



Resposta da Cana-planta ao Nitrogênio em sistema de rotação com adubo verde⁽¹⁾

Greice Leal Pereira⁽²⁾; Alex Henrique Vareda⁽³⁾; Letícia de Abreu Faria⁽⁴⁾; João Luis Nunes Carvalho⁽⁵⁾; José Lavres Junior⁽⁶⁾; Rafael Otto⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq (Processo 477596/2013-4) e FAPESP (Processo 2014/05591-0)

⁽²⁾ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo – ESALQ/USP; Piracicaba, São Paulo; greiceleal_2007@hotmail.com; ⁽³⁾ Graduando em Engenharia Agrônoma, ESALQ/USP; alex.vareda@usp.br; ⁽⁴⁾ Pós doutoranda; Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP; evazoot@yahoo.com; ⁽⁵⁾ Pesquisador do Centro de Tecnologia do Bioetanol (CTBE); joao.carvalho@bioetanol.org.br; ⁽⁶⁾ Professor da Divisão de Produtividade Agroindustrial e Alimentos; CENA/USP; jlavres@usp.br; ⁽⁷⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP; rotto@usp.br.

RESUMO - A utilização de adubo verde em áreas de reforma do canavial constitui importante fonte de nitrogênio (N), podendo substituir totalmente ou parcialmente a adubação nitrogenada. Diante desse contexto, objetivou-se avaliar o efeito do cultivo prévio de *Crotalaria juncea* na produtividade e nas formas de N acumuladas pela cana-de-açúcar submetidos a doses crescentes de N. Para tanto, conduziram-se dois experimentos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. No primeiro experimento, utilizou-se rotação com crotalaria (CC) e no segundo a área foi deixada em pousio (SC). Em ambos, os tratamentos consistiram em cinco níveis de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de N). Determinou-se o teor foliar de N total, N-NH₄⁺, NO₃⁻ e a produtividade da cana-de-açúcar. O suprimento de N não afetou os teores de N total nas folhas. Entretanto, causou aumento nos teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, com predomínio de N na forma de N-NH₄⁺. A produtividade respondeu à dose de N na área SC, o que não foi observado para a área com CC. Por outro lado, a produtividade na área CC foi significativamente maior em relação à área SC quando não se aplicou N.

Termos de indexação: amônio, nitrato, *Crotalaria juncea*

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) tem assumido papel cada vez mais relevante no cenário da agricultura brasileira e mundial em virtude da crescente demanda por seus produtos. Desta forma, há demanda por pesquisas que possam contribuir para o manejo sustentável do sistema de produção, juntamente com a obtenção de maiores produtividades da cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar apresenta alta exigência em N, sendo um dos nutrientes mais limitantes, tanto no desenvolvimento como na expressão do potencial produtivo da cultura (Ambrosano et al., 2013). Entretanto, para a cana-de-açúcar, os efeitos da

aplicação de N ainda são divergentes, pois o uso ineficiente desses adubos é um problema que ameaça a sustentabilidade da produção de bioenergia, visto que sua fabricação é responsável por emissões de gases do efeito estufa, bem como é potencialmente danoso ao ambiente, devido às suas perdas.

A utilização de adubos verdes em consórcio com a cana-de-açúcar pode suprir, em parte ou totalmente, os adubos nitrogenados (Xavier, 2002; Trento Filho, 2009), contribuindo para o manejo sustentável do sistema de produção sucroenergético. Experimentos conduzidos anteriormente mostraram a relevância do uso de adubos verdes na redução de fertilizantes nitrogenados em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

Normalmente, as plantas absorvem a maior parte do N na forma de NO₃⁻ (Marschner, 1995). Entretanto, estudos recentes observaram que a cana absorve preferencialmente o N amoniacal em detrimento à forma nítrica (Robinson et al., 2011).

A maior absorção de N na forma amoniacal pelas plantas apresentaria uma vantagem, visto que, segundo Bredemeier & Mundstock (2000), a exigência energética da assimilação do N-NH₄⁺ é menor do que a do N-NO₃⁻, em razão do primeiro não precisar ser reduzido para sua incorporação em aminoácidos. No entanto, fornecer N exclusivamente na forma N-NH₄⁺ nem sempre reflete em aumento de produção de matéria seca, conforme verificado por Grespan et al. (1998).

Ainda não há relato da influência do N disponibilizado pela crotalaria nas formas de N absorvido pela cana. Assim, considera-se que o estudo das formas de N absorvidos pela cana em áreas com rotação com adubos verdes possa contribuir para melhor entendimento dos processos relacionados a este nutriente. Nesse contexto, o objetivo foi avaliar o efeito do cultivo de adubo verde nas formas de N foliar (total, amoniacal e nítrico) e na produtividade da cana-de-açúcar, submetidas a doses de N em áreas com e sem rotação com adubo verde.



MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Usina Iracema, situada no município de Iracemápolis – SP, em um solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico Latossólico.

Utilizou-se uma área no 5º corte a fim de simular a reforma do canavial. Conduziu-se, de forma simultânea, dois experimentos em áreas adjacentes. No primeiro, utilizou-se rotação com crotalária. Já no segundo, a área foi deixada em pousio. Em ambos os experimentos, utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições e cinco doses de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), aplicadas na forma de nitrato de amônio (32 % de N). A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi RB 96 6928

Cada experimento totalizou 20 unidades experimentais, sendo cada uma composta por 8 linhas de cana-de-açúcar com 15 m de comprimento e espaçamento entre linhas de 1,5 m.

Na fase de máximo desenvolvimento da cultura (em torno do 6º mês), realizou-se a coleta da folha+1. Das folhas amostradas, foram utilizados os 20 cm centrais, descartando-se a nervura central. Estas amostras foram submetidas à secagem em estufa a 45°C e moídas em moinho tipo Wiley. Foram analisados os teores de N-mineral (N-NH₄⁺+ N-NO₃⁻), pelo método micro-Kjeldahl, conforme descrito por Tedesco et al. (1995), e N total conforme metodologia descrita por Malavolta et al (1997). A produtividade foi estimada a partir da colheita mecanizada e pesagem das 4 linhas centrais de cada parcela.

Para avaliar o efeito do manejo da adubação verde em cana-de-açúcar, foi realizada uma análise conjunta dos experimentos (com e sem rotação). Os dados foram analisados pela Anova e em caso de significância (P<0,10), foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey a 10 % para comparação entre os fatores qualitativos (manejo com e sem crotalária) e o ajuste de modelos de regressão para as doses de N dentro de cada manejo. Utilizou-se o programa estatístico R[®] e o SigmaPlot[®] para a elaboração dos gráficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de N não afetaram os teores foliares de N nas duas áreas (**Figura 1C**), assim como, não houve diferença (P>0,1) entre os manejos para as mesmas doses de N (**Tabela 1**).

Os teores foliares de N total variaram de 18,4 a 20 (CC) e 17,7 a 20,1 g kg⁻¹ (SC).

Os teores foliares de N encontraram-se na faixa de suficiência (18-25 g kg⁻¹), sugerida para a cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (Rajj & Cantarella, 1997). No entanto, considera-se esta muito ampla, fazendo-se necessário a realização de mais pesquisas sobre o tema.

Na parcela controle, a ausência de resposta a adubação provavelmente é decorrente do N proveniente do solo ou da reserva do tolete, que contribui para a nutrição nitrogenada das plantas (Bastos et al., 2010).

Os teores de N-NH₄⁺ foram maiores que os de N-NO₃⁻ tanto na área com crotalária, quanto na área sem crotalária (**Tabela 1**). O N-NO₃⁻ se acumula muito pouco em cana-de-açúcar, mesmo quando aplicadas altas doses de N, o que sugere que é prontamente metabolizado ao chegar às folhas (Ishikawa et al., 2009), além de ser indicativo da absorção preferencial de N na forma amoniacal.

A área com CC proporcionou maior acúmulo de N-NH₄⁺ na folha (P<0,01), verificando-se nessa área incremento linear de N-NH₄⁺ (**Figura 1A**) com o aumento das doses de N. A crotalária favoreceu, portanto, o acúmulo de N na forma de N-NH₄⁺ nas folhas de cana-de-açúcar.

A área SC proporcionou resposta quadrática (**Figura 1B**), com o acúmulo máximo de 51,11 mg kg⁻¹ de N-NH₄⁺ para a dose de 65 kg ha⁻¹.

Não houve resposta das doses de N no acúmulo de NO₃⁻, para a área CC. Entretanto na área SC verificou-se resposta quadrática, com o acúmulo máximo de 31,23 mg kg⁻¹ NO₃⁻, na dose correspondente a 66,4 kg ha⁻¹ (**Figura 1B**).

Os menores teores de N-NO₃⁻ encontrados nas folhas pode indicar maior atividade da redutase do nitrato nas áreas com crotalária, porém é necessário verificar a atividade enzimática das folhas de cana nos manejos.

A aplicação de N aumentou a produtividade da cana-de-açúcar de forma quadrática (**Figura 1D**), tendo como ponto de máxima produção 129 Mg ha⁻¹ com a dose de 72,6 kg ha⁻¹. Azeredo et al. (1986) analisando 135 experimentos relacionados a aplicação de N em cana planta, observaram respostas significativa em somente 19. Entretanto, em pesquisas mais recentes se tem encontrado respostas da produtividade em função da adubação nitrogenada (Bologna-Campbell, 2007; Franco et al., 2010).

Não houve resposta das doses de N em área CC, possivelmente em decorrência do N proveniente da crotalária suprir a necessidade da cultura. A produtividade da área CC foi 13 % superior a área SC dentro do tratamento sem aplicação de N.



CONCLUSÕES

Em folhas de cana-de-açúcar há predomínio de N na forma de $N-NH_4^+$ em relação a $N-NO_3^-$ e a rotação com crotalária aumenta a concentração foliar de $N-NH_4^+$

O plantio de crotalária demonstrou ser eficiente em áreas de reforma do canavial, substituindo totalmente a adubação nitrogenada de plantio

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, a CAPES, a FAPESP pelo auxílio financeiro. Ao Renato Frias França (acadêmico da ESALQ/USP) e a Cleusa Cabral (Técnica do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do CENA) pelo apoio oferecido e à Usina Itacema pela concessão da área de estudo.

REFERÊNCIAS

AMBROSANO, E.J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMANN, E.A.; SILVA, E.C.; AMBROSANO, G.M.B.; DIAS, F.L.F.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 8:80-90, 2013.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-de-açúcar e fracionamento. *STAB. Açúcar, álcool e subproduto*, 4:25-29, 1986.

BASTOS, J.C.A.G.; CAZETTA, J.O.; PRADO, R.M. Materiais corretivos e nitrogênio na nutrição de na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. *Interciencia*, 35:55-58, 2010.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta. [Tese] Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo; 2007.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, 30:365-372, 2000.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Talk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. *Scientia Agricola*, 67:579-590, 2010.

GRESPLAN, S.L.; DIAS, L.E.; NOVAIS, R.E. Crescimento e parâmetros cinéticos de absorção de amônio e nitrato por mudas de *Eucalyptus spp* submetidas a diferentes relações amônio/nitrato na presença e ausência de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:667-674, 1998.

ISHIKAWA, S.; ANDO, S.; SAKAIGAI, T., TERAJIMA, Y.; MATSUOKA, M. Effects of high nitrogen application

on the dry matter yield, nitrogen content and nitrate-N concentration of sugarcane. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55:485-495, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Fundação IAC, 1997. 285p.

ROBINSON, N.; BRACKIN, R.; VINALL, K.; SOPER, F.; HOLST, J.; GAMMAGE, H.; RENNENBERG H.; LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S. Nitrate Paradigm Does Not Hold Up for Sugarcane. *Plos One*. 6:19045, 2011.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TRENTO FILHO, E. Consorciação intercalar em linha com crotalária e feijão guandu anão na soqueira de cana-de-açúcar. [Dissertação] Presidente Prudente, SP: Universidade do Oeste Paulista, 2009.

XAVIER, R.P. Adubação verde em cana-de-açúcar: influência na nutrição nitrogenada e na decomposição dos resíduos da colheita. [Dissertação] Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002.

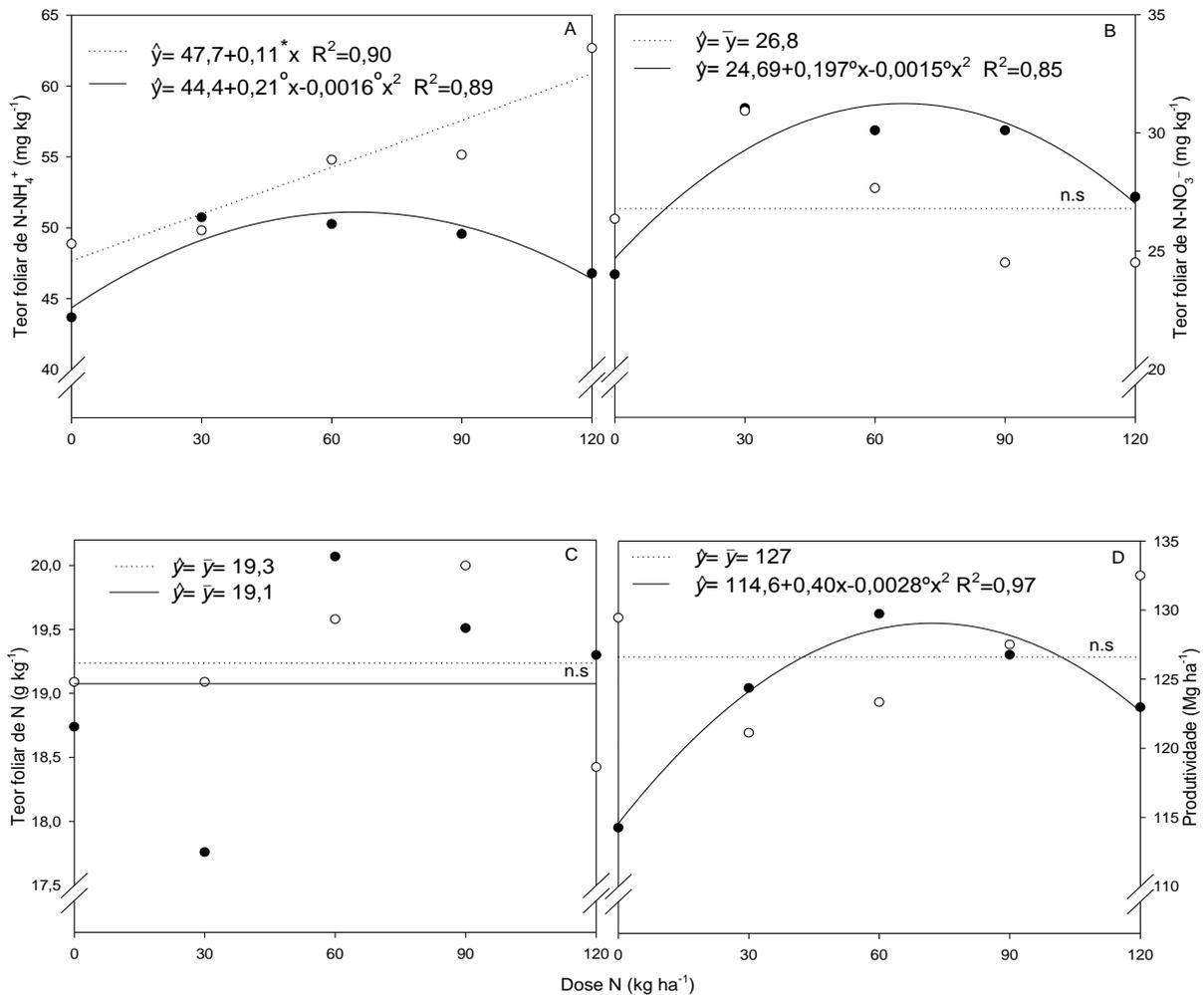


Figura 1 – Teor foliar de N-NH₄⁺ (A), N-NO₃⁻ (B), N total (C) e produtividade (D) em diferentes manejos e doses de N. ns, °, * e ** representam, não significativo e significativo a 10, 5 e 1 % pelo teste F. Sem crotalária (●) e Com Crotalária (○).

Tabela 1 – Teor foliar de N total, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e produtividade de cana-de-açúcar em área com e sem crotalária submetidas a doses de N. Os resultados apresentam médias de quatro repetições.

N (kg ha ⁻¹)	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
	Crotalária	Crotalária	Crotalária	Crotalária	Crotalária	Crotalária	Crotalária	Crotalária
	N total (g kg ⁻¹)		N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)		N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)		Produtividade (Mg ha ⁻¹)	
0	19,1 a	18,7 a	48,9 a	43,7 a	26,4 a	24,0 a	129 a	114 b
30	19,1 a	17,8 a	49,8 a	50,7 a	30,9 a	31,0 a	121 a	124 a
60	19,6 a	20,1 a	54,8 a	50,3 a	27,7 a	30,1 a	123 a	130 a
90	20,0 a	19,5 a	55,2 a	49,6 a	24,5 b	30,1 a	128 a	127 a
120	18,4 a	19,3 a	62,7 a	46,8 b	24,5 a	27,3 a	133 a	123 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,1). Letras comparam sistema de manejo dentro de cada dose de N.