

UTILIZAÇÃO POR SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR DE INÍCIO DE SAFRA DO NITROGÊNIO DA AQUAMÔNIA-¹⁵N E URÉIA-¹⁵N APLICADO AO SOLO EM COMPLEMENTO À VINHAÇA¹

PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN², JOÃO CRISÓSTOMO SIMÕES RODRIGUES³ e REYNALDO LUIZ VICTORIA⁴

RESUMO - O aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia e da uréia aplicado ao solo foi avaliado pela técnica isotópica com ¹⁵N. O experimento foi conduzido em área comercial de cana da variedade SP 70-1143, primeira soca, no Estado de São Paulo. Cada tratamento com aquamônia e uréia contou com 19 linhas de 10 m de comprimento e com espaçamento de 1,4 m nas entrelinhas. Os fertilizantes nitrogenados (100 kg/ha de N) foram aplicados manualmente e enterrados no fundo de sulcos com 15 cm de profundidade, distantes 25 cm dos dois lados da linha de cana, após aplicação na superfície do solo de vinhaça, na dose de 100 m³/ha. Os fertilizantes ¹⁵N foram aplicados em parcelas simples de 2 metros lineares (quatro repetições). Os resultados experimentais mostraram que após 12 meses da adubação não houve diferença na produção de massa de material verde e seco da parte aérea e no aproveitamento do nitrogênio dos adubos. A recuperação do N-fertilizante, na parte aérea da cultura aos doze meses, foi de 12-13 kg/ha de N. Após seis meses da adubação, foram obtidas estimativas de recuperação, na parte aérea da cana-soca, de 24 e 19 kg/ha de N do nitrogênio da aquamônia e da uréia, respectivamente. O N total na parte aérea reduziu do 6º ao 9º mês, e parte do N-fertilizante acumulado na parte aérea foi translocado para as raízes, ou mesmo perdido por volatilização através da folhagem da cana-soca.

Termos para indexação: fertilizantes nitrogenados, técnica isotópica, cana-soca, *Saccharum* spp., acumulação de nitrogênio, massa verde, massa seca.

UTILIZATION BY EARLY HARVEST SUGAR CANE RATOON OF THE NITROGEN FROM ¹⁵N-AQUA AMMONIA AND ¹⁵N-UREA APPLIED TO THE SOIL AS VINASSE N-COMPLEMENT

ABSTRACT - The utilization of nitrogen from aqua ammonia and urea applied to the soil as vinasse N-complement by early harvest sugar cane ratoon was evaluated using ¹⁵N tracer technique. The experiment was conducted in São Paulo State on a commercial sugar cane field planted with the variety SP 70-1143, first ratoon crop. Two treatments of nitrogen fertilizer (urea and aqua ammonia) were used. Each treatment consisted of 19 neighbouring rows of sugar cane, 10 m long and 1.4 m apart. After vinasse application to the soil surface at a rate of 100 m³/ha, the N-fertilizers (100 kg/ha of N) were manually applied and buried to 15 cm deep in furrows located 25 cm from both sides of all cane rows. The ¹⁵N-fertilizers were applied to subplots of 2 linear meter row segments (4 replicates). The results of fresh and dry matter yield and nitrogen derived from the fertilizer in the shoots (12-13 kg/ha of N-fertilizer recovery) were the same for both treatments (aqua ammonia and urea), 12 months after N fertilization. Six months after fertilization the estimates of nitrogen recovery from the aqua ammonia and urea in the shoot of the ratoon crop were 24 and 19 kg/ha of N, respectively. The total N in the shoot decreased from the 6th to the 9th month, possibly indicating translocation to the roots, or even volatilization losses by the sugar cane foliage.

Index terms: nitrogen fertilizer, isotope technique, first ratoon crop, *Saccharum* spp., nitrogen accumulation, fresh matter, dry matter.

INTRODUÇÃO

No final da década de 70 e início dos anos 80, os ensaios de adubação nitrogenada com uréia em complemento à aplicação de vinhaça no solo, na cultura da cana-de-açúcar, evidenciavam respostas na produtividade de soqueiras com aumento das doses (Serra, 1979; Silva et al., 1980;

¹ Aceito para publicação em 19 de dezembro de 1995.

² Eng. Agr., Dr., Prof. Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA (USP), Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

³ Eng. Agr., Companhia Agrícola Zillo Lorenzetti, CEP 17290-000 Macatuba, SP.

⁴ Eng. Agr., Prof. Associado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ (USP) e Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA (USP).

Espironello et al., 1981; Magro et al., 1981; Glória et al., 1984; Pereira et al., 1985). Rodrigues et al. (1984) recomendaram doses de nitrogênio na faixa de 90 a 100 kg/ha em complemento à aplicação de vinhaça (80 a 120 m³/ha), na adubação de socas de cana-de-açúcar.

Com o uso mais intensivo dos fertilizantes fluidos na adubação de canaviais no Estado de São Paulo, a partir do início dos anos 80, temia-se pela queda na produtividade da cultura, devido a possíveis perdas do N da aquamônia aplicado ao solo.

Penna & Figueiredo (1984) e Rodrigues et al. (1984) não verificaram diferenças na produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar adubadas com uréia e aquamônia, em complemento à aplicação de vinhaça. Resultados de trabalho desenvolvido por Trivelin et al. (1995) também não revelaram diferenças na produtividade, assim como no aproveitamento do N da aquamônia e uréia (determinação pela técnica isotópica com ¹⁵N), na dose de 90 kg/ha de N, aplicadas em complemento à vinhaça (100 m³/ha), em cana-soca da variedade SP 70-1143 de final de safra.

Takahashi (1967 e 1970) verificou que o aproveitamento do N de fertilizantes (determinação pela técnica isotópica com ¹⁵N) por cana-planta e socas, em vários solos no Havaí, foi diferente quando canas foram colhidas no verão, outono ou primavera.

Como no Estado de São Paulo as condições climáticas e o regime de chuvas são diferentes para soqueiras com colheita de abril a junho (em início de safra) daquelas de final de safra (setembro a novembro), o presente trabalho teve por objetivo avaliar, com uso do ¹⁵N, o aproveitamento do nitrogênio dos fertilizantes aquamônia e uréia aplicado ao solo em complementação à vinhaça e a acumulação de N por cana-soca em início de safra.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em área comercial com cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143, primeira soca, pertencente à Usina Barra Grande, Zillo Lorenzetti, em Lençóis Paulista, SP. O solo, classificado como Areia Quartzosa (AQ), apresentou as seguintes características químicas da terra da entrelinha nas profundidades de 0-25\25-50 cm: pH 5,0\4,9 em água (2:1); 0,05\0,02 meq/100 cm³ de terra de PO₄³⁻ (H₂SO₄ 0,05N); K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺, Al³⁺: 0,06\0,03, 0,44\0,15, 0,29\0,11,

2,14\1,96, 0,27\0,58 meq/100 cm³ de terra, respectivamente; teores de matéria orgânica (MO%) de 1,62\1,24%. Previamente à adubação nitrogenada procedeu-se à fertilização de base com 100 m³/ha de vinhaça, que revelou os seguintes valores: pH de 4,4; N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e matéria orgânica (MO): 0,81; 0,09; 3,36; 0,88; 0,38 e 14,1 kg/m³, respectivamente. As análises químicas das amostras de terra e de vinhaça foram realizadas no Laboratório Central, Centro de Tecnologia COPERSUCAR (CTC), Piracicaba, SP.

O experimento foi instalado em terreno com declividade máxima de 4%, em junho de 1986, constando de três tratamentos, sendo dois com os fertilizantes nitrogenados aquamônia e uréia, na dose de 100 kg/ha de N, e o terceiro, sem fertilização complementar com N mineral (testemunha).

Foram idênticos ao experimento descrito por Trivelin et al. (1995) a área destinada a cada tratamento (26,6x10 m), o espaçamento entre as linhas de cana (1,4 m), a forma e o local de aplicação dos adubos nitrogenados (aplicação no fundo de sulcos com 15 cm de profundidade, distantes 25 cm de ambos os lados das linhas de cana). Adotou-se neste trabalho o modelo de parcela com fertilizante ¹⁵N (segmento simples de 2 m de comprimento e com quatro repetições por tratamento com N-fertilizante) e procedimentos de amostragem e cálculos do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF_{total}), como sugerido por Trivelin et al. (1994) e utilizado por Trivelin et al. (1995). Os fertilizantes ¹⁵N foram aplicados com enriquecimento de cinco átomos % em excesso no isótopo.

Mensalmente, do 4º ao 12º mês da adubação, com exceção ao 11º mês, procedeu-se à estimativa de produção de material verde da parte aérea da cana-soca por meio da contagem de perfilhos em 10 m lineares e pesagens de 30 perfilhos colhidos seguidamente (três repetições por tratamento). A massa de material seco e o nitrogênio acumulado na parte aérea da cultura, em diferentes estádios de crescimento, foram estimados de acordo com o procedimento descrito por Trivelin et al. (1995). Essas amostragens foram realizadas com canas do mesmo talhão daquelas com parcelas com fertilizantes ¹⁵N, mas em áreas à parte que continham os mesmos tratamentos (cinco linhas de cana com 30 metros de comprimento por tratamento).

Do 4º ao 10º mês da adubação realizaram-se, também, coletas de folhas +3 (folhas com a 3ª aurícula visível, segundo o sistema Kuijper) de plantas localizadas no metro central das parcelas com fertilizantes ¹⁵N (1*) e em posições correspondentes nas linhas adjacentes às mesmas (1* ± 1). Colheram-se também folhas +3 do tratamento testemunha, para avaliar a abundância natural de ¹⁵N (átomos %) na cana-soca, em diferentes estádios.

Em junho de 1987 (doze meses após a adubação) foi efetuada a colheita em cada tratamento, de 1 metro linear nas parcelas com adubo ^{15}N e nas linhas adjacentes, separando-se amostras de ponteiro, colmo e folhas secas, como descrito por Trivelin et al. (1995). No tratamento testemunha também colheram-se doze parcelas de 1 m, em posições equivalentes às dos tratamentos com fertilizante ^{15}N .

Os valores da temperatura ambiente foram obtidos de registros em estação meteorológica localizada próximo à área do ensaio. A quantidade de chuva (mm de água) foi obtida da leitura de pluviômetro instalado no local do experimento.

As determinações em amostras de plantas colhidas nos estádios de crescimento da soca, os cálculos dos valores do nitrogênio na parte aérea da cultura derivado do fertilizante (NPPF) e dos valores de abundância de ^{15}N de folhas +3, assim como das amostras da parte aérea na colheita final (doze meses da adubação), foram realizados como descrito por Trivelin et al. (1995).

Com os resultados procedeu-se à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ($p=0,05$). A teoria de propagação de erros (Furtado, 1967) foi utilizada para expressar a precisão dos resultados nas amostragens parciais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produção de material verde, material seco e nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-soca, do 4^o ao 12^o mês da adubação, constam na Tabela 1.

A massa de material verde da parte aérea no tratamento testemunha mostrou-se constantemente mais baixa que nos tratamentos com aquamônia e uréia. Já a massa de material seco não revelou a mesma tendência. Esse efeito deveu-se ao maior teor de umidade do material verde nos tratamentos com N mineral. A relação entre absorção de nitrogênio e também de potássio com a umidade na cana-de-açúcar já é conhecida há tempo (Humbert, 1968). Segundo Silva & Casagrande (1983), o nitrogênio parece favorecer a absorção de cálcio, nutriente fundamental na composição salina do citoplasma. O cálcio, por sua vez, faz parte da parede celular em forma de pectato de cálcio, que dá estrutura às células e facilita a absorção de água, por causa da sua elevada função plasmolítica.

A média de massa de material verde da parte aérea dos tratamentos com N mineral, do 4^o ao 12^o mês, ficou em torno de 75 t/ha, enquanto a testemunha, que só recebeu vinhaça, mostrou média significativamente inferior (64 t/ha). Já as médias de massa de material seco dos tratamentos uréia e testemunha não foram diferentes, mas diferiram da aquamônia que evidenciou o maior valor médio, sendo esse mesmo comportamento verificado com os resultados de N acumulado (Tabela 1).

Considerado os tratamentos com N mineral, as produções médias, após doze meses da adubação, de 102 t/ha e 28 t/ha de massa verde e seca, respectivamente, ficaram aquém das verificadas por Trivelin et al. (1995) com cana-soca de final de safra da mesma variedade (159 t/ha de massa verde e 62 t/ha de massa seca). Deve ser ressaltado que o experimento foi implantado em área de plantio comercial, e que o rendimento de colmos no primeiro corte foi de 84 t/ha (dado fornecido pelo Departamento Agrícola da Usina Barra Grande, ZL). Diversos fatores poderiam ter influído na baixa produtividade da cultura, a saber: o fato de a variedade de cana-de-açúcar SP 70-1143, que é recomendada para colheita no período do meio ao final da safra (Nunes Júnior, 1992), ter sido colhida em início de safra; na área nunca havia sido aplicada a vinhaça; solo de baixíssima fertilidade, pobre em cálcio e com elevada concentração de Al na profundidade de 25-50 cm; além de fatores do ambiente, como a umidade do solo, uma vez que até dois meses antes da colheita ocorreram chuvas com relativa intensidade (Fig. 1), que podem ter levado a cana-soca a manter-se em crescimento, atrasando o início do estágio de maturação (acumulação de sacarose) com menor massa de colmos aos doze meses.

Verifica-se na Tabela 1 que o teor de nitrogênio na massa seca da parte aérea reduziu-se acentuadamente com o tempo. Fica evidente que não houve aumento significativo no N acumulado a partir do 6^o mês da adubação, e o valor médio, considerando-se os três tratamentos, foi de 90-100 kg/ha de N. Esses resultados indicam que a cana-soca acumulou nitrogênio nos estádios iniciais (até o 6^o mês) para utilizá-lo nos estádios subsequentes (Humbert, 1968; Silveira, 1985).

TABELA 1. Massa de material verde, massa de material seco e nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-soca de início de safra fertilizada com aquamônia e uréia (100 kg/ha de N), e sem adubo mineral (testemunha), em diferentes estádios de crescimento (do 4^o ao 12^o mês da adubação nitrogenada).¹

Tempo da adubação	Tratamento	Massa verde	Massa seca	Nitrogênio acumulado	
Meses		----- t/ha -----		%	kg/ha
4	Uréia	21±2	4,8±0,5	1,09±0,02	52± 5
	Aquamônia	23±2	5,2±0,4	1,14±0,03	59± 4
	Testemunha	16±1	3,7±0,2	1,10±0,02	41± 2
5	Uréia	33±2	7,5±0,4	0,91±0,03	68± 4
	Aquamônia	32±1	7,7±0,3	0,94±0,02	73± 3
	Testemunha	25±2	6,0±0,4	0,88±0,04	53± 4
6	Uréia	65±5	10,9±0,9	0,84±0,04	92± 9
	Aquamônia	69±5	12,2±1,0	0,84±0,04	102±10
	Testemunha	56±2	10,3±0,3	0,78±0,03	80± 4
7	Uréia	88±3	15,5±0,9	0,63±0,01	98± 6
	Aquamônia	85±2	15,9±0,3	0,65±0,04	103± 7
	Testemunha	74±1	14,8±0,3	0,64±0,03	95± 5
8	Uréia	87±6	16,1±1,3	0,55±0,06	89±12
	Aquamônia	89±2	18,5±0,6	0,52±0,03	96± 6
	Testemunha	75±2	17,1±0,6	0,57±0,04	97± 8
9	Uréia	95±4	25,5±1,7	0,30±0,02	76± 7
	Aquamônia	100±3	28,4±1,4	0,35±0,03	99±10
	Testemunha	83±2	24,7±0,7	0,26±0,03	64± 8
10	Uréia	100±4	25,5±1,2	0,30±0,03	76± 8
	Aquamônia	98±2	26,4±0,6	0,34±0,02	90± 6
	Testemunha	88±2	26,8±0,8	0,33±0,03	88± 8
12	Uréia	101±3	26,6±0,9	0,34±0,03	90± 8
	Aquamônia	103±2	28,9±0,5	0,35±0,01	101± 3
	Testemunha	92±2	26,1±0,6	0,30±0,02	78± 5
Médias ²	Uréia	74 a	16,5 b	0,62 ab	80 b
	Aquamônia	75 a	17,9 a	0,64 a	90 a
	Testemunha	64 b	16,2 b	0,61 b	75 b

¹ Média e desvio-padrão da média (m±se) de três repetições. O desvio-padrão da média (se) foi obtido por propagação de erro.

² Médias dos tratamentos com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (p=0,05).

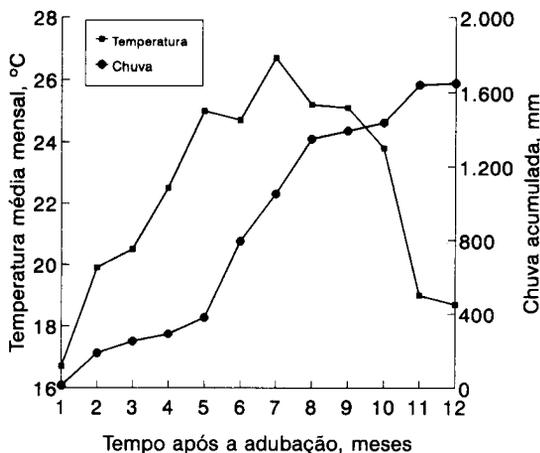


FIG. 1. Temperatura média mensal e chuva acumulada de junho de 1986 a maio de 1987 no local do experimento.

A correlação dos resultados de produção de massa de material seco com os de nitrogênio acumulado, considerando-se os três tratamentos, nos diferentes estádios de crescimento da cana-soca, está ilustrada na Fig. 2. Observa-se que o acúmulo de nitrogênio na parte aérea foi acompanhado por aumento de material seco até por volta do 6º mês da adubação, quando permaneceu relativamente estabilizado no 7º e 8º meses; decresceu ligeiramente do 8º ao 9º mês, e voltou a crescer entre o 10º e o 12º mês. No período do 6º ao 9º mês não houve acréscimo no N total, enquanto o incremento de matéria seca foi da ordem de 15 t/ha. Do 9º ao 11º mês da adubação, verifica-se uma inversão, ocorrendo em média aumento de 25 kg/ha de N nitrogênio na parte aérea, com acréscimo de pouco mais de 3 t/ha de massa seca. Para explicar esses resultados pode-se levantar como hipótese que o nitrogênio da parte aérea foi translocado para o sistema radicular a fim de sustentar o desenvolvimento de novas raízes no período compreendido entre o 6º (dezembro/86) e o 9º mês (março/87). Tem-se que, no período considerado, coincidente com a fase de máximo crescimento da cana-soca, ocorreram chuvas acima de 1.000 mm e temperaturas médias elevadas (estação de verão), como pode ser constatado na Fig. 1. A emissão de novas raízes teria propiciado a exploração de maior volume de solo pelo sistema radicular da soqueira, com conseqüente absorção

posterior de nitrogênio do solo entre o 9º e o 12º mês, o qual supriu aquele translocado da parte aérea para as raízes, no 8º e 9º meses. Outra possível justificativa para as reduções de N na parte aérea poderia ser as perdas por volatilização de compostos nitrogenados através da folhagem, que podem ocorrer junto à corrente transpiratória, principalmente em folhas na maturidade e na senescência (Stutte et al., 1979; Silva & Stutte, 1981). De fato, aos nove meses a cultura já apresentava folhas secas que haviam passado pela fase de senescência.

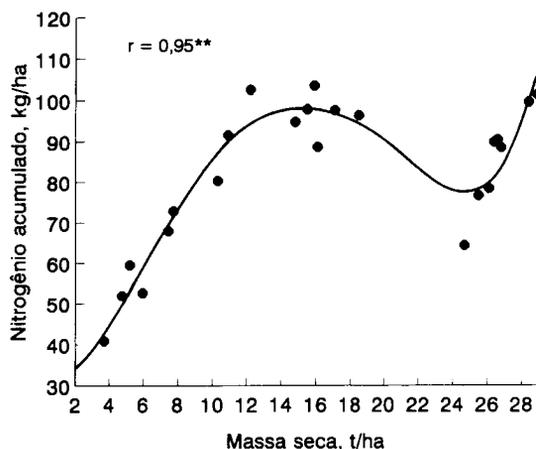


FIG. 2. Correlação da produção de material seco e o nitrogênio acumulado na parte aérea de cana-soca de início de safra, em diferentes estádios de crescimento.

Não deve ser desprezada a hipótese da ocorrência da fixação biológica do nitrogênio (FBN) ao final do ciclo, como também sugerido por Trivelin et al. (1995), a fim de explicar o acréscimo no N total da parte aérea da cultura, uma vez que o solo, no local do ensaio, não revelou teor de matéria orgânica que justificasse a mineralização de N para fornecer à cultura a quantidade assimilada do 9º ao 12º mês.

Variações na abundância de ^{15}N em espécies associadas com microrganismos fixadores de nitrogênio é fato conhecido, podendo servir para detecção de possíveis sistemas fixadores do N_2 atmosférico (Shearer & Kohl, 1986).

Os resultados de abundância de ^{15}N de folhas +3 no tratamento testemunha, coletadas entre o 4^o e o 10^o mês e na colheita final, não evidenciaram qualquer variação significativa na abundância natural do isótopo (0,367 átomos % de ^{15}N na média do 4^o e do 10^o mês) que possibilitasse inferir a respeito da ocorrência da FBN.

Na Tabela 2 constam os resultado de nitrogênio proveniente do fertilizante na parte aérea ($\text{NP}_{1,2,1}$, $\text{PF}_{1,2,1}$, $\text{NP}_{1,2,1}\text{PF}_{1,2,1}$ e $\text{NPPF}_{\text{total}}$), em diferentes estádios de crescimento da cana-soca. Fica evidente, nos dois tratamentos, que as plantas de linhas adjacentes às parcelas com ^{15}N absorveram do fertilizante marcado. Na média dos tratamentos em todas as épocas, somente 70% do N-fertilizante na parte aérea das plantas de uma linha foi absorvido daquele aplicado na própria linha. Estes resultados reforçam aqueles obtidos por Trivelin et al. (1994; 1995), em que as plantas de uma linha de cana absorvem do N-fertilizante aplicado na própria linha, assim como do fertilizante aplicado nas linhas adjacentes, devido à extensão do sistema radicular e à difusão do N-adubo no solo.

Os resultados de $\text{NPPF}_{\text{total}}$ (kg/ha) da Tabela 2, ilustrados na Fig. 3, evidenciam que do 4^o ao 6^o mês da adubação ocorreu aumento no $\text{NPPF}_{\text{total}}$, atingindo valores médios de 23,7 e 19,1 kg/ha de N, respectivamente, nos tratamentos aquamônia e uréia. Do 6^o ao 7^o mês observa-se uma certa estabilização no tratamento aquamônia, ocorrendo queda acentuada nos dois tratamentos até o 9^o mês, quando praticamente permanecem estabilizados no 9^o e no 10^o mês. Esses resultados mostram coerência com aqueles do N acumulado total, quando se levantou a hipótese de que do 6^o ao 9^o mês da adubação, o nitrogênio da parte aérea teria sido translocado para o sistema radicular ou perdido por volatilização foliar. Resultados semelhantes de redução do N-fertilizante absorvido por soqueiras de cana-de-açúcar (determinação pela técnica isotópica), ao longo do ciclo da cultura, também foram observados por Sampaio & Salcedo (1987) em ensaio de campo no Estado de Pernambuco.

Ainda, dos resultados da Tabela 2 pode-se observar que o tratamento aquamônia sempre revelou os maiores valores, indicando, em princípio, que

nas condições experimentais do ensaio a cana-soca absorveu mais nitrogênio da aquamônia que da uréia.

Os resultados de massa e umidade do material verde, massa de material seco e nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-soca aos doze meses, na colheita realizada nas parcelas com fertilizantes ^{15}N , constam na Tabela 3. Esses resultados não foram diferentes daqueles da Tabela 1, considerada a mesma época. A umidade do material verde dos tratamentos com N mineral revelou-se significativamente maior que a da testemunha, sendo esse efeito causado pela absorção de nitrogênio, como pode ser confirmado pela significância estatística dos teores médios de N nos tratamentos aquamônia e uréia, em relação à testemunha. A massa de material verde e seco e o N acumulado (kg/ha) dos tratamentos não se mostraram diferentes estatisticamente, devendo-se esse fato à grande variabilidade na massa de material verde.

A produção média final de cana industrial de 75 t/ha (Tabela 3) foi inferior a 120 t/ha, obtida por Trivelin et al. (1995) com a mesma variedade, na condição de colheita em final de safra, mas não diferiu da obtida por Penna & Figueiredo (1984) com cana colhida de maio a junho, na safra 82/83 (1^a soca), e com tratamentos semelhantes aos do presente trabalho (80 kg/ha de N com aquamônia e uréia em complementação a 105 m³/ha de vinhaça e mesma variedade de cana).

A massa de folhas secas (Tabela 3) foi cerca de um terço daquela obtida por Trivelin et al. (1995), evidenciando o efeito das condições ambientais no ciclo vegetativo da cana-soca de início de safra, comparada com a de final de safra, mesmo considerando a possível influência da fertilidade do solo.

O nitrogênio acumulado na parte aérea, em especial nos colmos (Tabela 3), foi muito inferior ao obtido em outros ensaios (Orlando Filho et al., 1980; Sampaio & Salcedo, 1987; Trivelin et al., 1995). Esses resultados podem ser decorrentes do baixo teor de matéria orgânica do solo, que resultou em baixos teores de N mineral disponíveis para as plantas, aliados à textura do solo muito arenosa, a qual favoreceu a lixiviação de NO_3^- , nos meses de elevada pluviosidade.

TABELA 2. Nitrogênio na parte aérea de soqueira de cana-de-açúcar de início de safra proveniente dos fertilizantes aquamônia-¹⁵N e uréia-¹⁵N (100 kg/ha de N), em diferentes estádios de crescimento.

Tratamento	NP ₁ .PF ₁ . ¹	NP ₁₊₂ .PF ₁ . ¹	NPPF _{total} ²		Recuperação do N-adubo
	----- % -----		kg/ha	%	
Outubro/1986 (4 meses)					
Aquamônia	17,5±0,9	4,1±1,9	25,7±3,9	15,3±2,3	15,3
Uréia	12,3±2,4	1,5±0,4	15,3±2,9	8,0±1,5	8,0
Novembro/1986 (5 meses)					
Aquamônia	16,5±2,4	3,0±0,7	22,5±2,8	16,4±2,1	16,4
Uréia	12,3±1,3	1,8±0,3	15,9±1,5	10,8±1,0	10,8
Dezembro/1986 (6 meses)					
Aquamônia	15,3±1,9	4,0±1,0	23,2±2,5	23,7±2,6	23,7
Uréia	11,9±1,1	2,6±0,5	17,0±1,8	19,1±3,0	19,1
Janeiro/1987 (7 meses)					
Aquamônia	13,6±1,6	4,8±1,2	23,1±2,9	23,8±3,0	23,8
Uréia	12,1±1,8	1,9±0,5	16,0±2,5	15,6±2,4	15,6
Fevereiro/1987 (8 meses)					
Aquamônia	13,6±1,3	3,2±0,6	20,1±2,5	19,3±2,4	19,3
Uréia	9,2±0,3	2,2±0,6	13,7±1,2	12,1±1,0	12,1
Março/1987 (9 meses)					
Aquamônia	11,8±0,7	1,8±0,3	15,3±0,9	15,2±0,9	15,2
Uréia	7,9±0,7	1,8±0,3	11,5±0,4	8,8±0,3	8,8
Abril/1987 (10 meses)					
Aquamônia	9,2±0,6	2,6±0,6	14,4±2,0	12,9±1,8	12,9
Uréia	8,6±0,7	1,4±0,3	11,3±0,8	8,7±0,6	8,7

¹ Média e desvio-padrão da média (m±se) de quatro e oito repetições, para NP₁.PF₁. e NP₁₊₂.PF₁., respectivamente.² Média e desvio-padrão da média (m±se) de quatro repetições.

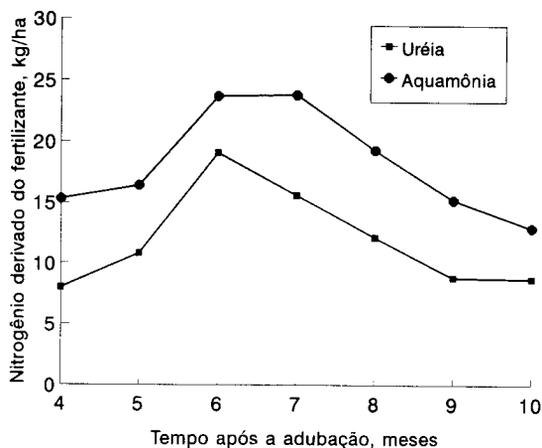


FIG. 3. Nitrogênio na parte aérea da soca de cana-de-açúcar ('SP 70-1143') derivado dos fertilizantes: aquamônia e uréia (NPPF_{total} kg/ha) do 4^o ao 10^o mês da adubação.

Na Tabela 4 constam os resultados da estimativa da utilização pela cana-soca do N dos fertilizantes aquamônia e uréia aos doze meses da adubação. Como também observado em ensaio prévio com soqueira de final de safra (Trivelin et al., 1995), os resultados dos tratamentos não diferiram significativamente, embora o valor médio da aquamônia tenha-se revelado maior. O N-fertilizante na parte aérea da cana-soca de início de safra representou 12-13 kg/ha (utilização de 12-13% do N-fertilizantes), valor esse cerca de um terço daquele obtido na condição de final de safra por Trivelin et al. (1995). Não se deve esquecer da redução na quantidade de nitrogênio absorvido do fertilizante e acumulado na parte aérea. Tal efeito subestima o real aproveitamento do nitrogênio dos adubos, se observados somente os resultados aos doze meses.

TABELA 3. Massa de material verde, massa de material seco, umidade do material verde e nitrogênio acumulado na parte aérea de cana-soca de início de safra fertilizada com aquamônia e uréia (100 kg/ha de N), e sem adubo mineral (testemunha), após doze meses da adubação¹.

Tratamento	Partes da planta	Massa verde	Umidade da massa verde ²	Massa seca	Nitrogênio acumulado ²	
		t/ha	%	t/ha	%	kg/ha
Aquamônia	Folhas secas	7± 1	19,2±1,6a	5,8±0,9	0,32±0,01a	19± 4
	Colmo	68± 8	75,4±0,6a	16,6±2,9	0,26±0,01a	44± 5
	Ponteiro	15± 2	73,6±0,2b	3,9±0,5	1,03±0,02a	41± 6
	Planta toda	90±11	70,9±0,6a	26,3±3,2	0,39±0,01a	103±13
Uréia	Folhas secas	10± 1	13,4±0,7b	8,6±1,1	0,32±0,01a	28± 4
	Colmo	89±11	75,5±0,4a	21,9±2,8	0,27±0,01a	59± 8
	Ponteiro	17± 2	74,6±0,2a	4,4±0,5	1,00±0,02ab	44± 5
	Planta toda	116±14	70,2±0,4a	34,9±4,4	0,37±0,01a	131±17
Testemunha	Folhas secas	9± 1	17,5±1,1ab	7,6±0,6	0,29±0,01b	22± 2
	Colmo	70± 5	73,6±0,2b	18,4±1,5	0,23±0,01b	42± 3
	Ponteiro	16± 1	73,9±0,2ab	4,1±0,4	0,94±0,02b	39± 3
	Planta toda	95± 7	68,3±0,3b	30,2±2,4	0,34±0,01b	103± 8

¹ Média e desvio-padrão da média (m±se) de doze repetições.

² Médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras distintas diferem significativamente pelo teste de Tukey (p=0,05).

TABELA 4. Nitrogênio na parte aérea de soqueira de cana-de-açúcar de início de safra proveniente dos fertilizantes aquamônia-¹⁵N e uréia-¹⁵N (100 kg/ha de N), após doze meses da adubação.

Tratamento	Parte da planta	kg/ha			Recuperação do N-fertilizante %
		NP ₁ •PF ₁ ¹	NP _{1±1} PF ₁ ¹	NPPF _{total} ²	
Aquamônia	Folhas secas	2,1±0,6	0,5±0,1	3,1±0,7	3,1
	Colmo	3,4±0,6	1,1±0,3	5,7±0,8	5,7
	Ponteiro	3,2±0,8	1,0±0,2	5,2±1,0	5,2
	Parte aérea	8,7±1,9	2,6±0,6	14,0±2,4	14,0
Uréia	Folhas secas	1,6±0,4	0,5±0,1	2,7±0,1	2,7
	Colmo	2,8±0,5	1,1±0,3	5,0±0,2	5,0
	Ponteiro	2,2±0,4	0,8±0,2	3,7±0,1	3,7
	Parte aérea	6,6±1,3	2,4±0,6	11,5±0,2	11,5

¹ Média e desvio-padrão da média (m±se) de quatro e oito repetições, para NP₁•PF₁ e NP_{1±1}PF₁, respectivamente.

² Média e desvio-padrão da média (m±se) de quatro repetições.

Na Tabela 4 pode-se verificar que aos doze meses, em média, 60% do N dos fertilizantes na parte aérea da cana-soca foram provenientes do fertilizante aplicado na linha, sendo os 40% restantes absorvidos do N-fertilizante de linhas adjacentes. Esses resultados diferem um pouco dos obtidos por Trivelin et al. (1995) com soqueira de final de safra (74 e 26%, respectivamente), devendo-se ao solo mais arenoso, que pode ter possibilitado maior crescimento lateral das raízes, ou ainda, pela maior difusão do N-fertilizantes horizontalmente no solo.

Neste trabalho, como no de Trivelin et al. (1995), não foi verificada, na colheita final, diferença na produtividade e na utilização do nitrogênio dos fertilizantes uréia e aquamônia pela cana-soca que confirmasse o baixo aproveitamento do N do adubo fluido pela cultura; ao contrário, foram observadas tendências durante o crescimento da cana-soca fertilizada com a fonte fluida que revelam maiores índices de produtividade e de utilização do N-fertilizante.

CONCLUSÕES

1. Aos doze meses da adubação, não se verificou diferença no aproveitamento do nitrogênio dos adubos aquamônia e uréia aplicados ao solo (100 kg/ha de N), que foi de 12-13 kg/ha de N.

2. Os máximos valores de utilização do nitrogênio da aquamônia e uréia ocorreram aos seis meses da adubação, e foram de 24 e 19 kg/ha de N, respectivamente.

3. O N total acumulado na parte aérea da cana-soca reduziu-se entre o 6º e o 9º mês, o que pode ter sido causado por translocação de N para as raízes, ou mesmo por perdas por volatilização através da folhagem da cultura.

AGRADECIMENTOS

À Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR) pelo suporte financeiro à pesquisa, ao Departamento Agrícola da Usina Barra Grande de Lençóis

Paulista, SP, na pessoa do Eng. Agr., E. J. Nelli, pelas facilidades oferecidas durante a condução do trabalho, e ao Técnico Agrícola, A. L. Palhares, pela dedicação na condução do ensaio em campo.

REFERÊNCIAS

- ESPIRONELLO, A.; CAMARGO, A. P.; NAGAI, V.; LEPSCH, I.F. Efeitos de nitrogênio e fósforo como complementação da aplicação de vinhaça em soca de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: STAB, 1981. p. 128-139.
- FURTADO, N.F. Sistema de unidades: teoria dos erros. In: SEARS, F.W. *Física*. Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1967. Cap. 2, p.61-103.
- GLORIA, N.A.; FONTANARI, N.; ALONSO, O.; HENRIQUE, J.L.P.; GERALDI FILHO, L.; ALBUQUERQUE, F.C. Complementação nitrogenada de soqueiras de cana-de-açúcar fertilizada com vinhaça. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo. *Anais...* São Paulo: STAB, 1984. p.74-77.
- HUMBERT, R.P. The nutrition of sugar cane. In: THE GROWING of sugar cane. Amsterdam: Elsevier, 1968. p.133-309.
- MAGRO, J.A.; SILVA, L.C.F.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Estudo da complementação mineral da vinhaça na fertilização de cana-de-açúcar com trator de eixo alto. *Saccharum STAB*, São Paulo, v.4, n.14, p.28-30, 1981.
- NUNEZ JÚNIOR, D. Variedades de cana-de-açúcar: perspectivas de substituição e expectativas de ganhos de produtividades. *STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.10, n.3, p.9-13, 1992.
- ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, em função da idade em solos do Estado de São Paulo. *Boletim Técnico do PLANALSUCAR*, v.2, p.1-128, 1980.
- PENNA, M.J.; FIGUEIREDO, A.A.M. Aquamônia x uréia em soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., 1982, Piracicaba. *Anais...* São Paulo: COPERSUCAR, 1984. p.180-195.
- PEREIRA, V.; GLORIA, N.A.; MAGALHÃES, M.P. A adubação nitrogenada das soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. *Álcool e Açúcar*, São Paulo, v.4, n.20, p.28-30, 1985.
- RODRIGUES, J.C.S.; PENNA, M.J.; MORAES, R.S. Complementação nitrogenada em áreas fertilizadas com vinhaça. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA: MANEJO E ADUBAÇÃO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 3., 1984, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: COPERSUCAR, 1984. p.180-195.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Eficiência de utilização de uréia-¹⁵N por cana-planta e três socas em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4., CONVENÇÃO DA ACTALAC, 7., 1987. Olinda. *Anais...* Olinda: STAB, 1987. p.46-49.
- SERRA, G.E. *Aplicação de vinhaça complementada com nitrogênio e fósforo em cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.)*. Piracicaba: USP-ESALQ, 1979. 45p. Dissertação de Mestrado.
- SHEARER, G.; KOHL, D.H. N₂-fixation in field settings: estimations based on natural ¹⁵N abundance. *Australian Journal of Plant Physiology*, East Melbourne, v.13, p.699-756, 1986.
- SILVA, L.C.F.; ALONSO, O.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Efeito da complementação mineral da vinhaça na fertilização da cana-de-açúcar. *Saccharum STAB*, São Paulo, v.3, n.11, p.40-44, 1980.
- SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba: IAA Planalsucar, 1983. p.77-99.
- SILVA, P.R.F.; STUTTE, C.A. Nitrogen loss in conjunction with transpiration from rice leaves as influenced by growth stage, leaf position, and N supply. *Agronomy Journal*, Madison, v.73, n.1, p.38-48, 1981.
- SILVEIRA, J.A.G. *Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (Saccharum spp.) cultivada em condições de campo*. Piracicaba: USP-ESALQ, 1985. 152p. Tese de Doutorado.

- STUTTE, C.A.; WEILAND, R.T.; BLEM, A.R. Gaseous nitrogen loss from soybean foliage. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, n.1, p.95-97, 1979.
- 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. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v.57, n.3, p.237-266, 1967.
- TAKAHASHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of ^{15}N . III. Summer and winter plant and ratoon crops at two locations on Kauai. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v.58, n.4, p.53-69, 1970.
- TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Evaluation of a ^{15}N plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugar cane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n.2, p.226-234, 1994.
- 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.12, p.1375-1385, 1995.