

FONTES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM FEIJOEIRO IRRIGADO SUBMETIDO A TRÊS NÍVEIS DE ACIDEZ DO SOLO

Sources and methods of nitrogen fertilizer application in irrigated beans under three levels of soil acidity

Morel Pereira Barbosa Filho¹, Nand Kumar Fageria², Osmira Fátima da Silva³

RESUMO

Em sistemas conservacionistas de preparo do solo, em que não se efetua o revolvimento da camada superficial, os fertilizantes nitrogenados e corretivos têm sido aplicados na superfície do solo; porém, pouco se conhece a respeito do efeito dessa prática sobre a produtividade do feijoeiro irrigado. Com esse objetivo, foi avaliado, por três anos consecutivos, o efeito da aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura, fonte uréia ou sulfato de amônio, incorporados ou distribuídos na superfície do solo, em três níveis de acidez do solo desenvolvidos pela aplicação de 0, 3,5 e 7,0 Mg ha⁻¹ de calcário, comparados com a testemunha sem aplicação de N de cobertura. O N foi parcelado em duas aplicações, metade aos 15 dias após a emergência (dae) das plantas e metade aos 30 dae. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo as doses de calcário dispostas nas parcelas e os tratamentos de N nas subparcelas, em triplicatas. A avaliação dos tratamentos foi baseada em critérios econômicos, produtividade de grãos, absorção de N pelas plantas e pH do solo. O aumento médio de rendimento de grãos devido à aplicação de N em cobertura foi de 13%, não havendo, na média das três safras, diferença entre uréia e sulfato de amônio, bem como entre os métodos de aplicação: superficial e incorporado ao solo. Houve resposta positiva e linear ao calcário e não ocorreu interação significativa entre N e calcário, em relação à produtividade de grãos e acumulação de N na planta. As aplicações sucessivas de N diminuíram os valores de pH em 0,2 unidades na camada de 0-10 cm. A aplicação de N fonte uréia na superfície do solo, seguida de irrigação, é a opção mais econômica de adubação nitrogenada em cobertura para a cultura do feijoeiro irrigado.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris* L., fertilizantes nitrogenados calagem, rotação de culturas, incorporação de nitrogênio.

ABSTRACT

In conservation tillage systems, where the revolving of the superficial layer does not occur, the nitrogen fertilizers and lime have been applied in the soil surface, however little is known about this practice on irrigated bean yield. The objective of this study was to evaluate, for three consecutive years, the effect of top dressing of 80 kg ha⁻¹ of N, sources of urea or ammonium sulfate, incorporated or distributed in the soil surface, in three levels of soil acidity developed by the application of 0, 3.5 and 7 Mg ha⁻¹ of lime, compared with on N application. Half of the N was applied on the 15th day after the plant emergency and the other half on the 30th day after the plant emergency. The experimental design was randomized split plot, being the lime doses assigned to the plots and the treatments of N to the subplots, with three replications. The treatments were evaluated based on grain yield, N uptake, soil pH and economical criteria. The average grain yield increased due to the application of top dressing of N in 13%, not having, in the average of the three crops, differences between urea and ammonium sulfate, as well as between the application methods, superficial and incorporation to the soil. There was linear positive answer to the lime and no significant interaction between N and lime, in relation to grain yield and N accumulation in the plant. The successive N applications reduced the pH in 0.2 units at 0-10 cm depth. The application of N urea source in the soil surface, followed by irrigation, is the most economical option of nitrogen fertilization for the irrigated bean crop.

Index terms: *Phaseolus vulgaris* L., nitrogen fertilizer, liming, crop rotation, nitrogen incorporation.

(Recebido para publicação em 5 de maio de 2003 e aprovado em 27 de outubro de 2003)

1. Engenheiro Agrônomo, Doutor, Embrapa Arroz e Feijão, Rod. Goiânia/Nova Veneza, Km 12, Caixa Postal 179, 75375-000 - Santo Antônio de Goiás, GO. morel@cnpaf.embrapa.br

2. Engenheiro Agrônomo, Ph.D, Embrapa Arroz e Feijão, Bolsista do CNPq.

3. Economista, Bacharel, Embrapa Arroz e Feijão.

INTRODUÇÃO

O feijoeiro é uma das principais culturas da entressafra de sistemas irrigados nas Regiões Central e Sudeste do Brasil. A adubação nitrogenada de cobertura constitui-se num dos mais freqüentes questionamentos, especialmente em relação a fontes e ao método de aplicação. As fontes de N mais utilizadas na agricultura brasileira são uréia e sulfato de amônio. A uréia, pelas suas características e reação no solo, apresenta grande potencial de perda de NH_3 , por volatilização (KELLER e MENGEL, 1986; LARA e TRIVELIN, 1990) e o sulfato de amônio, além da possibilidade de perda de NH_3 apresenta alta capacidade de acidificação do solo (BARBOSA FILHO et al., 2001). A utilização dessas fontes de nitrogênio requer, portanto, que as técnicas de manejo da aplicação sejam aperfeiçoadas, de modo que os produtores possam obter o máximo benefício econômico ao utilizarem esses fertilizantes.

A aplicação de nitrogênio em cobertura para diferentes culturas tem sido, em geral, uma prática de manejo muito eficiente (rendimento/unidade de N aplicado). A eficiência dos fertilizantes nitrogenados, entretanto, tem sido menor quando esses são aplicados na superfície, sem a imediata incorporação ao solo, como é demonstrada em numerosas publicações (FOX et al., 1986; HOWARD e TYLER, 1989; STECKER et al., 1993; HOWARD e ESSINGTON, 1998). A explicação é fundamentada nos processos de perdas do nitrogênio por volatilização da amônia.

Por outro lado, quando a eficiência dos fertilizantes nitrogenados (principalmente uréia e sulfato de amônio) é comparada em termos de produtividade e não de perdas por volatilização de NH_3 para a atmosfera, são encontrados na literatura inúmeros trabalhos de pesquisa por meio dos quais demonstra-se que a uréia em cobertura pode ser tão eficiente quanto outras fontes de nitrogênio, desde que ocorra uma precipitação ou se proceda à irrigação após a sua aplicação (KELLER e MENGEL, 1986). Vários fatores devem ser considerados nessas situações; primeiro, é necessário que o nitrogênio seja aplicado na época mais apropriada e de maior exigência pelas plantas, pois o nitrogênio que não é absorvido é perdido de alguma forma, seja por lixiviação ou volatilização. Segundo, a presença das plantas na época da aplicação pode também reduzir as perdas por volatilização, que são devidas à arquitetura da planta do feijoeiro que, ao permitir a perfeita cobertura da superfície do solo, favorece a absorção do NH_3 presente na atmosfera abaixo do dossel das folhas infe-

riores das plantas. Terceiro, deve-se considerar que a eficiência da adubação nitrogenada é maior quando ocorre precipitação ou se realiza uma irrigação logo após sua aplicação.

Uma prática como essa, que favorece a penetração do N no solo, é perfeitamente factível nas condições de cultivo do feijoeiro irrigado no inverno e, além disso, favorece a incorporação do fertilizante ao solo abaixo da camada de resíduos deixada pelas culturas anteriores, uma das dificuldades da adubação nitrogenada em cobertura.

Além de fatores ambientais, o pH do solo e a quantidade e tipo de resíduos deixados na superfície do solo são tidos como os principais fatores que afetam a eficiência dos fertilizantes nitrogenados aplicados em superfície (HOWARD e ESSINGTON, 1998). Adubações sucessivas com fertilizantes amoniacais em cobertura têm aumentado a acidez da camada superficial do solo, principalmente em áreas de muitos anos de adoção do sistema plantio direto (BARBOSA FILHO et al., 2001). A calagem, muitas vezes, se faz necessária nessas condições, mas pode haver interação do calcário com o nitrogênio na superfície do solo, reduzindo assim ainda mais a eficiência da adubação, e refletindo negativamente na produtividade das culturas. Howard e Essington (1998), por exemplo, relataram diminuição de 12% da eficiência da uréia aplicada em superfície devida à calagem.

Baseado nessa hipótese, conduziu-se, por três anos consecutivos, um experimento em campo, com o objetivo de avaliar a influência da calagem em superfície na eficiência da adubação de cobertura do feijoeiro irrigado com uréia ou sulfato de amônio, aplicados em superfície ou incorporados ao solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área experimental da Embrapa Arroz e Feijão, usada por quatro anos para o plantio de soja e milho no verão e feijão no inverno, sem o revolvimento do solo. Em razão da existência de uma camada subsuperficial compactada, procedeu-se a uma subsolagem antes da aplicação dos tratamentos. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho distróférrico com 40% de argila e baixo teor de matéria orgânica. Os resultados da análise química inicial de amostras das camadas de 0-10 e de 10-30 cm de profundidade do solo constam na Tabela 1.

O plantio do feijão cultivar Pérola foi realizado em meados de junho de 1999, 2000 e 2001, com densidade de 12 plantas por metro. Em 1999, o cultivo anterior foi de soja e, nos anos de 2000 e 2001, arroz, ambos cultivados no verão. A semeadura foi feita em linhas espaçadas de 40 cm e a adubação anual de plantio com 30-120-70 kg ha⁻¹ de N - P₂O₅ - K₂O, respectivamente, aplicados no sulco de plantio, 5 cm ao lado e abaixo das sementes.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas.

Os tratamentos consistiram da aplicação em triplicata de três doses de calcário (0, 3,5 e 7,0 Mg ha⁻¹), duas fontes de nitrogênio (uréia ou sulfato de amônio) e dois métodos de aplicação (superficial ou incorporado ao solo), mais uma testemunha sem nitrogênio em cobertura. O calcário foi distribuído nas parcelas e os tratamentos de nitrogênio em cobertura, nas subparcelas de 4 m x 5 m (20 m²), espaçadas entre si de 1,0. Para ambas as fontes de N, foi avaliada a aplicação em cobertura, na mesma parcela, por três anos consecutivos, de 80 kg ha⁻¹ de N, divididos em duas aplicações: metade aos 15 dias após a emergência (dae) das plantas e metade aos 30 dae. A aplicação incorporada ao solo foi efetuada em sulcos abertos manualmente a 10 cm ao lado das fileiras, numa profundidade de aproximadamente 5 cm. Após a distribuição dos adubos, os sulcos foram cobertos com terra. Para a aplicação superficial, os adubos foram distribuídos ao lado, a aproximadamente 10 cm das fileiras de plantas. No período máximo de um dia após a distribuição dos adubos, foram aplicados, via pivô

aplicados, via pivô central, 12 mm de água, para favorecer a penetração dos adubos no solo.

O controle de plantas daninhas foi realizado pela aplicação, 15 dias antes do plantio, de 0,9 kg ha⁻¹ de glifosate e, no plantio, de 0,5 kg ha⁻¹ de paraquat + agral na concentração de 0,1%. Como pós-emergência, aplicou-se 0,6 L ha⁻¹ de fomezafen + energic na concentração de 0,2%. Uma semana depois, aplicou-se o imazamox na dose de 0,021 kg ha⁻¹ + bentazon, 0,48 kg ha⁻¹ + 0,2% de energic. Depois de cinco dias, foi aplicado o fluazifop-p-butil na dose de 0,188 kg ha⁻¹, de forma que a área foi sempre mantida no limpo durante todo o período de condução do experimento.

Amostras de plantas inteiras foram tomadas na floração para análise de nitrogênio no tecido e determinação da acumulação desse nutriente nas plantas. O rendimento de grãos foi determinado colhendo-se cinco linhas de 4 m de feijão de cada parcela. A umidade dos grãos foi ajustada a 140 g kg⁻¹. A acumulação de N foi calculada multiplicando-se a concentração de N na planta inteira pela matéria seca produzida de dez plantas por parcela.

Foi aplicada a análise de variância individual por ensaio e conjunta das três safras do feijoeiro. Contrastes ortogonais também foram realizados, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados de rendimento de grãos foram submetidos a uma análise econômica considerando-se os indicadores de eficiência econômica, renda bruta e custos da adubação, determinando-se o retorno econômico resultante do uso do nitrogênio de cada tratamento.

TABELA 1 – Características químicas iniciais do solo nas camadas de 0-10 e de 10-30 cm de profundidade.

Prof. (cm)	pH ⁴	H+Al	Ca ²	Mg ²	K ¹	P ¹	Cu ¹	Mn ¹	Fe ¹	Zn ¹	V	MO ³
	 mmol _c dm ⁻³ mg dm ⁻³				%	g dm ⁻³
0-10	5,9	57,3	22,3	12,6	23,9	10,1	2,0	12,0	57,2	5,8	50,1	17,6
10-30	5,2	68,6	12,6	7,6	13,8	3,9	2,2	9,4	72,0	4,3	33,1	15,2

¹Extração com H₂SO₄ 0,025N + HCl 0,05N.

²Extração com KCl 1N.

³Método de Walkley-Black (JACKSON, 1973).

⁴pH em H₂O (relação solo: H₂O de 1:2,5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito das fontes de N e dos métodos de aplicação na produtividade de grãos

O aumento de rendimento de grãos devido à aplicação de N em cobertura foi de 13%, não havendo, na média das três safras, diferença entre as fontes uréia e o sulfato de amônio, bem como entre os métodos de aplicação do sulfato de amônio, isto é, superficial ou incorporado ao solo (Tabela 2). A uréia aplicada na superfície do solo chegou a superar a aplicação incorporada, em termos de rendimento de grãos, o que contraria, de certa forma, inúmeros resultados de pesquisa, por meio dos quais constata-se a existência de elevadas perdas de NH_3 quando a uréia é aplicada na superfície do solo.

Duas explicações podem ser apresentadas para justificar a não-existência de diferenças entre a uréia fertilizante e o sulfato de amônio, bem como entre a aplicação superficial e incorporada ao solo. Primeiramente, deve-se considerar que no dia seguinte à adubação foi feita uma irrigação de 12 mm de água via pivô central, o que pode ter favorecido a movimentação do N em profundidade, reduzindo, assim, as perdas para a atmosfera (volatilização). Em segundo lugar, aventa-se a hipótese referente ao fato de as plantas de feijão se auto-sombriarem e cobrirem toda a área livre entre as fileiras, formando uma atmosfera rica em N abaixo do dossel das plantas, favorecendo a absorção de N pelas folhas inferiores.

Em relação à produtividade de grãos e acumulação de N na planta, houve resposta positiva e linear ao calcário e não ocorreu interação significativa entre calcário e nitrogênio (Tabela 2). Embora a resposta ao calcário nos tratamentos sem nitrogênio em cobertura tenha sido maior (87 kg de feijão para cada Mg de calcário contra 30,7 kg Mg^{-1}), as produtividades foram menores nos tratamentos sem nitrogênio em cobertura (Figura 1). Outro aspecto importante que vale ressaltar são os elevados rendimentos de grãos alcançados, demonstrando o alto potencial produtivo da cultivar Pérola e sua capacidade de responder à adubação nitrogenada.

A resposta ao N é influenciada pelos resíduos de cultura deixados na superfície pelo cultivo anterior, o que explica a diferença de rendimentos de grãos das três safras (Tabela 2). A fonte de resíduos na superfície para o plantio de inverno/1999 foi a soja cultivada

no verão, enquanto nos dois anos subsequentes, foi o arroz. Portanto, com o plantio da soja no verão/1998, desenvolveu-se no solo um ambiente de menor imobilização e maior disponibilidade de N para as plantas de feijão do que nos plantios de 2000 e 2001, em que parte do N aplicado foi consumida pela população microbiana do solo no processo de decomposição da palhada do arroz, causando, assim, déficit de N para o feijoeiro.

Desses resultados, pode-se inferir que a quantidade de N para adubação de cobertura do feijoeiro cultivado em solo sem revolvimento da camada superficial, quando os resíduos culturais forem de difícil decomposição (relação C:N superior a 30:1), deve ser maior que 80 kg ha^{-1} (dose testada neste experimento). A influência dos resíduos culturais deixados na superfície do solo sobre o rendimento das culturas é bastante reconhecida na literatura, inclusive com indicações de que a quantidade de N nessas condições, num mesmo solo, deva ser da ordem de 20% a 25% superior em relação às áreas onde ainda se utilizam práticas de cultivos tradicionais, com eliminação dos resíduos vegetais da superfície do solo (SÁ, 1999).

Efeito das fontes de N no pH do solo

Após três anos de nitrificação do amônio das duas fontes de N, tanto na aplicação superficial como incorporada ao solo, houve diminuição de 0,2 unidade nos valores de pH nos tratamentos com uréia na camada de 0-10 cm, nas três doses de calcário. Nos tratamentos com sulfato de amônio, a diminuição do pH foi maior, ou seja, 0,9 unidade no tratamento sem calcário e 0,7 nas doses de 3,5 e 7,0 Mg ha^{-1} de calcário (Tabela 3). A maior variação de pH nos tratamentos com sulfato de amônio é atribuída à liberação de prótons H^+ no meio durante o processo de nitrificação do NH_4^+ . Essas alterações de pH são consideradas muito pequenas, em razão da baixa quantidade de N aplicada (80 kg ha^{-1}) e do valor de pH inicial (6,0), relativamente elevado para as condições de solos de cerrado. A uréia, por não conter ácido na sua formulação e por ter sido aplicada numa condição de baixa lixiviação (sem revolvimento do solo) e menor perda de NH_3 por volatilização, minimizada pela irrigação, promoveu menor efeito acidificante no solo do que o sulfato de amônio.

TABELA 2 – Produtividade média de três anos do feijoeiro irrigado e acumulação de N nas plantas, atribuídas aos tratamentos com N aplicado em cobertura, sob a forma de uréia fertilizante e sulfato de amônio incorporados e na superfície do solo, em três níveis de calcário.

Tratamentos	Produtividade	Acumulação de N
 kg ha ⁻¹	
Ano		
1999	3.828 a	109
2000	2.422 b	-
2001	2.751 b	64
Média	3.000 (13%) ¹	-
Nitrogênio		
Uréia superficial	3.179 a	111 a
Uréia incorporada	3.024 b	100 a
S. Amônio superficial	3.102 a	109 a
S. Amônio incorporado	3.049 a	114 a
Média (Uréia)	3.102 a	106 a
Média (S. Amônio)	3.076 a	112 a
Média dos trat. com N	3.080 a	109 a
Testemunha	2.647 b	88 b
Calcário		
0	2.835	95
3,5	3.016	106
7,0	3.149	113
Significância		
Calcário (C)	***	*
Ano (A)	***	***
Nitrogênio (N)	***	*
A x C	Ns	Ns
C x N	Ns	Ns
A x N	Ns	Ns
A x C x N	Ns	Ns
CV (%)	9,4	24,1

¹Número entre parênteses representa a porcentagem de aumento de produtividade devido à aplicação de nitrogênio em cobertura.

*, ***significativo ao nível de probabilidade de 0,05 e 0,001, respectivamente. Ns = não-significativo.

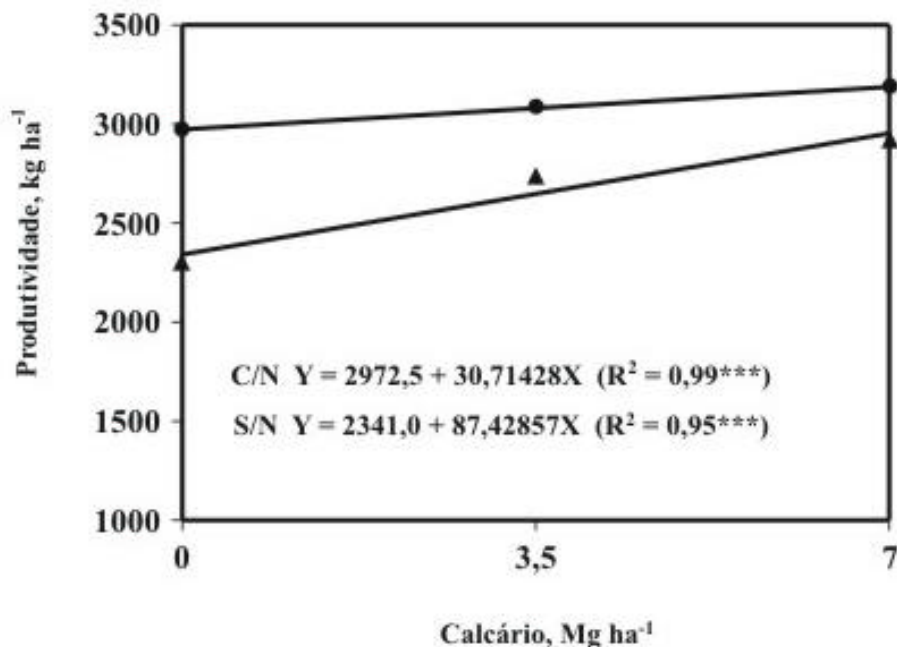


FIGURA 1 – Resposta do feijoeiro irrigado a doses de calcário, com e sem aplicação de nitrogênio em cobertura.

TABELA 3 – Valores de pH na camada de 0-10 cm de profundidade após três anos de cultivo com arroz e feijão, semeados, respectivamente, no verão e no inverno, em função de fontes e métodos de aplicação de N, em três níveis de calcário aplicado na superfície do solo.

Fontes	Método	Calcário (t ha ⁻¹)			Média
		0	3,5	7,0	
Uréia	Superficial	5,7	6,4	6,8	6,5
	Incorporada	5,8	6,3	6,8	6,3
	Média	5,8	6,4	6,8	6,4
S. amônio	Superficial	5,1	6,0	6,5	5,9
	Incorporada	5,1	5,9	6,2	5,7
	Média	5,1	5,9	6,3	5,8
Testemunha		6,0	6,6	7,0	6,5

Doses de N = 30 kg ha⁻¹ no plantio e 80 kg ha⁻¹ em cobertura, parcelados em duas vezes, metade aos 15 dias e metade aos 30 dias após emergência.

Economicidade das fontes de nitrogênio

Os tratamentos com uréia fertilizante apresentaram retorno econômico superior em relação aos tratamentos com sulfato de amônio, nas três safras (Tabela 4), demonstrando a importância da escolha da fonte e de se adotar o manejo adequado dessa prática. Não havendo diferença entre as duas fontes de N (uréia fertilizante e sulfato de amônio) quanto a sua eficiência e podendo esses fertilizantes ser aplicados na superfície do solo sem o custo de incorporação, a adoção desse manejo pode resultar em redução significativa de custo e, conseqüentemente, em maior renda para o produtor de feijão irrigado, como é demonstrado na Tabela 4. Observa-se que o retorno financeiro ou margem líquida resultante da adubação superficial com uréia é maior, com exceção do ano de 2001. Essa margem, por hecta-

re, foi de R\$ 532,00 na safra de 1999, R\$ 320,00 na safra de 2000 e R\$ 131,00 em 2001, com o emprego da uréia. Com o uso do sulfato de amônio, também aplicado em superfície, a margem foi de R\$305,00, R\$143,00 e R\$201,00, respectivamente, nas safras de 1999, 2000 e 2001. O maior retorno econômico da adubação de cobertura foi obtido na safra de 1999, devido ao alto rendimento de grãos alcançado (68,7 sc ha⁻¹) e ao menor custo da adubação em relação ao preço do feijão na época.

A aplicação superficial, tanto da uréia quanto do sulfato de amônio, também é mais vantajosa economicamente do que a aplicação incorporada. Em função do custo da incorporação desses fertilizantes (considerando um trator de 90 a 110 CV), o ganho líquido, evidentemente, foi sempre menor em relação à aplicação superficial nas três safras.

TABELA 4 – Balanço econômico e produção de grãos em função da utilização de uréia e sulfato de amônio, aplicados na superfície do solo, via tratorizada, na adubação de cobertura do feijoeiro irrigado sob plantio direto, no inverno de 1999, 2000 e 2001.

Safra	Produção de Grãos		Receita Marginal		Custo da Adubação		Margem Líquida	
	Uréia	SA	Uréia	SA	Uréia	SA	Uréia	SA
	(sc.60 kg ha ⁻¹)	 R\$ ha ⁻¹					
1999	68,7	65,3	625	455	93	150	532	305
2000	42,0	39,3	423	302	103	159	320	143
2001	46,4	48,7	258	383	127	182	131	201
Total	157,1	153,3	1.306	1.140	323	491	983	649
Média ¹							5,1 sc	3,7 sc

Testemunha: ano 1999 = 56,2 sacas; ano 2000 = 32,6 sacas e ano 2001 = 41,7 sacas de 60 kg ha⁻¹.

¹Considerando-se a média das três safras e valores atualizados para abril/2001 (fertilizante) e outubro/2001 (feijão).

CONCLUSÕES

A calagem realizada na superfície do solo não influencia na eficiência da adubação nitrogenada em cobertura com uréia ou sulfato de amônio, aplicada na superfície ou incorporada.

A uréia e sulfato de amônio aplicados na superfície do solo, por sua semelhante eficiência em termos de rendimento de grãos, tornam a uréia (menor custo) a melhor opção de ganho econômico. Além disso, resolve uma das dificuldades da adubação nitrogenada em cobertura, que é a incorporação do adubo ao solo abaixo da camada de resíduos deixados pelas culturas anteriores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. da. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2001. 8 p. (Circular Técnica, 49).
- FOX, R. H.; KERN, J. M.; PIEKIELEK, A. P. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yield and nitrogen uptakes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 741-746, 1986.
- HOWARD, D. D.; ESSINGTON, M. E. Surface: applied limestone on the efficiency of urea: containing nitrogen sources for no-till corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 523-529, 1998.
- HOWARD, D. D.; TYLER, D. D. Nitrogen source, rate, and application method for no-tillage corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 1573-1577, 1989.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Delhi: Prentice-Hall, 1973. 498 p.
- KELLER, G. D.; MENGEL, D. E. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 1060-1063, 1986.
- LARA, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado para uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 345-352, 1990.
- SÁ, J. C. M. de. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Eds.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS/UFLA, 1999. p. 297-319.
- STECKER, J. A.; BUCHHOLZ, D. D.; HANSON, R. G.; WOLLENHAUPT, N. C.; McVAY, K. A. Application placement and timing of nitrogen solution for no-till corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 645-650, 1993.