

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-PLANTA) EM SOLO ARENOSO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CULTURA⁽¹⁾

P. C. O. TRIVELIN⁽²⁾, A. C. VITTI⁽³⁾, M. W. OLIVEIRA⁽³⁾,
G. J. C. GAVA⁽⁴⁾ & G. A. SARRIÉS⁽⁵⁾

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a produção da cana-de-açúcar (cana-planta) e a utilização do N da uréia aplicada no plantio, com incorporação de restos culturais ao solo (raízes, rizomas, colmos, ponteiro e folhas secas), desenvolveu-se um experimento em vasos (220 L) que continham terra de textura arenosa. Os fatores de estudo foram: doses de N no plantio 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N-uréia marcada com ¹⁵N e restos culturais de cana-de-açúcar incorporados ao solo, com ou sem folhas secas. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições, sendo o experimento levado a efeito em Piracicaba (SP), de janeiro a dezembro de 1996. A cana-planta respondeu à adubação nitrogenada em produção de colmos e rendimento em açúcar, independentemente do tipo de resto cultural incorporado ao solo. A adubação nitrogenada, associada à incorporação de resíduos culturais ao solo, fez com que a cana-planta acumulasse maior quantidade total de N. Independentemente da dose de N-uréia aplicada, a planta utilizou 54 % desse N, contribuindo as raízes e rizomas com 10 % dessa recuperação. A fertilização nitrogenada no plantio favoreceu o crescimento das raízes e o estoque de N no sistema radicular.

Termos para indexação: técnica isotópica, ¹⁵N, uréia, restos culturais.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em janeiro de 2001 e aprovado em abril de 2002.

⁽²⁾ Professor Associado, Laboratório de Isótopos Estáveis, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – CENA/USP. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: pcoolive@cena.usp.br

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutorando, Laboratório de Isótopos Estáveis, CENA/USP. Bolsista da FAPESP. E-mail: acvitti@cena.usp.br; ggava@cena.usp.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Centro de Pesquisa e Melhoramento de Cana-de-Açúcar, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Caixa Postal 342, CEP 35430-970 Ponte Nova (MG). E-mail: mwagner@mail.ufv.br

⁽⁵⁾ Professor Doutor, Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: gabriel@esalq.usp.br

SUMMARY: *NITROGEN UTILIZATION AND SUGARCANE (PLANT CANE) YIELD ON A SANDY SOIL WITH INCORPORATED CROP RESIDUES*

Sugarcane (plant cane) yield and the N utilization of urea applied onto the cultivation was evaluated in a sandy soil with incorporated crop residues (roots, rhizomes, stalks, tops and dry leaves) in a pot experiment (220 L). The studied factors were: N doses (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹), applied as urea-N labeled with ¹⁵N and sugarcane crop residues incorporated in the soil, with and without dry leaves. The design of the experiment was of randomized blocks in three replications, carried out in Piracicaba, São Paulo State, from January to December 1996. Stalk and sugar production increased by the N fertilization, independently of the composition of sugarcane residues incorporated in the soil. Nitrogen fertilization together with incorporated crop residues led to a higher total N accumulation by the plant cane. Independent of the applied urea-N rate, 54 % of N were recovered by the plant, with a percentage of 10 % in rhizomes and roots. Nitrogen fertilization in the cultivation favored the growth of the root system and also increased its reserve of N.

Index terms: isotope technique, ¹⁵N, urea, crop residues.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar, por ser do ciclo fotossintético C-4, responde à temperatura com aumento na taxa de fotossíntese, desde que a disponibilidade de água, nutrientes minerais e a concentração de O₂ e CO₂ na atmosfera não sejam limitantes. O estresse de N na cana-de-açúcar, mesmo que não se manifeste por sintomas visuais, reduzirá a atividade da enzima Rubisco muito mais que a atividade da enzima PEPC. Plantas de cana-de-açúcar com teor de N que não supre suas atividades básicas de assimilação do CO₂ têm sua produção reduzida (Meinzer & Zhu, 1998).

Uma questão não esclarecida na cultura da cana-de-açúcar trata da baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. Verifica-se, na literatura, falta de resposta na maioria dos experimentos com cana-planta. Para as rebrotas, a maioria dos experimentos mostrou resposta. A falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada tem sido atribuída à fixação biológica do N atmosférico; às perdas por lixiviação de N-fertilizante; ao vigor do sistema radicular da cana-planta comparada ao de soqueiras; às condições climáticas, como temperatura e pluviosidade; à melhoria da fertilidade do solo, após a reforma dos canaviais, associada à calagem, ao preparo mecânico e à incorporação de restos da cultura anterior (Azeredo et al., 1986; Carnaúba, 1989; Urquiaga et al., 1992; Orlando Filho et al., 1999).

O aumento na produtividade da cana-de-açúcar em resposta à adubação nitrogenada foi constatado por Silveira & Crocomo (1990), em estudo da assimilação de N em cana-planta, na presença de elevado nível de N; também por Korndörfer et al.

(1997), com quatro cultivares de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho-Amarelo álico distrófico de textura média, e por Orlando Filho et al. (1999), em um solo argiloso eutrófico.

A manutenção da palha da cana-de-açúcar no solo, com a prática da colheita sem despalha a fogo, pode contribuir para a melhoria da fertilidade do solo, comparativamente àquela com queima (Wood, 1991). A produção de palha de um canavial sob colheita mecanizada, que inclui as folhas, as bainhas e o ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo, pode variar de 10 a 30 t ha⁻¹ de matéria seca. Esse material contém de 40 a 80 kg ha⁻¹ de N, potencialmente disponíveis à cultura por ação dos microrganismos do solo (Abramo Filho et al., 1993; Trivelin et al., 1995, 1996; Oliveira et al., 1999a).

A colheita da cana-de-açúcar sem a queima prévia da palha vem sendo empregada de modo intensivo e com resultados positivos há vinte anos na Austrália (Wood, 1991). No Brasil, em experimento realizado em Cruangi (PE), com despalha manual, Urquiaga et al. (1991) verificaram que, das 74 t ha⁻¹ de matéria seca de palha depositada na superfície do solo, somente 6 t ha⁻¹ ficaram como resíduo após cinco anos. No sistema com queima, encontraram 0,4 t ha⁻¹ como resíduo. Esses resultados indicaram que 81 % da palha foi degradada e, possivelmente, mineralizada pelos microrganismos do solo, evidenciando que o processo foi relativamente rápido. A média de produtividade de cinco ciclos consecutivos de cana-de-açúcar sem queima (67 t ha⁻¹) superou em 10 % à da cana-de-açúcar com queima e, nos anos mais secos ou quando a distribuição de chuvas foi muito irregular, o sistema sem a queima foi 25 % superior.

Analisando a falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada, no sistema tradicional com queima da palha antes da colheita, dentre as causas aventadas, surge a possibilidade de o solo fornecer o N de que a cultura necessita, seja por meio da mineralização da matéria orgânica nativa, seja da recém-incorporada ao solo (raízes e rizomas da cultura anterior) na reforma do canavial. A mineralização é favorecida pela oxigenação do solo, causada pelo preparo mecânico, pela calagem, que também é feita antes do plantio, e por fatores ambientais, como temperatura e umidade do solo.

No manejo de um canavial sem despalha a fogo, a quantidade de matéria orgânica incorporada ao solo é apreciavelmente maior do que aquela no manejo com queima, ou mesmo sem a queima, mas com remoção da palhada para aproveitamento como fonte de energia (Ripoli et al., 2000). Nessa condição, poder-se-ia considerar, desconhecendo os aspectos do processo de mineralização do N de matéria orgânica com relação C:N alta (taxas líquidas e brutas de mineralização e imobilização), que a cultura tiraria proveito desse aporte de N e estaria, assim, explicada a falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. Por outro lado, incorporando ao solo 10 a 30 t ha⁻¹ de material orgânico, com relação C:N alta, poder-se-ia também aventar, como hipótese, que o N do solo seria imobilizado pela biomassa microbiana, havendo a possibilidade de existir resposta da cana-planta à adubação com N no plantio.

Nesse contexto, foi desenvolvido este trabalho, que objetivou avaliar a resposta em produção da cana-planta e a utilização de doses de N (¹⁵N-uréia) aplicadas no plantio da cana-de-açúcar, com restos culturais (raízes, rizomas, colmos e ponteiros) incorporados ao solo, com ou sem incorporação de folhas secas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento constou de 24 parcelas constituídas por vasos de 220 L: 0,60 m de diâmetro e 0,90 m de altura, com 250 kg de terra de textura arenosa (840, 60 e 100 g kg⁻¹, respectivamente, para areia total, silte e argila) com as características químicas: 4,4 para pH (CaCl₂); 19 g kg⁻¹ de MO; 10 mg dm⁻³ de P (resina), K, Ca, Mg e H + Al: 1, 17, 3 e 34 mmol_c dm⁻³, respectivamente. Cada vaso continha, na parte inferior, um dreno constituído de uma camada de 10 cm de brita zero, coberta por manta Bidim, para sistemas de drenagem. Os vasos foram mantidos ao ar livre e a solução percolada do solo, após atingir o dreno, periodicamente coletada (Oliveira et al., 1999b).

Os tratamentos corresponderam aos fatores: (1) doses de N no plantio 0; 30; 60 e 90 kg ha⁻¹; (2) restos culturais da última soca (raízes, rizomas, colmos e

ponteiros) adicionados ao solo, com ou sem incorporação de folhas secas (CF e SF). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições, sendo o experimento desenvolvido em área experimental do Posto Meteorológico do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, em Piracicaba, estado de São Paulo.

Na camada superficial da terra dos vasos (0-0,25 m de profundidade e correspondente a 90 kg de terra), adicionaram-se os restos culturais e CaO e MgO, numa relação 2:1 em termos de massa, em quantidade suficiente para elevar a 60 % a saturação por bases. Os resíduos culturais do tratamento com incorporação de folhas secas (CF): colmos aéreos e ponteiros (122 g de matéria seca - MS - por vaso; 423 e 7,84 g kg⁻¹ de C e N, respectivamente), rizomas (251 g de MS por vaso; 400 e 5,70 g kg⁻¹ de C e N, respectivamente) e folhas secas (177 g de MS por vaso; 386 e 3,99 g kg⁻¹, de C e N, respectivamente), foram misturados à terra dos vasos (0-0,25 m de profundidade) em quantidades equivalentes a 4,3; 8,9 e 6,3 t ha⁻¹ de matéria seca, respectivamente, referidas com base em superfície, considerando-se a área dos vasos de 0,283 m². Esses valores foram definidos, tomando por base as produções médias de resíduos culturais obtidas por Camargo (1989), Abramo Filho et al. (1993) e Trivelin et al. (1995).

No tratamento com incorporação de resíduos culturais sem folhas secas (SF), os restos culturais foram misturados ao solo nas mesmas quantidades anteriormente especificadas, excluindo-se as folhas secas, e a quantidade equivalente de restos culturais foi de 13,2 t ha⁻¹. Todos os restos culturais foram grosseiramente triturados antes de misturados ao solo.

Dez dias após a adição do corretivo e dos restos culturais ao solo, realizou-se a adubação de plantio. Transplantaram-se, para cada vaso, três mudas de cana-de-açúcar do cultivar SP 80-1842, obtidas de nós de colmos tratados termicamente e com, aproximadamente, 0,20 m de altura. A adubação de plantio foi feita no fundo de cova com 0,15 m de profundidade, aplicando-se 0; 899,2; 1.798,4 e 2.697,6 mg de N-uréia por vaso, marcada com 10,10 % em átomos de ¹⁵N, equivalentes às doses de 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. O cloreto de potássio e o superfosfato triplo também foram aplicados, na dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O e P₂O₅, respectivamente.

A colheita da planta toda, de cada parcela, foi realizada 11 meses após o plantio. A parte aérea, subdividida em amostras de folhas secas, colmos e ponteiro (folhas verdes, cartucho e palmito) e a parte subterrânea - raízes e rizomas - constituíram as amostras de cada parcela. Determinaram-se, nas amostras, a massa de material natural e seco em estufa a 60 °C, o N-total e a abundância de ¹⁵N (Hauck, 1982). A recuperação do N-uréia (em % e mg vaso⁻¹) foi calculada pelas equações:

$$R = (N_{ppf} / N_{af}) 100 \quad (1)$$

$$N_{ppf} = [(A-C)/(B-C)] NT \quad (2)$$

em que: R é a recuperação percentual do N-uréia; N_{ppf}, o N da planta proveniente do fertilizante; A e B, abundância de ¹⁵N (% de átomos) da planta e da uréia-¹⁵N, respectivamente; C, a abundância natural de ¹⁵N (0,366 % de átomos); NT o conteúdo de N da planta (g vaso⁻¹) e N_{af}, a quantidade de N-uréia aplicada (mg vaso⁻¹).

Efetuararam-se, no colmo, as análises tecnológicas de açúcares redutores do caldo extraído (ARCE), concentração de sólidos solúveis ou Brix refratométrico do caldo extraído (BrixCE), teor de fibra (F), teor de sacarose expresso por Pol do caldo extraído (PolCE) e Pol da cana (PolCana) (Sturion & Fernandes, 1979). Para expressar o rendimento em açúcar (g vaso⁻¹), multiplicou-se o teor de Pol da cana pela produção de colmos.

Os resultados foram submetidos à análise da variância em delineamento de blocos casualizados, utilizando-se o teste F a 5 %. Usou-se o teste de Tukey (p = 0,05), para comparar o efeito do fator adição de resíduos culturais, e a análise da regressão, para verificar o efeito de doses de N.

Durante o período experimental, que se estendeu de 8 de janeiro a 9 de dezembro de 1996, o volume total de água recebido pela cultura, de precipitações e irrigações nas épocas de estiagem, foi de 2.014 mm; a distribuição mensal e a temperatura média mensal encontram-se na figura 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições deste trabalho, a temperatura ambiente e a umidade do solo (Figura 1) não

constituíram fatores limitantes ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. Constatou-se, na produção de colmos, efeito das doses de N, com resposta linear, porém não se constatou efeito dos restos culturais (Quadro 1). O aumento médio de produção da maior dose em relação à de 0 kg ha⁻¹ de N, de cerca de 800 g vaso⁻¹ de colmos, correspondeu a cerca de 25 %.

Considerado o N-total da planta toda (parte aérea e subterrânea), a exigência do nutriente para produção de colmos foi de 2,4 e 2,1 g de N por kg de colmo, respectivamente, na maior e na menor dose de N. Se for levado em conta apenas o N acumulado na parte aérea, esses índices passam a 1,6 e 1,7 g de N por kg de colmo, respectivamente, na menor e na maior dose. Korndörfer et al. (1997), contabilizando o N acumulado na parte aérea, obtiveram, em experimento de campo, o índice médio de 1,4 g de N por kg de colmo, para quatro cultivares de cana-de-açúcar.

Os índices tecnológicos desse experimento foram considerados adequados à colheita da cana-de-açúcar (Fernandes, 1986). Não houve efeito dos fatores estudados nos teores de BrixCE (20,8 %); fibra (12,4 %); ARCE (0,51 %); PolCE (18,8 %) e PolCana (15,8 %) que qualificam a matéria-prima. Por outro lado, o rendimento em açúcar aumentou com as doses de N, com resposta linear, e os restos culturais adicionados ao solo também mostraram efeito nesse rendimento (Quadro 1). O aumento no rendimento de açúcar deveu-se à produção de colmos como efeito direto das doses crescentes de N-uréia. O mesmo efeito foi verificado por Azeredo et al. (1986) e Korndörfer et al. (1997). O maior rendimento em açúcar no tratamento SF pode ser devido à maior produtividade de colmos no tratamento, embora não-significativo, provavelmente causada por menor taxa de imobilização do N pelos microrganismos do solo, em decorrência da adição de menor quantidade de resíduo cultural com uma relação C:N mais baixa.

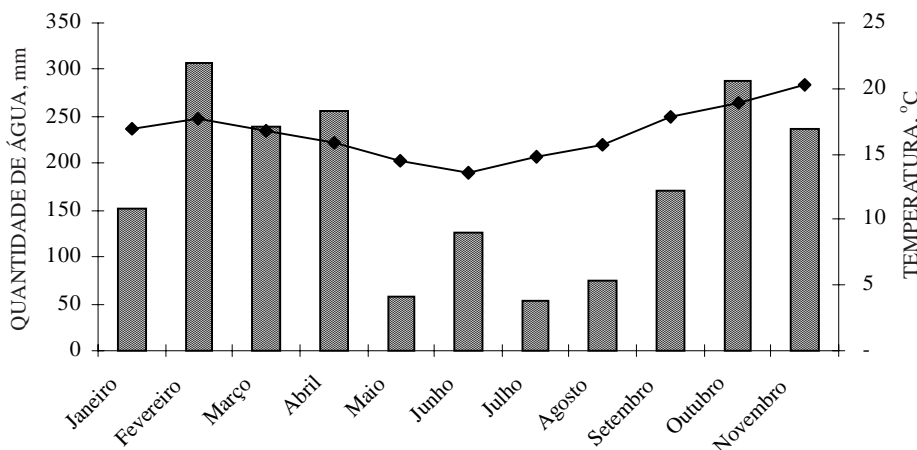


Figura 1. Quantidade mensal de água recebida pela cultura (barras) e temperatura média mensal (linha) no período de janeiro a novembro de 1996. (Fonte: Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP).

Quadro 1. Produção de colmos, rendimento em açúcar e teor de umidade do colmo na colheita da cana-planta relacionados com as doses de N-uréia e com a incorporação de resíduos culturais. Média de três repetições

Dose de N-uréia	Colmo		Rendimento em açúcar ⁽²⁾		Umidade do colmo ⁽³⁾	
	CF ⁽¹⁾	SF ¹	CF	SF	CF	SF
mg vaso ⁻¹	g vaso ⁻¹					
0	3.052	3.082	469	493	70,0	69,8
899,2	3.042	3.375	482	549	69,5	69,3
1.798,4	3.240	4.022	483	675	69,2	69,2
2.697,6	3.918	3.803	618	610	70,1	70,0
Média	3.313	3.570	513a	582b	69,8	69,6
F _{resíduos culturais}	8,7 ^{ns}		5,7*		1,2 ^{ns}	
F _{doses de N}	8,7*		4,9*		1,1 ^{ns}	
F _{interação de fatores}	2,5 ^{ns}		2,8 ^{ns}		0,2 ^{ns}	
F _{doses de N-linear}	25*		15*			
R ²	0,97		0,99			
F _{doses de N -quadrático}	0,1 ^{ns}		0,05 ^{ns}			
C.V. (%)	9		12		0,9	

⁽¹⁾ CF e SF significam os resíduos culturais (raízes, rizomas, colmos e ponteiros), respectivamente, com e sem folhas secas, incorporados ao solo. ⁽²⁾ O rendimento de açúcar foi obtido do produto dos valores de teores de Pol da cana (PolCana) com os de produção de colmo. ⁽³⁾ Umidade do colmo = [(matéria natural - matéria seca)/ matéria natural] 100.

Médias dos fatores CF e SF seguidas de letras minúsculas distintas diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p = 0,05$). * e ns: significativo e não-significativo a 5 % respectivamente.

A umidade do colmo na colheita não foi afetada pelas doses de N nem pelo tipo de restos culturais incorporados ao solo (Quadro 1). Trivelin et al. (1996) verificaram, por todo o período de crescimento e maturação de soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143, que a umidade da parte aérea de plantas sem adubação nitrogenada foi menor que a das fertilizadas com 100 kg ha⁻¹ de N, como uréia ou aquamônia. Segundo Silva & Casagrande (1983), o N favorece a absorção de Ca, fundamental na composição salina do citoplasma, faz parte da parede celular em forma de peptato de cálcio, que dá estrutura às células, o que favorece a absorção de água e pode piorar a qualidade tecnológica do produto (Silva, 1983). Uma possível explicação para os resultados deste trabalho pode estar relacionada com as doses de N utilizadas, que foram inferiores ao N acumulado pela cultura, e à adição ao solo de resíduos culturais com relação C:N alta, que resultaram, preferencialmente, na imobilização do N-fertilizante pela biomassa microbiana.

Não se constatou efeito dos tipos de resíduos culturais incorporados ao solo nos resultados de produção de matéria seca ($F = 1,7$ ns; C.V. = 8 %), mas houve efeito das doses de N, com resposta linear na parte subterrânea ($F = 6,2^*$; C.V. = 23 %), parte aérea ($F = 5^*$; C.V. = 7 %) e planta toda (Figura 2). A maior dose foi superior à menor no acúmulo de matéria seca, em 29 % na parte aérea, cerca de 72 %

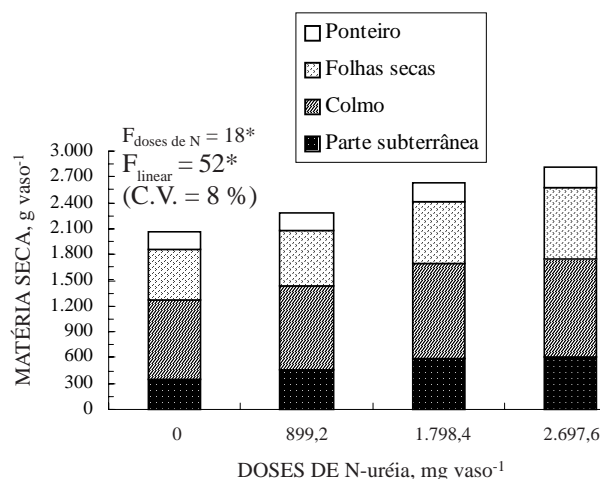


Figura 2. Produção de matéria seca na cana-planta em relação às doses de N-uréia aplicadas no plantio (os valores de teste F e de C.V. referem-se à planta toda).

na parte subterrânea e aproximadamente 37 % na planta toda. O significativo aumento no conteúdo de matéria seca da parte subterrânea (rizomas e raízes) com as doses de N resultou, provavelmente, em maior superfície específica de raízes, maior exploração do volume de solo e conseqüente absorção

de água e nutrientes. Esses órgãos constituem reserva orgânica e nutricional da planta para futura rebrota (Trivelin et al., 1988; Camargo, 1989; Malavolta, 1994).

A relação entre produção de matéria seca da parte aérea e da parte subterrânea foi, em média, de 4,9; 4,0; 3,5 e 3,6, respectivamente, para as doses de N de: 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹. Conforme Silveira (1985), essa relação é maior em condições de baixa disponibilidade de N à cultura, como verificado neste trabalho.

À semelhança do observado para a produção de matéria seca, não se constatou efeito dos tipos de resíduos adicionados ao solo no acúmulo de N na cana-planta ($F = 0,23$ ns; C.V. = 10 %), mas houve efeito das doses de N, também com resposta linear na parte subterrânea ($F = 6,9^*$; C.V. = 22 %), na parte aérea ($F = 16^*$; C.V. = 9 %) e na planta toda (Figura 3). Em relação à menor dose, o acúmulo de N na maior dose foi 37 % superior na parte aérea, cerca de 70 % na subterrânea e 45 % na planta toda, apresentando a parte subterrânea o maior incremento na acumulação de N, à semelhança do que se verificou com os resultados de matéria seca.

Não se constatou efeito das doses de N nem dos tipos de resíduos culturais adicionados ao solo no teor de N na parte aérea e na subterrânea da cana-planta. Como média de todos os tratamentos, o teor de N na parte aérea e na subterrânea foi de 2,86 e 4,31 g kg⁻¹ de N, respectivamente. O teor de N no sistema radicular foi 50 % maior que o da parte aérea (folhas secas + colmos + ponteiros). Isso coloca novamente em evidência o acúmulo do nutriente em raízes e rizomas como um mecanismo de reserva da planta, a fim de sustentar a rebrota do ciclo subsequente (Trivelin et al., 1988; Camargo, 1989; Malavolta, 1994).

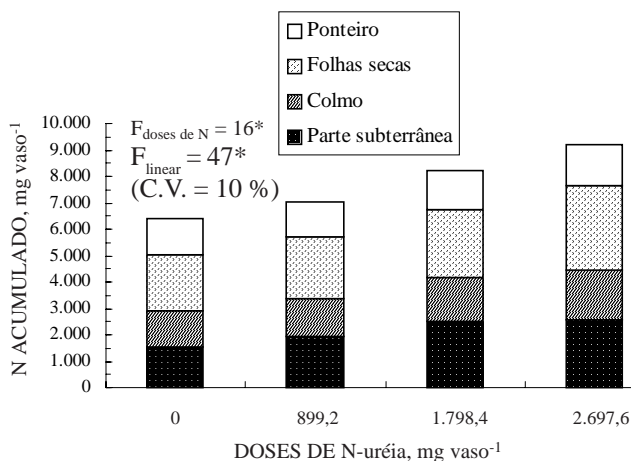


Figura 3. Acúmulo de N na cana-planta em relação às doses de N-uréia aplicadas no plantio (os valores de teste F e de C.V. referem-se à planta toda).

A distribuição do N acumulado na cana-planta foi, em média, de 28, 20, 33 e 19 %, respectivamente, na parte subterrânea: raízes e rizomas, colmos, folhas secas e ponteiro. Os tratamentos não influenciaram na distribuição percentual do N na planta, indicando não serem essas grandezas influenciadas pela disponibilidade ou restrição do nutriente à cultura (Vitti, 1998). Por esses resultados, pode-se inferir que aproximadamente 80 e 47 % do N acumulado pela cultura permaneceriam no agrossistema após a colheita mecanizada de um canavial, respectivamente, sem e com a queima da palha, resultando em um diferencial de cerca de 30 % (60 kg ha⁻¹ de N, considerando o acúmulo de N na cana-planta em torno de 200 kg ha⁻¹). Caso se compute a queima dos ponteiros depois da colheita, o que, muitas vezes, sucede após o corte, o diferencial entre os sistemas com e sem queima passaria a ser de 52 % em relação ao conteúdo original de N antes do corte, que representaria cerca de 104 kg ha⁻¹ de N, na faixa considerada, de acúmulo de N pela cultura. Essa quantidade de N permanece no agrossistema como resíduos culturais (folhas secas e ponteiros), que são deixados na superfície: seu N será disponibilizado lentamente à cultura por ação dos microrganismos do solo (Oliveira et al., 1999a). Com sua queima, esse N é lançado à atmosfera (Crutzen et al., 1979).

Não se verificou efeito dos tipos de resíduos culturais incorporados ao solo na recuperação do N-uréia (mg vaso⁻¹ de N), mas houve efeito linear para as doses de N (Quadro 2). A distribuição do N da uréia (¹⁵N) nas várias partes da planta indicou que 23 %, em média, foram encontrados na parte subterrânea; 22 % nos colmos; 15 % nos ponteiros e 40 % nas folhas secas. O N-fertilizante deve ter sido absorvido em maior proporção nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o que ficou caracterizado pelo maior acúmulo nas folhas secas. Sampaio et al. (1984) observaram que a absorção do fertilizante nitrogenado pela cana-planta, nas condições do tabuleiro costeiro de Pernambuco, deu-se, praticamente, no período inicial de desenvolvimento da cultura (três meses). Em cana-soca de início de safra, nas condições de São Paulo, Trivelin et al. (1996) verificaram a absorção do N-uréia ou aqumônia até por volta dos seis meses da adubação.

O N absorvido da uréia representou 11,5 % do acumulado na planta toda (7,0; 11,7 e 15,9 %, respectivamente, para as doses de N de 30, 60 e 90 kg ha⁻¹). Sampaio et al. (1984) avaliaram que a contribuição do N da uréia para doses de 20 e 60 kg ha⁻¹ de N foi menos que 10 % do total acumulado na planta toda.

A cana-planta, ao mesmo tempo que respondeu em produção às doses crescentes de N-uréia, acumulou mais N de outras fontes que não aquela da uréia (Figura 4). Esses resultados indicam que outras fontes contribuem na nutrição nitrogenada da cultura, podendo-se destacar o N mineralizado

Quadro 2. Recuperação do N da uréia (^{15}N) na cana-de-açúcar relacionada com as doses de N-uréia e com a incorporação de resíduos culturais⁽¹⁾. Média de seis repetições

Dose de N-uréia	Colmo	Ponteiro	Folhas secas	Parte aérea	Parte subterrânea	Planta toda
mg vaso ⁻¹						
899,2	97	71	222	391	103	494
1.798,4	214	151	356	720	244	964
2.697,6	323	228	589	1.140	333	1.473
Média	212	150	389	750	227	977
F _{resíduos culturais⁽¹⁾}	1,5 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,15 ^{ns}
F _{doses de N}	106 *	29 *	42 *	60 *	34 *	65 *
F _{interação de fatores}	0,20 ^{ns}	1,4 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,41 ^{ns}
F _{doses de N - linear}	212 *	58 *	81 *	121 *	68 *	129 *
R ²	0,99	0,99	0,97	0,99	0,98	0,99
F _{doses de N - quadrático}	0,11 ^{ns}	0,40 ^{ns}	2,0 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,07 ^{ns}
C.V. (%)	13	23	18	17	21	15

⁽¹⁾ Dois tipos de resíduos culturais (raízes, rizomas, colmos e ponteiros), com e sem folhas secas, incorporados ao solo.

* e ns: significativo e não-significativo a 5 %, respectivamente.

da matéria orgânica do solo e, possivelmente a fixação biológica do N_2 atmosférico (Urquiaga et al., 1992), ou, ainda, a absorção de amônia da atmosfera pela folhagem (Holtan-Hartwig & Bockman, 1994). O aumento do N derivado do solo em plantas que receberam adubação nitrogenada marcada com ^{15}N , comparativamente àquelas sem fertilização, é fato comum na literatura. Na maioria das vezes, justifica-se como tendo ocorrido um “priming effect”.

O termo “priming effect” (PE) foi sugerido em 1953 por Bengeman et al.⁽⁶⁾, citados por Jenkinson et al. (1985), num estudo do efeito da adição de material orgânico ao solo na decomposição da matéria orgânica preexistente. Por muito tempo, houve grande controvérsia entre os cientistas do solo a respeito do PE, interpretando resultados de recuperação do N de adubos marcados com ^{15}N por plantas.

No solo, existe uma contínua transferência (“turn over”) de N entre o compartimento orgânico e o mineral, por meio de reações de mineralização e imobilização, denominadas por Jansson & Pearson (1982) de MIT (“mineralization-immobilization turn over”). O MIT pode levar a um PE ilegítimo, com possíveis falhas na interpretação de experimentos com ^{15}N , que se devem, segundo Jenkinson et al. (1985), ao efeito da “pool substitution” (PS). O PS é um processo no qual o N inorgânico marcado com

^{15}N , adicionado ao solo, toma lugar do inorgânico não marcado (N mineralizado da matéria orgânica nativa do solo), que, de outra forma, seria suprimido daquele compartimento pela imobilização microbiológica. A definição do PS levou ao conceito de efeito de interação do N adicionado (ANI), como sendo a diferença entre a quantidade de N inorgânico não marcado, remanescente no solo (presumivelmente disponível para ser absorvido pelas plantas), nas situações fertilizadas e não fertilizadas (Jenkinson et al., 1985). Segundo Rao et al. (1992), em experimentos com ^{15}N , a recuperação do N do solo em tratamentos fertilizados, quando igual ao acumulado em plantas-testemunhas (sem fertilização) significa que não ocorreu o PE ou o PS. No caso de a

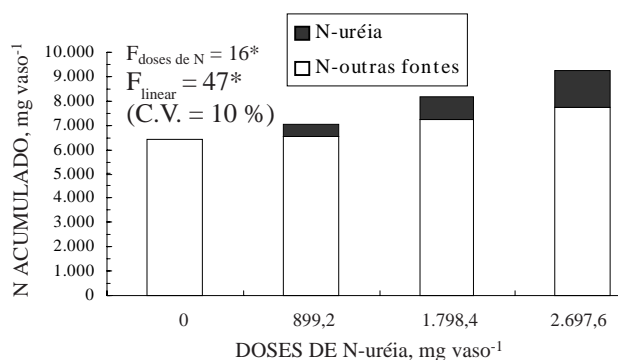


Figura 4. Nitrogênio acumulado na cana-planta, derivado do N-uréia e de outras fontes (os valores de teste F e de C.V. referem-se à planta toda).

⁽⁶⁾ BENGEMAN, C.W. et al. The effect of the addition of organic materials on the decomposition of an organic soil. Soil Sci. Soc. Am. P.,17: 34-38, 1953.

recuperação do N do solo em plantas adubadas (^{15}N) for maior que o absorvido pelas testemunhas, acredita-se que o aumento nessa absorção seja devido ao aumento na mineralização líquida no solo (PE) ou ao PS.

Pelo exposto acima, pode-se prever que, neste experimento, o principal efeito foi o PE, uma vez que se adicionou ao solo a matéria orgânica dos resíduos culturais. Assim, o método com ^{15}N seria o adequado para quantificar a absorção do N-fertilizante adicionado ao solo, e o método da diferença no N-total, entre plantas adubadas e não, daria resultados superestimativos (Rao et al., 1992). Com efeito, Vitti (1998) e Oliveira (1999) destacaram que o método da diferença aplicado aos resultados deste experimento apresentou recuperação percentual do N-uréia superior a 100 %, nas maiores doses de N-uréia, o que é um contra-senso.

A recuperação do N-uréia (^{15}N) foi, em média, de 54 %, não havendo efeito do tipo de resíduo incorporado ao solo ($F = 0,78$ ns; C.V. = 13 %) nem da dose de N nesse resultado (Figura 5). Esse valor é elevado, se comparado aos de 10 a 40 %, da literatura para avaliações em campo (Carnaúba, 1989; Chapman et al., 1994; Sampaio et al., 1984; Takahashi, 1967, 1968; Wood, 1974; Yadav et al., 1990; Trivelin et al., 1995 e 1996; Vallis et al., 1996).

Neste trabalho, foi medida a recuperação do N-fertilizante na planta toda, tendo a parte subterrânea - raízes e rizomas - contribuído com mais de 10 % na recuperação total do N-uréia. Deve ser considerado, também, na interpretação desse elevado valor de recuperação do N-fertilizante, que as plantas tiveram o sistema radicular confinado no volume de terra dos vasos, o que representou uma limitação para o seu crescimento lateral e em profundidade. Em campo, as raízes poderiam explorar um volume

maior de solo, o que reduziria a absorção do N-fertilizante em relação ao N-mineral do solo.

Carter et al. (1967), Chan & Weng (1983) e Sampaio et al. (1984) verificaram a redução na percentagem de recuperação do N-fertilizante com o aumento das doses de N, mesmo com o aumento nos valores absolutos de recuperação (kg ha^{-1} ou mg vaso^{-1} de N). Muitas vezes, a redução na recuperação percentual do N-adubo com o aumento das doses é justificada pelas perdas do N aplicado, por lixiviação ou volatilização de amônia. Neste trabalho, não se constatou queda nos percentuais de recuperação, possivelmente, pela quantidade de material vegetal incorporada ao solo, de alta relação C:N, que imobilizou o N-uréia, impedindo que ocorressem perdas. Neste experimento, conforme Oliveira (1999) e Oliveira et al. (1999b), não ocorreu a lixiviação do N da uréia, e a quantidade de N total lixiviado durante todo o período experimental, considerados todos os tratamentos, foi equivalente a $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$.

Neste experimento, a proporção entre o N imobilizado pela biomassa microbiana e o aplicado foi maior, possivelmente, na dose mais baixa de N-uréia (30 kg ha^{-1} de N). Com o aumento das doses, e pelo estreitamento da relação C:N, a proporção entre o N imobilizado e o aplicado foi reduzida. Vitti (1998), em experimento de incubação aeróbia de solo que recebeu incorporação de matéria orgânica, com e sem aplicação de N-uréia, verificou que a mineralização líquida do N somente ocorreu após algumas semanas, e as taxas de mineralização foram mais elevadas no solo com adição de N. Com efeito, menor quantidade de N-fertilizante esteve disponível à cultura nos primeiros estádios de seu desenvolvimento, quando maior quantidade de N seria requerida (Sampaio et al., 1984; Rossiello, 1987; Silveira, 1985; Ng Kee Kwong & Deville, 1994b). Essas inferências dão suporte à hipótese formulada anteriormente a respeito da relevância da contribuição da matéria orgânica do solo na origem de outras fontes de N absorvidas pela cana-planta neste estudo.

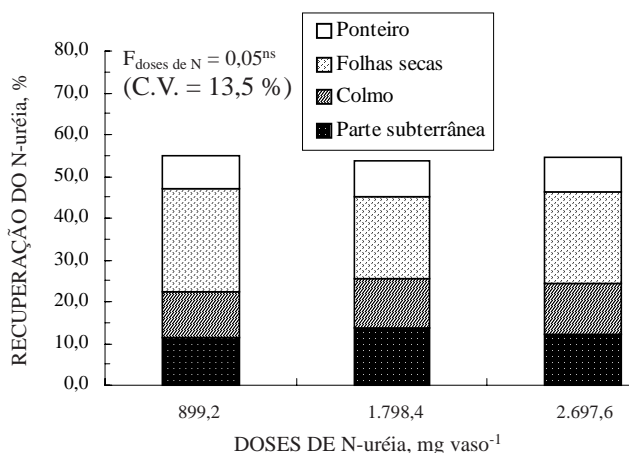


Figura 5. Recuperação do N-uréia aplicado ao solo na cana-planta (os valores de teste F e de C.V. referem-se à planta toda).

CONCLUSÕES

1. A cana-planta respondeu à adubação nitrogenada em produção de colmos e rendimento em açúcar, independentemente do tipo e quantidade de resíduo da cultura incorporados ao solo.

2. A adubação com N-uréia aumentou o rendimento em açúcar, como consequência exclusiva dos acréscimos na produção de colmos, sem alterar as qualidades tecnológicas do produto.

3. A adubação nitrogenada, associada à incorporação de resíduos culturais ao solo, fez com que a cana-planta utilizasse maior quantidade total de N.

4. Nas doses de 30 a 90 kg ha⁻¹ de N-uréia aplicadas no plantio da cana-de-açúcar, a planta utilizou 54 % desse N, contribuindo as raízes e rizomas com 10 % dessa recuperação.

5. A fertilização nitrogenada no plantio favoreceu o crescimento das raízes e o estoque de N no sistema radicular.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Usina Costa Pinto S.A. Açúcar e Álcool e ao Centro de Tecnologia da Copersucar, Divisão de Agronomia e Engenharia Agrícola, pelo apoio na execução deste estudo. A pesquisa foi financiada pela FAPESP: Proc. 95/8911-2 e 96/5600-9, e CNPq: Proc. 520306/95-3.

LITERATURA CITADA

- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D. & MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. *Álcool & Açúcar*, 67:23-25, 1993.
- AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H. & VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. *STAB*, 4:25-29, 1986.
- CAMARGO, P.B. Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes uréia (¹⁵N) e aquamônia (¹⁵N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1989. 104p. (Tese de Mestrado)
- CARNAÚBA, B.A.A. Eficiência de utilização e efeito residual de uréia-¹⁵N em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), em condições de campo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1989. 193p. (Tese de Mestrado)
- CARTER, J.N.; BENNETT, O.L. & PEARSON, R.W. Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 31:50-56, 1967.
- CHAN, Y. & WENG, T. Use of ¹⁵N to study the efficacy of nitrogen for sugarcane, nitrogen recovery on spring planting cane. *Taiwan Sugar*, 30:161-164, 1983.
- CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C. & SAFFIGNA, P.G. The recovery of ¹⁵N from labelled urea fertilizer in crop components of sugarcane and in soil profiles. *Aust. J. Agric. Res.*, 45:1577-1585, 1994.
- CRUTZEN, P.J.; HEIDT, L.E.; KRASNEC, J.P.; POLLOCK, W.H. & SEILER, W. Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl and CO₂. *Nature*, 282:253-256, 1979.
- FERNANDES, A.C. Autorização da colheita da cana-de-açúcar. Piracicaba, Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1986. 22p.
- HAUCK, R.D. Nitrogen - Isotope ratio analysis. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. *Methods of soil analysis 2 ed.* Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.735-802. (Agronomy, 9)
- HOLTAN-HARTWIG, L. & BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. *Nor. J. Agric. Sci.*, 14:1-41, 1994.
- JANNSON, S.L. & PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J., ed. *Nitrogen in agricultural soils.* Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.229-252. (Monograph, 122)
- JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called 'priming' effect. *J. Soil Sci.*, 36:425-444, 1985.
- KORNDÖRFER, G.H.; VALLE, M.R.; MARTINS, M. & TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana-planta. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:23-26, 1997.
- MALAVOLTA, E. Fertilizing for high yield sugarcane. Basel, International Potash Institute, 1994. 104p. (Bulletin, 14)
- MEINZER, F.C. & ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO₂ concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. *J. Exp. Bot.*, 49:1227-1234, 1998.
- NG KEE KWONG, K.F. & DEVILLE, J. The course of fertilizer nitrogen uptake by rain fed sugarcane in Mauritius. *J. Agric. Sci.*, 122:385-391, 1994.
- OLIVEIRA, M.W. Dinâmica do nitrogênio da uréia (¹⁵N) no sistema solo-cana-de-açúcar com ou sem queima da palhada. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. 1999. 93p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C. & PENATTI, C.P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. *Sci. Agric.*, 56:803-809, 1999a.
- OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C. & VITTI, A.C. Lixiviação de nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar: experimento em lisímetro. *STAB*, 18:28-31, 1999b.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A. & LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. *STAB*, 17:39-41, 1999.
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.F.; PARR, J.F. & PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic methods. *Fertil. Res.*, 33:209-217, 1992.
- RIPOLI, T.C.C.; MOLINA JR., W.F. & RIPOLI, M.J.C. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. *Sci. Agric.*, 57:677-681, 2000.
- ROSSIELLO, R.O.P. Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*, C.V. NA 56-79) em resposta à adubação nitrogenada em cambissolo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1987. 172p. (Tese de Doutorado)
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. & BETTAMY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência de utilização de uréia-¹⁵N em aplicação única ou parcelada. *Pesp. Agropec. Bras.*, 19:943-949, 1984.
- SILVA, L.C.F. Influência da adubação nitrogenada na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J., coord. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.* Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.317-332.

- SILVA, L.C.F. & CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J., coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.77-99.
- SILVEIRA, J.A.G. Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cultivada em condições de campo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1985. 152p. (Tese de Doutorado)
- SILVEIRA, J.A.G. & CROCOMO, O.J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. R. Bras. Fisiol. Veg., 2:7-15, 1990.
- STURION, A.C. & FERNANDES, A.C. Análise direta da cana-de-açúcar pelo método da prensa hidráulica. São Paulo, COPERSUCAR, 1979. p.12-15. (Boletim Técnico, 8-79)
- TAKAHASHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of ^{15}N . I. Summer and fall plant and a ratoon crops on the Hamakua coast of Hawaii. Haw. Plant. Rec., 57:237-266, 1967.
- TAKAHASHI, D.T. Fate of ammonium and nitrate fertilizers in lysimeter studies com ^{15}N . Haw. Plant. Rec., 58:1-12, 1968.
- TRIVELIN, P.C.O.; CAMARGO, P.B.; LIBARDI, P.L.; MORAES, S.O.; LARA CABEZAS, W.A.R. & PALHARES, A.L. Dinâmica do N dos fertilizantes: uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1988. 84p. (Relatório Técnico)
- TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S. & VICTORIA, R.L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia- ^{15}N e uréia- ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. Pesq. Agropec. Bras., 31:89-99, 1996.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. & RODRIGUES, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia- ^{15}N e uréia- ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. Pesq. Agropec. Bras., 30:1375-1385, 1995.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; LIMA, E. & GUIMARÃES, D.H.V. Importância de não queimar a palha da cana-de-açúcar. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1991. 12p. (Comunicado Técnico, 5)
- URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S. & BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:105-114, 1992.
- VALLIS, I; CATCHPOOLE, V.R.; HUGHES, R.M.; MYERS, R.J.K.; RIDGE, D.R. & WEIER, K.L. Recovery in plants and soils of ^{15}N applied as subsurface bands of urea to sugarcane. Australian J. Agric. Res., 47:355-370, 1996.
- VITTI, A.C. Utilização pela cana-de-açúcar (cana-planta) do nitrogênio da uréia (^{15}N) e do mineralizado no solo em sistemas de manejo com e sem a queima. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1998. 93p. (Tese de Mestrado)
- WOOD, R.A. The effect of time of application on the utilization of fertilizer nitrogen by plant cane. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 15., Durban, 1974. Proceeding. Durban, Hayne et Gibson, 1974. p.618-629.
- WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. Soil Till. Res., 20:69-85, 1991.
- YADAV, L.R.; KUMAR, R. & VERMA, R.S. Effects of nitrogen applied through different carriers on yield and quality of sugarcane. J. Agric. Sci., 114:225-230, 1990.