

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

PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN², REYNALDO LUIZ VICTORIA³ e
JOÃO CRISÓSTOMO SIMÕES RODRIGUES⁴

RESUMO - O aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final 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 (aquamônia e uréia) contou com 19 linhas de 10 m de comprimento, com espaçamento de 1,4 m entre linhas. Os fertilizantes nitrogenados (90 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 a adubação com uma ou outra forma de fertilizante nitrogenado não influiu na produtividade da cana e não houve diferença entre as quantidades de nitrogênio derivado dos fertilizantes na parte aérea da cultura (recuperação de 40% de N-fertilizante) após 12 meses de adubação (colheita final). Os resultados de N acumulado na parte aérea, em diferentes estádios de crescimento e na colheita final, indicaram forte evidência de ocorrência da fixação biológica de nitrogênio (FBN), que associada à absorção de nitrogênio do solo resultou no acúmulo de 260 kg/ha de N na parte aérea da cultura, aos doze meses após a adubação.

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

UTILIZATION BY LATE HARVEST SUGAR CANE RATOON OF 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 late 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 (90 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 single microplots of 2 linear meter row segments (4 replicates). The sugar cane yield and N derived from the fertilizer (40% of N-fertilizer recovery) were similar for both treatments of N-fertilizer (aqua ammonia and urea), 12 months after fertilization (final harvest). The results of accumulated nitrogen in the shoot, at different growing stages and up to the harvest time, strongly indicated the occurrence of biological nitrogen fixation (BNF). The BNF together with the nitrogen taken up from the soil resulted in a total of 260 kg/ha of N accumulated in the shoot of ratoon crop after 12 months growing period.

Index terms: nitrogen fertilizers, isotope technique, first ratoon crop, *Saccharum* spp., nitrogen accumulation.

¹ Aceito para publicação em 4 de outubro 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., Prof. Associado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ (USP) e Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA (USP), Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. Agr., Companhia Agrícola Zillo Lorenzetti, CEP 17290-000 Macatuba, SP.

INTRODUÇÃO

Os fertilizantes fluidos foram introduzidos na adubação dos canaviais paulistas em meados da década de 70, com base nas vantagens econômicas destes em relação aos adubos sólidos. Na época, os ensaios de adubação nitrogenada (adubos sólidos) em soqueiras de cana-de-açúcar demonstravam res-

postas à complementação da vinhaça com nitrogênio (Serra, 1979; Silva et al., 1980; Espironello et al., 1981). Nesse sentido, PLANALSUCAR (1979) preconizava que, caso o teor de argila do solo fosse inferior a 35%, a resposta de soqueiras à complementação nitrogenada da vinhaça seria reduzida. Magro et al. (1981) verificaram que o emprego de dose complementar à vinhaça de 90 kg/ha de N, em solo argiloso, possibilitou o aumento na produção de cana, não sendo verificado o mesmo efeito em solos arenosos. Por outro lado, Rodrigues et al. (1984), baseando-se em resultados de grande número de ensaios de adubação e em diferentes solos, recomendaram dose de nitrogênio na faixa de 90 a 100 kg/ha, em complementação à vinhaça (80 a 120 m³/ha), independentemente do solo.

Gloria et al. (1984), testando doses de N-uréia de 45 a 120 kg/ha de N em complementação à aplicação de vinhaça (90 m³/ha) na adubação de soqueira de cana, verificaram existir tendência de resposta à adubação complementar nitrogenada. Segundo os autores, o aumento de produtividade foi independente do solo (LR, TR ou LE), sendo as maiores diferenças, estatisticamente significativas, verificadas com complementação de N em solos com CTC superior a 7 meq/100g de solo. Não foi verificada correspondência entre o teor de argila do solo e resposta à complementação nitrogenada.

Pereira et al. (1985), utilizando 100 m³/ha de vinhaça e doses complementares de 45 a 90 kg/ha de N como uréia, verificaram que foi variável a intensidade de resposta da cana-de-açúcar à complementação nitrogenada, o que não permitia o estabelecimento de uma dose como recomendação geral. Nos solos com teor de argila inferior a 35%, segundo os autores, haveria grande possibilidade de não ocorrerem respostas à complementação nitrogenada.

Houve, no início, resistência de produtores de cana-de-açúcar à adoção de dose de 90 a 100 kg/ha de N em complementação à vinhaça, como recomendado por Rodrigues et al. (1984), pois se imaginava que, em determinadas condições, além da possibilidade de não ocorrerem respostas à adubação mineral, viesse a ocorrer, devido à dose, perdas do nutriente por lixiviação, volatilização ou imobilização química e biológica, resultando em baixo apro-

veitamento do N-fertilizante pela cultura. Já com o adubo fluido aquamônia, por ser volátil, acreditava-se que as perdas poderiam ser ainda mais expressivas, mesmo quando aplicado em profundidade no solo, causando queda de produtividade da cultura.

Com base no exposto, conduziu-se o trabalho com o objetivo de avaliar a acumulação de N na cana-soca e a utilização do nitrogênio dos adubos aquamônia e uréia pela cana de final de safra, fazendo-se uso da técnica isotópica com ¹⁵N.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi instalado em setembro de 1984 em área comercial de cana-de-açúcar da variedade SP 70-1143, de primeiro corte (1ª soca), pertencente a Usina Barra Grande, Zillo Lorenzetti, em Lençóis Paulista, SP. O solo, classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd), apresentou características químicas da terra coletada na entrelinha e nas profundidades 0-25\25-50 cm de: pH 5,3\5,0 em água (2:1); 0,24\0,12 meq/100 cm³ de terra de PO₄³⁻ (H₂SO₄, 0,05N); K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺, Al³⁺ de 0,11\0,04, 0,78\0,56, 0,36\0,10, 2,84\1,92, 0,59\0,82 meq/100 cm³ de terra, respectivamente, e teores de carbono orgânico (C%) de 1,47\0,88%. Previamente à adubação nitrogenada, procedeu-se à fertilização de base com 100 m³/ha de vinhaça, aplicada na superfície do solo com caminhão. A análise química da vinhaça revelou os seguintes valores: pH de 4,5; N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e matéria orgânica (MO) de 0,58, 0,09, 2,82, 0,81, 0,40 e 17,21 kg/m³, respectivamente. As determinações químicas em amostras de terra e vinhaça foram realizadas no Laboratório Central, Centro de Tecnologia COPERSUCAR- CTC, Piracicaba, SP.

O experimento constou de dois tratamentos com fertilizantes nitrogenados (uréia e aquamônia), na dose de 90 kg/ha de N, e foi instalado num talhão com declividade do terreno inferior a 3%. Cada tratamento foi representado por uma área com 19 segmentos de linhas de cana de 10 m de comprimento e espaçamento de 1,4 m entre linhas. A cada quatro linhas e no centro das áreas de cada tratamento foram demarcadas parcelas de 2 m lineares que receberam o fertilizante enriquecido com ¹⁵N (três átomos % em excesso), resultando em quatro parcelas com fertilizante ¹⁵N por tratamento. Os fertilizantes uréia e aquamônia foram aplicados manualmente e enterrados no fundo de sulcos com 15 cm de profundidade, distantes 25 cm dos dois lados das linhas de cana, após gradeação do solo na entrelinha, à semelhança da operação triplíce recomendada por Rodrigues et al. (1984). Todas as linhas

de cana destinadas a um tratamento receberam a dose correspondente do nutriente na forma respectiva.

Mensalmente, do 3^a ao 8^a mês da adubação, realizaram-se a contagem de perfilhos em 10 metros lineares, nas linhas adjacentes às parcelas com ¹⁵N (três repetições por tratamento) e a colheita de 30 perfilhos seguidos, de linhas não adjacentes às parcelas com o isótopo (três repetições por tratamento), para determinação da massa de material verde da parte aérea da soqueira. De cada amostra de 30 perfilhos foi retirada uma subamostra, após moagem em moenda tipo forrageira. Nas subamostras, após secagem, determinaram-se a umidade do material verde e o teor de nitrogênio (N%) por digestão-destilação Kjeldahl. Com esses resultados, considerando existirem 7.143 metros lineares de cana num hectare, estimaram-se a produção média de massa de material verde e seco (t/ha) e o nitrogênio total acumulado (kg/ha) na parte aérea da cana, em diferentes estádios.

Do 3^a ao 7^a mês após a adubação foram também realizadas coletas mensais de folhas inteiras +3 (folhas com a 3^a aurícula visível segundo o sistema Kuyper) de plantas localizadas no metro central das parcelas com fertilizante ¹⁵N e em posições correspondentes nas linhas adjacentes às mesmas (duas folhas por local). Nas amostras, após secas em estufa e moídas em moinho tipo Wiley, foram feitas as determinações de abundância de ¹⁵N (átomos %) por espectrometria de massa (Trivelin et al., 1973).

Após doze meses da instalação do experimento (setembro de 1985) foi efetuada a colheita final da cana, sem queimada. Colheu-se todo o material vegetal de um metro linear no centro das parcelas com adubo ¹⁵N e também de linhas adjacentes, conforme metodologia definida por Trivelin et al. (1994). As plantas foram subdivididas em amostras de folhas secas, colmo e ponteiro (folhas verde, cartucho e palmito), nas quais foi obtida, por pesagem, a massa de material verde por parcela. As determinações da umidade do material verde, teor de nitrogênio e da abundância de ¹⁵N foram realizadas em subamostras obtidas das amostras totais após moagem em moenda tipo forrageira. A massas totais de material verde e seco e o nitrogênio acumulado na parte aérea foram expressos em t/ha e kg/ha, respectivamente.

Foram feitas análises tecnológicas de Brix %, pol. %, açúcares redutores (A.R.%), acidez, fibra % e pol. % cana em amostras de colmo de seis repetições por tratamento, realizadas no laboratório de análise de cana da Usina Barra Grande.

Com os resultados isotópicos (átomos % de ¹⁵N) das amostras de folhas +3 das colheitas parciais e da parte aérea da cana na colheita final, calcularam-se a porcentagem e a quantidade do nitrogênio na planta derivada do

fertilizante (NPPF; % e kg/ha) e a recuperação do N-fertilizantes (R; %), por meio das equações 1, 2 e 3. Para o NPPF_{total} (% e kg/ha), fez-se uso da equação 4, conforme Trivelin et al. (1994).

$$\text{NPPF (\%)} = (a/b) \cdot 100 \quad (1)$$

$$\text{NPPF (kg/ha)} = [\text{NPPF(\%)/100}] \cdot \text{NT (kg/ha)} \quad (2)$$

$$\text{R(\%)} = [\text{NPPF(kg/ha)/NF (kg/ha)}] \cdot 100 \quad (3)$$

$$\text{NPPF}_{\text{total}} = (\text{NP}_{1^*}\text{PF}_{1^*}) + (\text{NP}_{1^*-1}\text{PF}_{1^*}) + (\text{NP}_{1^*+1}\text{PF}_{1^*}) \quad (4)$$

onde: *a* e *b* são as abundâncias de ¹⁵N (átomos % em excesso) na planta e no fertilizante, respectivamente; NT é o nitrogênio total acumulado na planta de cana-de-açúcar (kg/ha); NF é a dose de N-fertilizante (kg/ha); NP_{1*}PF_{1*}, o nitrogênio nas plantas da linha marcada com isótopo (1*) absorvido do fertilizante aplicado na linha (1*); NP_{1*-1}PF_{1*} e NP_{1*+1}PF_{1*}, o nitrogênio nas plantas das linhas adjacentes à parcela com o isótopo (1*+1 e 1*-1) absorvido do fertilizante aplicado na linha com fertilizante ¹⁵N (1*).

Os valores da pluviosidade (mm de água) e da temperatura do ambiente (°C), no período experimental, foram obtidos de registros em estação meteorológica localizada próximo à área do ensaio.

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

Observa-se na Tabela 1 que, considerado o período do 3^a ao 8^a mês, o tratamento com aquamônia evidenciou médias gerais significativamente maiores que o tratamento uréia, exceto o teor de nitrogênio no material seco (N%). Esses resultados indicam apenas uma tendência de a soca de cana-de-açúcar SP 70-1143 adubada com aquamônia apresentar maior produtividade. Observando-se os valores do erro-padrão das médias em cada estádio, verifica-se que em nenhum deles houve efeito significativo do tratamento na produção de massa de material verde e seco e no nitrogênio acumulado na parte aérea da cultura.

De forma geral, o crescimento da soca foi pequeno até o 3^a mês (dezembro/84), seguido de uma fase de rápido desenvolvimento até o 6^a mês (março/85). De março a maio/85 (6^a ao 8^a mês) não se observou aumento de material verde e de nitrogênio total acumulado, ocorrendo somente um pequeno aumento na massa de material seco.

TABELA 1. Massa de material verde e seco e nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-soca de final de safra fertilizada com aquamônia e uréia (90 kg/ha de N), em diferentes estádios de crescimento (3^a ao 8^a mês da adubação nitrogenada).¹

Tempo da adubação meses	Tratamento	Massa verde		Nitrogênio acumulado	
		t/ha	t/ha	%	kg/ha
3	aquamônia	41±2	6,9±0,4	1,27±0,03	87± 6
	uréia	39±3	6,7±0,5	1,31±0,06	88± 8
4	aquamônia	64±3	11,5±0,8	0,80±0,02	92± 7
	uréia	58±3	10,2±0,6	0,95±0,03	97± 6
5	aquamônia	93±5	21,0±1,1	0,67±0,08	141±18
	uréia	85±4	19,3±0,9	0,63±0,03	122± 8
6	aquamônia	118±5	25,8±1,2	0,71±0,06	183±18
	uréia	111±3	24,7±0,9	0,68±0,01	168± 7
7	aquamônia	112±5	28,8±1,9	0,46±0,01	132± 9
	uréia	104±3	26,1±0,7	0,47±0,03	123± 8
8	aquamônia	116±4	29,9±1,1	0,59±0,07	176±22
	uréia	109±3	28,1±1,0	0,52±0,01	146± 6
Médias ²	aquamônia	99,0a	26,4a	0,70a	153a
	uréia	92,7b	24,5b	0,71a	139b

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).

As produções de material verde e seco e N acumulado na parte aérea da cultura no 12^a mês (setembro/1985), que constam na Tabela 2, também não evidenciaram diferença estatística significativa entre tratamentos.

Do 8^a (maio/85) ao 12^a mês (setembro/85), considerando-se os dois tratamentos, verificou-se um incremento de cerca de 50% no material seco e no nitrogênio acumulado (Tabelas 1 e 2). O incremento na massa do material seco nesse período pode ser interpretado como decorrente da intensa atividade fotossintética e da acumulação de açúcares (período de maturação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo), fato esse aliado a fatores do ambiente, como a baixa precipitação e conseqüentemente dias de céu limpo, com médias elevadas de horas de insolação e temperaturas médias de 15 a 18°C (Fig. 1).

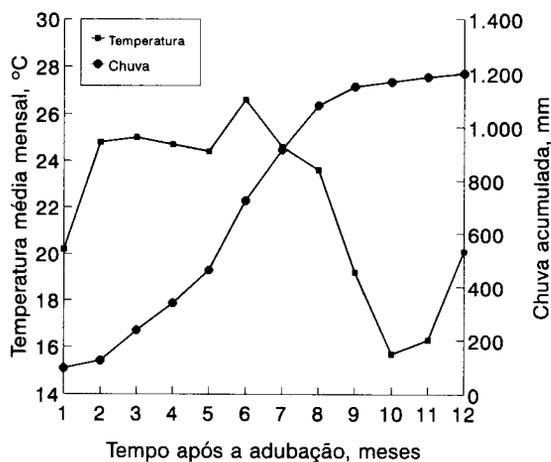


FIG 1. Temperatura média mensal e chuva acumulada de set./1984 a ago./1985 no local do experimento.

TABELA 2. Massa de material verde, massa de material seco e nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-soca de final de safra fertilizada com aquamônia e uréia (90 kg/ha de N), após doze meses da adubação.¹

Tratamento	Partes da planta	----- t/ha -----		Nitrogênio acumulado	
		Massa verde	Massa seca	%	kg/ha
Aquamônia	folhas secas	23± 1	19±1	0,45±0,01	88± 4
	colmo	119± 9	38±3	0,35±0,01	131±11
	ponteiro	16± 1	5±1	0,95±0,02	48± 4
	parte aérea	159±11	62±4	0,43±0,01	267±15
Uréia	folhas secas	23± 1	19±1	0,43±0,01	81± 5
	colmo	121± 8	39±3	0,33±0,01	129± 8
	ponteiro	16± 1	5±1	0,99±0,03	51± 5
	parte aérea	160±10	63±4	0,41±0,01	262±14

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

O incremento no nitrogênio da parte aérea da soqueira do 8^a para o 12^a mês, mostra-se discrepante quando comparado a outros trabalhos (Orlando Filho, 1978; Silveira, 1985), considerando-se que nesse período o solo deveria apresentar baixa disponibilidade de nitrogênio mineral, pela intensa absorção nos períodos antecedentes e, também, pela reduzida umidade do solo decorrente das baixas precipitações no período (Fig. 1).

Uma hipótese que justificaria o incremento no N total da parte aérea da soca de cana-de-açúcar, no final do ciclo, seria a ocorrência da fixação biológica de nitrogênio (Döbereiner et al., 1973; Boddey et al., 1991; Urquiaga et al., 1992). Deve ser considerado, nesse período, a disponibilidade de açúcares para suportar a fixação biológica de nitrogênio (período de acumulação de sacarose) e, também, o fato já mencionado da possível exaustão do N mineral do volume de solo explorado pelo sistema radicular da soqueira, pois a exsudação radicular de compostos energéticos favoreceria o desenvolvimento de microrganismos fixadores de nitrogênio na rizosfera da cana-de-açúcar. Tokeshi (1991) sustentou a idéia de que quanto maior for a

intensidade luminosa, maior a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, e esta aumenta a fixação do nitrogênio, principalmente no período de maturação.

A produção final de cana industrial correspondeu a 120 t/ha (Tabela 2), não sendo verificada diferença significativa entre tratamentos. Esse resultado foi superior a 85 t/ha, obtido por Penna & Figueiredo (1984), com cana queimada na safra 82/83 (1^a soca) e tratamentos semelhantes aos do presente trabalho (80 kg/ha de N com aquamônia e uréia em complementação a 105 m³/ha de vinhaça, mesmo solo e variedade de cana). Por outro lado, a produtividade de 120 t/ha concorda com as obtidas por Bittencourt et al. (1986), em condições semelhantes e com outras variedades da série SP.

As análises tecnológicas referentes a Brix %, pol. %, A.R.%, acidez, fibra % e pol. % cana não mostraram diferenças significativas entre tratamentos, e os resultados médios foram respectivamente de 22,0; 19,9; 0,57; 0,91; 15,9; e 15,8. Estes índices, de acordo com o sistema de avaliação proposto pela COPERSUCAR (Fernandes, 1986), indicaram que a cana aos doze meses da adubação

(setembro de 1985) mostrava-se no ponto ideal para colheita.

Aos doze meses, a massa de folhas secas (palha) correspondeu a 14% da matéria bruta e 30% da massa de material seco total, sendo todo esse material normalmente queimado antes da colheita. A biomassa da parte aérea, que geralmente permanece no canavial após a colheita, é representada pelos ponteiros da cana, correspondendo a 10% da massa bruta e a 8% do peso seco da parte aérea do canavial (Tabela 2).

Os resultados do nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar na colheita final (Tabela 2) evidenciaram que 32% ficaram estocados nas folhas secas (palha), nitrogênio esse que é transferido para a atmosfera como óxidos na despalha a fogo do canavial (Crutzen et al., 1979). Neste ensaio, a massa acumulada de N na palha foi da ordem de 85 kg/ha, resultado muito próximo aos obtidos por Sampaio et al. (1984) e Salcedo & Sampaio (1984) em palhada de cana-planta e soqueira da variedade Co997 no Estado de Pernambuco, e também por Bittencourt et al. (1986), em São Paulo, com cana-planta de diversas variedades SP e H, e com a CB41-76. Essa quantidade de nitrogênio em folhas secas é da mesma ordem da dose do N-fertilizante que foi aplicado ao solo (90 kg/ha de N). Esses resultados têm implicações significativas, pois o nitrogênio na forma de óxidos lançado à atmosfera na queima do canavial, além de estar sendo perdido do sistema solo-planta, tem participação na química da troposfera, contribuindo para o efeito estufa e para a redução da camada de ozônio (Duxbury, 1994).

O nitrogênio acumulado em colmos foi em média de 130 kg/ha, valor esse superior aos obtidos com soqueiras das variedades CB41-76 e Co997 (80 kg/ha de N) por Orlando Filho et al. (1980) e Sampaio & Salcedo (1987), respectivamente, mas pouco coisa superior aos verificados por Salcedo & Sampaio (1984) com cana-planta Co997 (110 kg/ha de N). Bittencourt et al. (1986) verificaram acúmulos de N em colmo de cana-planta (18 meses) das variedades SP70-3145 e SP70-3449, respectivamente, de 291 e 254 kg/ha. Os autores verificaram também ocorrer acúmulos do nutriente no colmo da mesma ordem dos obtidos neste trabalho, em diversas variedades SP e H, e em NA56-79 e CB41-76.

O total de N acumulado na parte aérea da soca de 260 kg/ha, sem considerar a massa não determinada do nutriente na parte subterrânea da soqueira (raízes e colmos subterrâneos), daria ao observador menos avisado indicação errônea de que a cultura houvesse recuperado a quase totalidade do fertilizante nitrogenado aplicado ao solo (90 kg/ha de N), e, mesmo que isso ocorresse, a cultura ainda dependeria de outras fontes do nutriente, como a matéria orgânica do solo e o N atmosférico fixado por microrganismos, para suprir o nitrogênio total assimilado.

As estimativas do nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar proveniente do fertilizante (NPPF_{total}, % e kg/ha) do 3º ao 7º mês da adubação constam na Fig. 2. Essas estimativas foram feitas partindo-se do pressuposto de que os valores de abundância isotópica de ¹⁵N (átomos %) e de NPPF(%) em folhas +3 representassem o valor médio de toda a parte aérea. Sampaio et al. (1984), em experimento com adubo nitrogenado marcado com o isótopo pesado, utilizaram o valor da composição isotópica de ¹⁵N do terço médio de folhas +3 ou +4 (folhas com o 3ª e 4ª aurículas visíveis segundo o sistema Kuijper) na estimativa do NPPF(%) da planta toda, em alguns estádios de crescimento da cana-de-açúcar.

Takahashi (1967) verificou em cana-planta adubada com fertilizante ¹⁵N, nos ciclos de verão e outono no Havaí, que os valores de abundâncias do isótopo apresentavam-se na seguinte ordem decrescente: palha (folhas secas) > colmo > folhas verdes. Por outro lado, Carnauba (1989) não observou diferenças na abundância isotópica de ¹⁵N na primeira folha com aurícula visível e demais folhas verdes, colmo e planta toda, em cana-planta e cana-soca adubada com uréia-¹⁵N, concluindo que a folha +1 ou quaisquer folhas verdes poderiam ser utilizadas como indicadoras da abundância isotópica média de ¹⁵N para a planta toda. Pequena variação na composição isotópica de nitrogênio (átomos %, ¹⁵N) das partes de plantas de milho que receberam fertilizante ¹⁵N foram verificadas por Coelho et al. (1991), sugerindo que as diferentes partes da cultura não precisariam ser analisadas isotopicamente, mas somente uma delas, com economia de tempo e número de análises.

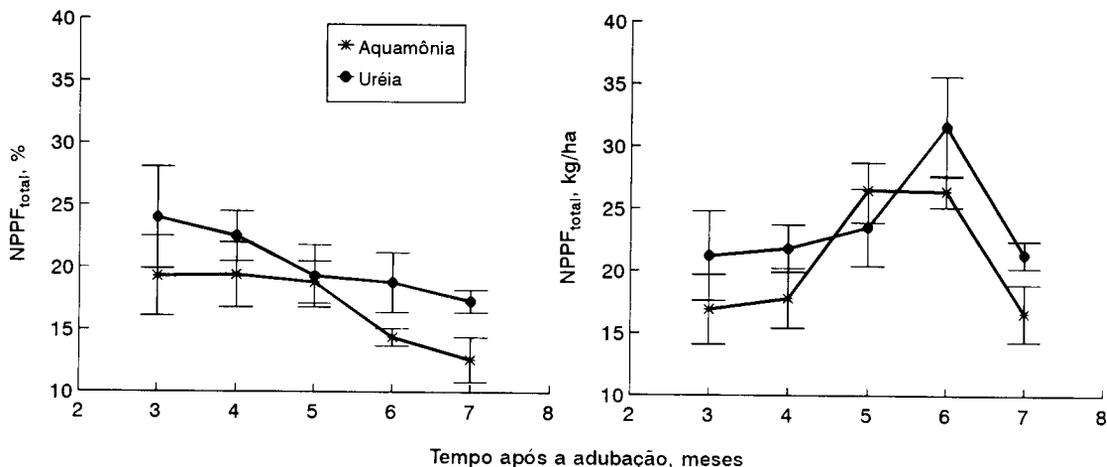


FIG. 2. Nitrogênio na parte aérea da soca de cana-de-açúcar ('SP 70-1143') derivado dos fertilizantes aquamônia e uréia (NPPF_{total}, % e kg/ha) entre o 3º e o 7º mês da adubação. As barras significam o desvio-padrão da média.

Observa-se na Fig. 2 que, no período considerado, os resultados de NPPF (%) diminuíram com o tempo, enquanto os de NPPF (kg/ha) aumentaram até o 5º e 6º meses, respectivamente, nos tratamentos com aquamônia e uréia. Esses resultados podem indicar que outras fontes nitrogenadas foram assimiladas no decorrer do tempo, proporcionalmente em maior quantidade que aquelas dos fertilizantes, podendo-se considerar o N mineralizado da matéria orgânica nativa do solo, da vinhaça adicionada ao solo e o N fixado por microrganismos, como já aventado anteriormente.

Outro aspecto que merece ser considerado na análise dos resultados da Fig. 2 refere-se à provável subestimativa dos resultados de NPPF (% e kg/ha), calculados dos valores de abundância de ¹⁵N de folhas +3, principalmente a partir do 4º mês após a adubação, quando a cultura passou a conter uma quantidade mais expressiva de folhas secas que poderiam apresentar valores de composição isotópica diferentes dos do colmo e das folhas verdes. De fato, os resultados de abundância de ¹⁵N na colheita final, nos dois tratamentos, evidenciaram em plantas da parcela com fertilizante ¹⁵N valores significativamente mais altos nas folhas secas, comparativamente aos de colmo e ponteiro (Tabela 3). Assim, os resultados parciais de NPPF (% e

kg/ha), obtidos dos valores de abundância de ¹⁵N de folhas +3, devem ser interpretados com cautela, uma vez que podem subestimar o valor de NPPF de toda a parte aérea.

TABELA 3. Abundância de ¹⁵N (átomos %) em folhas secas, colmo e ponteiro da cana-soca de final de safra, fertilizada com aquamônia e uréia (90 kg/ha de N), de plantas nas parcelas com fertilizante ¹⁵N e nas linhas adjacentes às mesmas, após 12 meses da adubação.

Tratamento	Parte da planta	Planta na parcela com fertilizante ¹⁵ N ¹	Planta na linha adjacente à parcela com fertilizante ¹⁵ N ²
----- átomos % -----			
Aquamônia	folhas secas	0,720a	0,412a
	colmo	0,649b	0,414a
	ponteiro	0,645b	0,405a
Uréia	folhas secas	0,735a	0,416a
	colmo	0,662b	0,429a
	ponteiro	0,669b	0,413a

¹ Média de quatro repetições.

² Média de oito repetições.

Médias do mesmo tratamento e mesmo local (parcela com ¹⁵N ou na linha adjacente à parcela com ¹⁵N) seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p=0,05).

Na Tabela 4 consta o aproveitamento pela soqueira de cana-de-açúcar do N dos fertilizantes aquamônia e uréia, determinados na colheita final. Os valores dos tratamentos não mostraram ser significativamente diferentes. A massa total do N dos fertilizantes na parte aérea da cana-de-açúcar representou, em média, 36 kg/ha de N, valor esse que correspondeu ao aproveitamento da ordem de 40% do N dos adubos aplicados ao solo. Esse resultado é comparável aos obtidos por Sampaio et al. (1984) e Salcedo & Sampaio (1984), com cana-planta e soqueira da variedade Co997, adubadas com uréia, no Estado de Pernambuco, e também aos de Carnauba (1989), com a variedade NA56-79, no Estado de São Paulo.

O nitrogênio derivado do fertilizante na parte aérea da soqueira, nos dois tratamentos, representou menos de 15% do total acumulado pela cultura (Tabelas 2 e 4), sendo cerca de 38% deste encontrado nas folhas secas, 46% nos colmos e 16% nos ponteiros.

Observando-se os resultados da Fig. 2 e Tabela 4, mesmo considerando possíveis subestimativas dos valores de NPPF nas amostragens com folhas +3, pode-se inferir que cerca de 80 a 90% do N-fertilizantes já tinham sido absorvidos por volta do 5º ou 6º mês da adubação. O mesmo não se observa com os resultados do N total acumulado na parte aérea (Tabelas 1 e 2). Por volta do 6º mês da adubação, o nitrogênio acumulado na parte aérea da cultura representou menos de 70% daquele da colheita final. Essas constatações evidenciam que a cultura parece ter exaurido o N-fertilizante disponível no solo até o 6º mês, passando a assimilar o nutriente absorvido daquele mineralizado do N orgânico nativo do solo. Pode ainda ter acontecido que durante todo o ciclo da soca ocorreu a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, fato este que ficou mais evidente nos resultados da segunda metade do ciclo, com a redução na absorção do N do solo.

TABELA 4. Nitrogênio na parte aérea de soqueira de cana-de-açúcar de final de safra proveniente dos fertilizantes aquamônia-¹⁵N e uréia-¹⁵N (90 kg /ha de N), após doze meses da adubação.

Tratamento	Parte da planta	NP _{1*} PF _{1*} ¹	NP _{1*±1} PF _{1*} ¹	NPPF _{total} ²	Recuperação do N-fertilizante ²
		----- kg/ha -----			%
Aquamônia	folhas secas	11±1	1,3±0,3	14±2	15±2
	colmo	11±2	2,3±0,5	15±2	17±2
	ponteiro	4±1	0,7±0,1	5±1	6±1
	parte aérea	26±4	4,3±0,7	34±4	38±4
Uréia	folhas secas	11±2	1,4±0,2	14±2	15±2
	colmo	13±2	3,0±0,6	19±2	21±2
	ponteiro	4±1	0,9±0,1	6±1	7±1
	parte aérea	28±4	5,3±0,8	39±3	43±4

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

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

Silveira & Crocomo (1990) verificaram em experimento com cana-planta que a atividade da enzima redutase do nitrato nas folhas mostrou-se elevada no período de intensa acumulação de N e decresceu acentuadamente no início da maturação, permanecendo muito baixa até o final do ciclo da cultura. Observaram os autores correlação positiva e linear da atividade de redução do nitrato (N-NO_3^- ; absorvido do solo) com o acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cultura.

Como já apresentado, considerando-se as condições de umidade do solo como decorrência da escassez de chuva nos seis meses finais do ciclo da soqueira (Fig. 1), seria pouco provável a absorção substancial de NO_3^- do solo que resultasse no acúmulo adicional de 80 a 100 kg/ha de N na parte aérea da cultura.

Os fatos levantados, aliados aos resultados de Urquiaga et al. (1992), que demonstraram o grande potencial da variedade SP 70-1143 em obter o nitrogênio da fixação biológica, reforçam a hipótese da ocorrência de fixação do N_2 atmosférico na soca de cana-de-açúcar, nas condições experimentais do presente trabalho.

Dos resultados da Tabela 4 verificou-se que 74% do total de nitrogênio derivado dos fertilizantes na parte aérea ($\text{NPPF}_{\text{total}}$) das plantas de uma linha foram provenientes do adubo aplicado na própria linha (27 kg/ha de N na média dos tratamentos), e o restante (26% ou 9,6 kg/ha de N na média) derivados do N-fertilizante aplicado nas linhas adjacentes. Esses resultados foram obtidos com a adoção do modelo simples de parcela com fertilizante ^{15}N e com os procedimentos de amostragem de plantas e cálculos, como sugeridos por Trivelin et al. (1994).

Neste trabalho não se verificou diferença nos resultados de NPPF na parte aérea da cana-soca adubada com uréia e aquamônia, na condição de soqueira de final de safra, não se confirmando a possibilidade de baixo aproveitamento do N-aquamônia pela cultura e conseqüente redução de produtividade.

CONCLUSÕES

1. Não houve diferença nas produções de massas de material verde e seco, nitrogênio acumulado e de cana industrial.

2. Não houve diferença entre as quantidades acumuladas de nitrogênio dos fertilizantes (uréia e aquamônia) na parte aérea, que foi de 36 kg/ha de N (recuperação de 40% do N-fertilizantes), após doze meses da adubação.

3. Setenta e quatro por cento (74%) do nitrogênio dos fertilizantes encontrado na parte aérea de plantas de uma linha foram absorvidos daquele nela aplicado, e o restante (26%), absorvidos do N-fertilizante das linhas adjacentes.

4. O nitrogênio absorvido do solo (N mineralizado da matéria orgânica e N-fertilizante) e o fixado da atmosfera (FBN) resultaram no acúmulo de 260 kg/ha de N na parte aérea da cultura, aos doze meses.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a 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

- BITTENCOURT, V. C.; FAGANELLO, B.F.; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). **STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.5, n.1, p.26-33, 1986.
- BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. **Plant and Soil**, The Hague, v.137, n.1, p.111-117, 1991.
- CARNAUBA, B.A.A. **Eficiência de utilização e efeito residual de uréia- ^{15}N em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), em condições de campo**. Piracicaba: USP- ESALQ, 1989. 193p. Dissertação de Mestrado.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.187-193, 1991.

- 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*, London, v.282, n.5736, p.253-256, 1979.
- DÖBEREINER, J.; DAY, J.M.; DART, P.J. Fixação de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum notatum* e da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, v.8, n.7, p.153-157, 1973.
- DUXBURY, J.M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. *Fertilizer Research*, The Hague, v.38, n.1, p.151-163, 1994.
- 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.
- FERNANDES, A.C. *Autorização da colheita da cana-de-açúcar*. Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1986. 22p. (mimeografado).
- 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 fertilizadas com vinhaça. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo. *Anais...* São Paulo: STAB, 1984. p.74-77.
- 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.
- ORLANDO FILHO, J. *Absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar (Saccharum spp.) variedade CB 41-76, em três grandes grupos de solos no Estado de São Paulo*. Piracicaba: USP- ESALQ, 1978. 154p. Tese de Doutorado.
- 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.
- PLANALSUCAR. Nutrição e fertilidade. In: RELATÓRIO Anual do Programa Nacional de Melhoria da Cana-de-açúcar. Piracicaba: IAC, 1979. 44p.
- 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.
- SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Eficiência de utilização de uréia-¹⁵N pela cana-soca em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: SEMINÁRIO REGIONAL SOBRE TÉCNICAS NUCLEARES NA PRODUÇÃO DE PLANTAS AGRÍCOLAS, Piracicaba, 1984, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: CENA, 1984. p.205-209.
- 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.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência de utilização de uréia-¹⁵N em aplicação única ou parcelada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, n.8, p.943-949, 1984.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.2, n.2, p.7-15, 1990.
- 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.
- TOKESHI, H. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.). **Micronutrientes na agricultura.** Piracicaba: POTAFOS, 1991. p.485-499.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa.** Piracicaba: CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 002).
- 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.
- URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.56, n.1, p.105-114, 1992.