagi apresentar menor crescimento que os demais, quando a forma nítrica perfazia 40% ou mais do N, mostra que esse cultivar de feijoeiro deverá apresentar menores produções de biomassa em solos onde a nitrificação é mais intensa. Ressalta-se que esse cultivar também apresenta a menor eficiência de utilização de nitrogênio nessas condições (Quadro 2).

Para a produção de matéria seca de raiz, não se observaram diferenças estatísticas entre os cultivares estudados, enquanto as diferentes proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ afetaram a produção de matéria seca do sistema radicular. O efeito quadrático médio para os três cultivares (Figura 3) foi semelhante ao já observado para produção de matéria seca da parte aérea. O fornecimento exclusivo de amônio resultou em raízes curtas, engrossadas e escurecidas, o que, possivelmente, acarretou redução na capacidade de absorção de nutrientes, até do próprio amônio. Tais sintomas foram, também, relatados por McElhannon & Mills (1978) em *P. lunatus* L. Magalhães et al. (1995) observaram, também, redução no crescimento radicular de plantas de milho, quando se usou somente a fonte nitrogenada amoniacal em comparação com o fornecimento de NH_4NO_3 .

Houve tendência da eficiência de utilização de N relacionar-se com a produção de matéria seca da parte aérea (Quadro 2 e Figura 4), uma vez que esses parâmetros apresentam o mesmo efeito quadrático em função das proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$. Todavia, o cultivar Carioca foi o que apresentou maior e menor eficiência de utilização de N com o predomínio de nitrato ou amônio na solução, respectivamente (Quadro 2). Comportamento distinto foi observado para o cultivar Rio Tibagi, que mostrou maior eficiência de utilização de nitrogênio com o predomínio de amônio na solução (Quadro 2). O cultivar Eriparza apresentou comportamento intermediário.

Apesar de a eficiência de utilização ser apenas um dos parâmetros que medem a eficiência no uso de nitrogênio, deve-se ressaltar que o índice observado sob o predomínio de nitrato na solução está de acordo

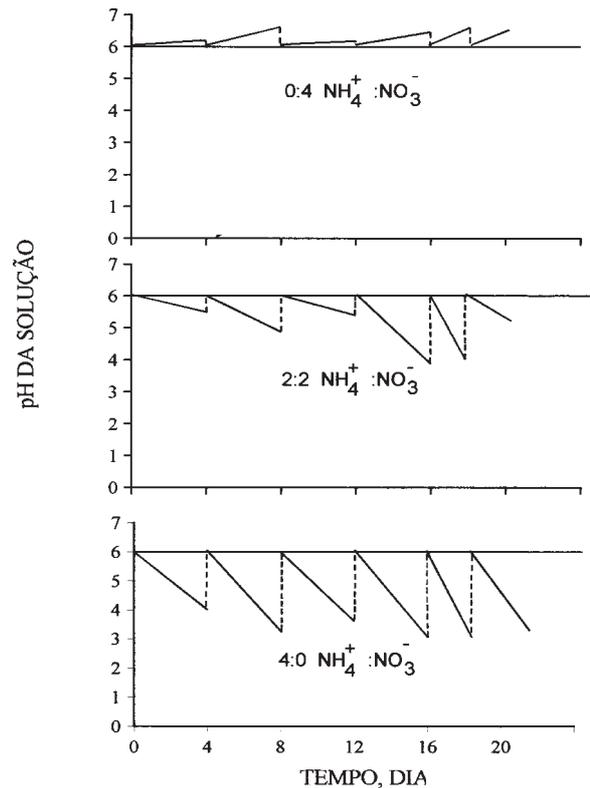


Figura 2. Variação de pH na solução nutritiva durante o crescimento do cultivar Carioca, em diferentes proporções de $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$. A linha tracejada representa a correção do pH para o valor original ($\text{pH } 6,0 \pm 0,5$).

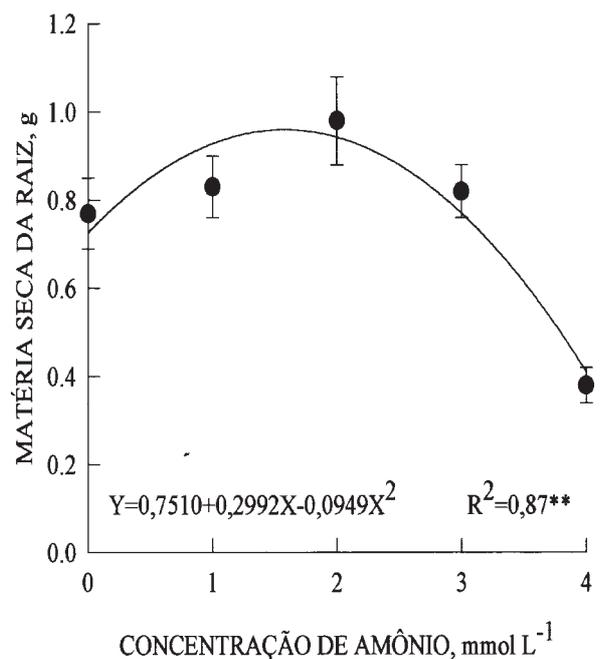


Figura 3. Produção de matéria seca da raiz de três cultivares de feijoeiro em função das proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ na solução nutritiva.

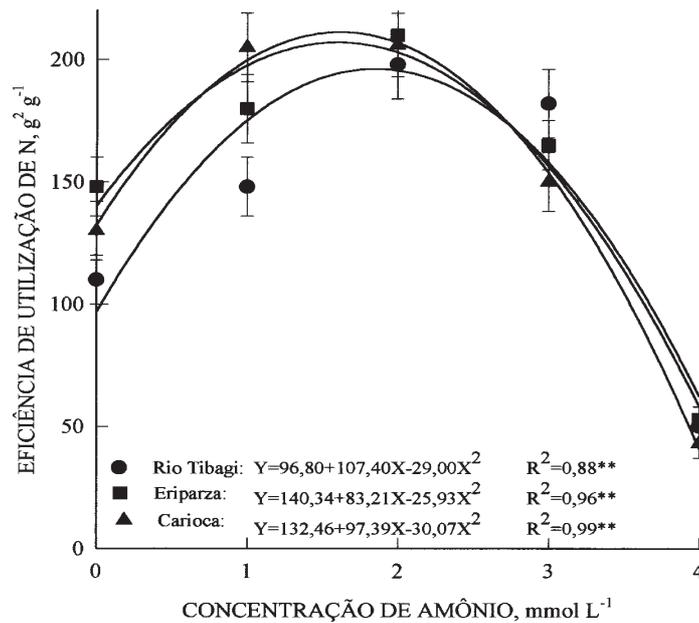


Figura 4. Eficiência de utilização de nitrogênio por três cultivares de feijoeiro, submetidos a diferentes proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ na solução nutritiva.

com a maior produção de grãos no campo, obtida por Silva (1988), para o cultivar Carioca, em relação ao Rio Tibagi. Contudo, é preciso cautela ao correlacionar eficiência de utilização de N na fase inicial de crescimento com a produção de grãos, principalmente quando se comparam cultivares de ciclos diferentes. Em adição a tal fato, algumas plantas, em função do seu estágio de desenvolvimento, têm preferência por determinada fonte de N que muda durante o seu ciclo, como verificado por Abbles et al. (1995) em *Allium cepa* L., cujas plantas, nos estádios iniciais do ciclo de desenvolvimento, tinham preferência por N-amoniacoal e, em estádios mais avançados, por N-nítrico.

A composição química da parte aérea e da raiz dos três cultivares de feijoeiro encontra-se nos quadros 2, 3 e 4, respectivamente. Como a variação na composição química da planta pode ser atribuída ao fato de se tratar de três cultivares distintos, comparou-se estatisticamente, por meio de equações de regressão, apenas o efeito das proporções $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ na composição química das plantas. O aumento no suprimento de amônio ocasionou redução na concentração de cátions (C) e aumento na concentração de ânions (A) na parte aérea das plantas de feijoeiro (Quadro 3). Como consequência, a diferença C-A decresceu, significativamente, com o aumento da proporção $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ (Quadro 3). O valor de C-A é um bom indicador da forma de N predominantemente disponível para as plantas (Troelstra, 1983), o que também ficou evidenciado nesse estudo.

Essa variação no balanço de cátions/ânions demonstra o destacado papel do N na manutenção do balanço iônico nas plantas. Na nutrição predominantemente nítrica, a absorção de ânions

tende a suplantar a de cátions, enquanto, na nutrição predominantemente amoniacoal, a absorção total de cátions excede a de ânions e, nesse caso, a eletroneutralidade é mantida pelo efluxo de íons H^+ (Figura 2) (Kirkby & Hughes, 1970). Senna et al. (1992) observaram redução na concentração de cátions com o aumento do fornecimento de amônio em citros.

A predominância do íon amônio na solução nutritiva acarretou redução na aquisição de cálcio e magnésio pelas plantas de feijoeiro (Quadros 3 e 4). Sabe-se que a absorção de cálcio ocorre, quase que exclusivamente, nas partes novas das raízes (Mengel & Kirkby, 1987), exigindo, portanto, constante proliferação do sistema radicular.

A nutrição predominantemente amoniacoal resultou em prejuízo à aquisição de K pelas plantas de feijoeiro (Quadros 3 e 4), conforme observado para o milho por Vale et al. (1984). Contudo, tal redução foi menos severa que a observada para o cálcio. No campo, espera-se que a absorção de K seja mais fortemente limitada pela restrição de crescimento do sistema radicular pelo fornecimento de amônio, por serem, em condições de cultivo em solução nutritiva, praticamente eliminados os fatores que restringem a difusão desse cátion no solo.

Deve-se considerar, ainda, que o efeito antagônico do amônio sobre a absorção de cátions (Abbles et al., 1995), especialmente K, Ca e Mg, nem sempre apresenta a mesma magnitude. Espécies tolerantes ao amônio são capazes de manter elevada absorção de K sob a nutrição amoniacoal, enquanto as não-tolerantes são incapazes de fazê-lo (Gigon & Rorison, 1972).

Quadro 3. Composição química da parte aérea de três cultivares de feijoeiro, após 23 dias de crescimento em solução nutritiva com 4 mmol de N L⁻¹, com diferentes proporções de NH₄⁺:NO₃⁻ (média de três repetições)

NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻	Cátion acumulado			Total de cátions (C)	Ânion acumulado		Total de ânions (A)	C-A
	K	Ca	Mg		PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²		
mmol kg ⁻¹								
Cultivar Rio Tibagi								
0:4	1.015	501	117	1.633	137	70	207	1.426
1:3	1.006	388	110	1.504	166	87	253	1.251
2:2	869	270	92	1.231	148	80	228	1.003
3:1	856	199	75	1.130	173	127	300	830
4:0	900	135	75	1.110	264	134	398	712
Cultivar Eriparza								
0:4	1.008	460	112	1.580	169	47	216	1.364
1:3	956	385	108	1.452	187	62	249	1.203
2:2	940	306	108	1.354	190	81	271	1.083
3:1	827	189	77	1.090	177	116	293	797
4:0	745	89	90	924	250	133	383	541
Cultivar Carioca								
0:4	1.520	715	152	2.387	193	75	268	2.119
1:3	923	475	125	1.523	181	91	272	1.251
2:2	897	284	102	1.283	174	100	274	1.009
3:1	908	246	92	1.246	203	134	337	909
4:0	809	176	119	1.104	227	159	386	718

Quadro 4. Composição química da raiz de três cultivares de feijoeiro, após 23 dias de crescimento em solução nutritiva com 4 mmol de N L⁻¹, com diferentes proporções de NH₄⁺:NO₃⁻ (média de três repetições)

NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻	Cátion acumulado			Total de cátions (C)	Ânion acumulado		Total de ânions (A)	C-A
	K	Ca	Mg		PO ₄ ⁻³	SO ₄ ⁻²		
mmol kg ⁻¹								
Cultivar Rio Tibagi								
0:4	1.856	220	212	2.288	613	231	844	1.444
1:3	1.759	180	187	2.126	668	275	943	1.183
2:2	1.743	137	79	1.959	697	231	928	1.031
3:1	1.249	132	62	1.443	487	237	724	719
4:0	1.223	52	58	1.333	558	247	805	528
Cultivar Eriparza								
0:4	1.654	242	171	2.067	464	112	576	1.491
1:3	1.767	212	129	2.150	729	191	920	2.150
2:2	1.602	170	96	1.868	681	184	865	1.003
3:1	874	135	67	1.176	539	200	739	437
4:0	826	55	62	943	552	172	723	220
Cultivar Carioca								
0:4	1.851	282	287	2.420	635	225	860	1.560
1:3	1.685	215	162	2.062	787	253	1.040	1.022
2:2	1.782	150	79	2.011	710	228	938	1.073
3:1	1.292	135	67	1.494	652	234	886	608
4:0	1.213	107	67	1.387	532	216	748	639

CONCLUSÕES

1. O fornecimento de amônio e nitrato, em igual proporção, resultou em máximo crescimento do feijoeiro e em máxima eficiência de utilização de nitrogênio, para os três cultivares estudados.

2. Quando se alterou a predominância da forma nitrogenada na solução nutritiva, os cultivares estudados diferiram quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. Com predomínio de nitrato, os cultivares Carioca e Rio Tibagi mostraram maior e menor eficiência de utilização de nitrogênio, respectivamente, enquanto, com o predomínio de amônio, o comportamento foi exatamente o inverso.

LITERATURA CITADA

- ABBLES, C.; PARENT, L.E.; KARAM, A. & ISFAN, D. Effect of $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios on growth and nitrogen uptake by anions. *Plant Soil*, 171:289-296, 1995.
- BARKER, A.V.; VOLK, R.Y. & JACKSON, W.A. Growth and nitrogen distribution patterns in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to ammonium nutrition: I. Effects of carbon and acidity control. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30:228-232, 1986.
- BREMNER, J.M. & EDWARDS, A.P. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:504-507, 1965.
- CAO, W. & TIBBITTS, T.W. Response of potatoes to solution pH levels with different forms of nitrogen. *J. Plant Nutr.*, 17:109-126, 1994.
- COX, W.J. & REISENAUER, H.M. Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate or ammonium or both. *Plant Soil*, 38:363-380, 1973.
- GASHAW, L. & MUGWIRA, L.M. Ammonium-N and nitrate-N effects on the growth and mineral compositions of triticale, wheat, and rye. *Agron. J.*, 73:47-51, 1981.
- GIGON, A. & RORISON, I.H. The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and ammonium nitrogen. *J. Ecol.*, 60:93-102, 1972.
- GRIFFITH, S.M. & STREETER, D.J. Nitrate and ammonium nutrition in ryegrass: changes in growth and chemical composition under hydroponic conditions. *J. Plant Nutr.*, 17:71-81, 1994.
- GUZZELLI, E.M.F.M. Efeito de nitrato e amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na fase inicial de crescimento. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 112p. (Tese de Mestrado)
- JARVIS, S.C. The effects of low, regulated supplies of nitrate and ammonium nitrogen on the growth and composition of perennial ryegrass. *Plant Soil*, 100:99-112, 1987.
- KIRKBY, E.A. Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism. *Soil Sci.*, 105:133-141, 1968.
- KIRKBY, E.A. & HUGHES, A.D. Some aspects of ammonium and nitrate nutrition in plant metabolism. In: KIRKBY, E.A. ed. *Nitrogen nutrition of the plant*. England, University of Leeds, 1970. p.69-77.
- KRAJINA, V.J.; NODOC-JONES, S. & MELLOR, G. Ammonium and nitrate in the nitrogen economy of some conifers growing in Douglas-fir communities of Pacific Northwest of America. *Soil Biol. Biochem.*, 5:143-147, 1973.
- LIAO, C.F.H. Devarda's alloy method for total nitrogen determination. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:852-855, 1981.
- LIPS, S.H.; LEIDI, C.O.; SILVERBUSH, M.; SOARES, M.I.M. & LEWIS, O.E.M. Physiological aspects of ammonium and nitrate fertilization. *J. Plant Nutr.*, 13:1271-1289, 1990.
- MAGALHÃES, J.R.; HUBER, D.M. & TSAI, C.Y. Influence of the form of nitrogen on ammonium, amino acids and N-assimilation enzyme activity in maize genotypes. *J. Plant Nutr.*, 18:747-763, 1995.
- MAYNARD, D.N. & BARKER, A.V. Studies on the tolerance of plants to ammonium nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 94:235-239, 1969.
- McPHARLIN, I.R. & AYLMOORE, P.M. Nitrogen requirements of lettuce under sprinkler irrigation and trickle fertigation on a spearwood sand. *J. Plant. Nutr.*, 18:219-241, 1995.
- McELHANNON, W.S. & MILLS, H.A. Influence of percent $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ on growth, N absorption, and assimilation by lima beans in solution culture. *Agron. J.*, 70:1027-1032, 1978.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Nitrogen. In: MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4 ed. Bern, International Potash Institute, 1987. p.347-384.
- RUNGE, M. Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In: LANGE, O.L. ed. *Physiology plant ecology III*. Berlin, Springer Verlag, 1983. p.163-200. (Encyclopedia of Plant Physiology, New Serie, 12c)
- SANDOVAL-VILLA, M.; ALCANTAR-GONZALES, G. & TIRADO-TORRES, J.L. Use of ammonium in nutrient solutions. *J. Plant Nutr.*, 18:1449-1457, 1995.
- SENNA, M.D.; BORRAS, R.; LEGAZ, F. & PRIMO-MILLO, E. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral and yield of citrus. *Plant Soil*, 147:13-23, 1992.
- SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, 4:289-302, 1981.
- SILVA, A.J. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 85p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, C.A. Efeito da correção da acidez e de fontes de nitrogênio na nitrificação do solo e no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. 104p. (Tese de Mestrado)
- TIMPO, E.E. & NEYRA, C.A. Expression of nitrate and nitrite reductase activities under various forms of nitrogen nutrition in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol.*, 72:71-75, 1983.
- TOLLEY-HENRY, L. & RARPER, C.D. Utilization of ammonium as nitrogen source. *Plant Physiol.*, 82:54-60, 1986.
- TROELSTRA, S.R. Growth of *Plantago lanceolata* and *Plantago major* on $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ medium and the estimation of the utilization of nitrate and ammonium from ionic balance aspects. *Plant Soil*, 70:183-197, 1983.
- VALE, F.R.; NOVAIS, R.F.; SANT'ANA, R. & BARROS, N.F. Absorção e translocação de fosfatos em milho com nitrato ou amônio e pré-tratado com alumínio. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:219-222, 1984.
- WESTERMANN, D.T.; KLEINKOFF, G.E.; PORTER, L.K. & LEGGETT, G.E. Nitrogen sources for bean seed production. *Agron. J.*, 73:660-664, 1981.