

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Dinâmica do Nitrogênio da Uréia (^{15}N) e
Utilização do N da Palhada (^{15}N) em Cana Soca
Colhida sob Diferentes Sistemas de Manejo**

Luiz Antonio da Silva

2004



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO DA URÉIA (^{15}N) E UTILIZAÇÃO
DO N DA PALHADA (^{15}N) EM CANA SOCA SOB DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO**

LUIZ ANTONIO DA SILVA

Sob a Orientação do Professor

Eduardo Lima

e Co-orientação do Professor

Everaldo Zonta

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências** em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Setembro de 2004

633.61

S586d

T

Silva, Luiz Antônio da, 1973-

Dinâmica do nitrogênio da uréia (¹⁵N) e utilização do N da palhada (¹⁵N) em cana soca sob diferentes sistemas de manejo / Luiz Antônio da Silva. - 2004.

46f. : il.

Orientador: Eduardo Lima.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 36-42.

1. Cana-de-açúcar - Cultivo - Teses. 2. Nitrogênio - Fixação - Teses. 3. Uréia como fertilizante - Teses. I. Lima, Eduardo. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO

LUIZ ANTONIO DA SILVA

Tese submetida ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências** em Agronomia.

TESE APROVADA EM: 30/09/2004

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ
(Co-Orientador)

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero. Dr. Embrapa Agrobiologia

Daniel Vidal Pérez Dr. Embrapa Solos

Heroldo Weber. Dr. UFPR

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor, orientador e amigo Eduardo Lima.

Ao amigo Marcos Bacis Ceddia.

Aos estagiários Gyovanni Augusto Aguiar Ribeiro e Andréia de Cássia Gomes
São João.

À Estação Experimental Dr. Leonel Miranda (UFRRJ).

À Destilaria ALCON (Conceição da Barra, E.S.).

A Capes pela bolsa de pesquisa.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Curso de Pós-Graduação
em Agronomia – Ciência do Solo pela minha formação acadêmica.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	2
	2.1 Aspectos da Colheita Com e Sem Queima	2
	2.2 Uso de Nitrogênio pela Cana-de-Açúcar	3
	2.3 Eficiência de Utilização da Adubação Nitrogenada pela Cana-de-Açúcar	5
	2.4 Mineralização do Nitrogênio do Solo e da Palhada.....	7
	2.5 Perdas Nitrogenadas em Cana-de-Açúcar	9
	2.6 Uso da Vinhaça em Cana-de-Açúcar.....	10
3	MATERIAL E MÉTODOS	12
	3.1 Caracterização da Área de Estudo	12
	3.2 Volatilização de N-amônia	14
	3.3 Estudo da Transferência de Nitrogênio (¹⁵ N).....	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
	4.1 Perdas de Nitrogênio por Volatilização de NH ₃	21
	4.2 Utilização do Nitrogênio da Uréia pela Cana-de-Açúcar de Terceira Soca	23
	4.3 Utilização do Nitrogênio da Palhada pela Cana-de-Açúcar de Quarta Soca	26
	4.4 Nitrogênio Residual no Solo Proveniente da Uréia	29
	4.5 Compartimentalização do Nitrogênio da Uréia Aplicada em Cana Soca	31
	4.6 Produção de Colmos pela Cana-de-Açúcar	32
5	CONCLUSÕES	35
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
7	ANEXOS	43

LISTA DE SÍMBOLOS

NPPF	Nitrogênio da planta proveniente do fertilizante
NPPP	Nitrogênio da planta proveniente da palhada
NSPF	Nitrogênio do solo proveniente do fertilizante
NVPF	Nitrogênio volatilizado proveniente do fertilizante
NTPF	Nitrogênio total proveniente do fertilizante
NVPF	Quantidade de nitrogênio volatilizado proveniente do fertilizante
R %	% de nitrogênio aplicado recuperado pela planta, solo e “armadilha” coletora de N-NH ₃

RESUMO

SILVA, Luiz Antonio da. **Dinâmica do nitrogênio da uréia (^{15}N) e utilização do N da palhada (^{15}N) em cana soca colhida sob diferentes sistemas de manejo.** Seropédica: UFRRJ, 2004. 46f. (Tese, Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo).

Foi estudada, em área da destilaria ALCON (Conceição da Barra, ES), a cultura de cana-de-açúcar em ciclo de cana soca colhida com e sem queima e com aplicação de vinhaça. Os objetivos do trabalho foram: verificar a eficiência de uso pela planta do N-uréia incorporado ao solo; quantificar perdas de N por lixiviação e por volatilização de amônia de N-uréia aplicado; quantificar o N residual da aplicação da uréia na camada de 0-80 cm de solo; quantificar a contribuição do N da palhada da cana-de-açúcar no N-total absorvido pela cana soca; verificar o percentual de decomposição da palhada durante um ciclo de cana soca; e avaliar a produtividade do canavial em diferentes sistemas de corte. A variedade utilizada foi a SP71-1406. O desenho experimental foi o de “blocos ao acaso” com quatro repetições, nos esquemas fatoriais 2x4, 2x2 e 2x2x5 (solo). A colheita da terceira soca foi em agosto de 2002, no início deste estudo, e a da quarta soca em setembro de 2003. Os tratamentos e combinações foram: cana colhida sem queima; cana colhida após a queima; adição ou não de vinhaça; aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N-uréia incorporada ao solo em sulco. As perdas de N total por volatilização de amônia variam de 3,2 a 8,3 kg de N ha⁻¹. O período de maiores perdas foi entre o quinto e sétimo dia após aplicação da uréia, coincidindo com chuvas durante a amostragem. As maiores perdas por volatilização ocorreram nos tratamentos com queima. A manutenção da palhada sobre o solo mostrou-se eficaz na diminuição das perdas nitrogenadas por volatilização. O acúmulo de N total na parte aérea da cana-de-açúcar variou de 69,3 a 226,4 kg de N ha⁻¹. O teor de N-total na parte aérea da quarta soca na área colhida sem queima foi significativamente superior ao tratamento com queima da palhada. Do nitrogênio total acumulado na planta de 11,7 a 18,7% foi oriundo da uréia aplicada no solo. A eficiência de recuperação pela planta do N-uréia variou de 27,8 a 41,3%. As maiores eficiências de recuperação da uréia aplicada ocorreram nos casos onde não se aplicou vinhaça. A cana sem queima e com aplicação de vinhaça apresentou a menor eficiência de recuperação do adubo nitrogenado. A decomposição da palhada residual da cana sem queimada foi em média de 72,1% e da cana queimada de 59,1%. O percentual de N da planta proveniente da palhada foi de 2,2% quando aplicada vinhaça e de 1,3% quando não. A eficiência de recuperação pela planta do N adicionado ao solo pela palhada decomposta foi de 10,2% e 7,1% em área com e sem vinhaça, respectivamente. O percentual de nitrogênio da parte aérea da planta, oriundo de fontes diferentes que o fertilizante e a palhada, variou de 80,0 a 86,1%. A produtividade nos dois ciclos variou entre 52,6 e 92,5 t ha⁻¹. A adubação nitrogenada com uréia teve maior efeito de aumento da produtividade em cana-de-açúcar quando se realizou a colheita sem queima. Em geral, a queima da palhada da cana diminui a vida útil do canavial. A ocorrência de lixiviação de N-uréia não foi detectada. A quantidade de N proveniente do adubo variou de 5,3 a 33,6 kg ha⁻¹, de 0-80 cm no solo. O nitrogênio do adubo contido na planta, solo e volatilizado representou de 34,6 a 83,8% do total de N-uréia aplicada. A manutenção da palhada com aplicação de vinhaça diminuiu a recuperação total do N-uréia aplicado no sistema solo-planta.

Palavras chave: Dinâmica de nitrogênio, isótopos estáveis, cana-de-açúcar.

ABSTRACT

SILVA, Luiz Antonio da. **Dynamics of nitrogen from urea (^{15}N) and utilization of N from crop residues (^{15}N) in different sugar cane harvest systems**. Seropédica: UFRRJ, 2004. 46f. (Doctor Thesis in Agronomy, Soil Science).

A field study with sugar cane was carried out in Conceição da Barra, Espírito Santo State/BR, during a cycle of production, in which harvesting was made with and without burning, and with application of vinasse. The objectives of the study were: to verify the efficiency of utilization by plant of N-urea incorporated in the soil; to quantify the losses of N by ammonia volatilization from N-urea fertilizer; to quantify the residual N from urea at the 0-80 cm soil depth; to quantify the contribution of N from sugar cane crop residues to total-N absorption by plants; to verify the rates of sugar cane crop residue decomposition; and to evaluate the productivity of sugar cane under different harvesting systems. The variety used was the SP71-1406. The plot design was a 2x4, 2x2 and 2x2x5 (soil) factorial experiment in randomized blocks with four repetitions. The sugar cane was harvested on August 2002, beginning of the study, and on September 2003, the fourth cycle. The following treatments and combinations were installed: green cane harvesting system; burned cane harvesting system; application or not of vinasse; application of 80 kg ha⁻¹ of N-urea incorporated in the soil. The total nitrogen losses by volatilization fluctuated in a range of 3.2 to 8.3 kg of N ha⁻¹. The greatest losses occurred in the fifth, sixth and seventh days after the urea fertilization, coinciding with rains during sampling. The burned cane harvesting system presented the greatest N losses by volatilization. Thus, maintaining crop residue on soil surface was an efficient management practice to reduce N volatilization. The total N in the aerial part of the sugar cane varied from 69.3 to 226.4 kg ha⁻¹, and at the fifth harvest it was significantly higher in the green cane than in the burned cane harvesting system. Only 11.7 to 18.7% of total N stored in the sugar cane plants came from N-urea fertilizer, and the efficiency of N-urea recuperation by plants ranged from 27.8 to 41.3%. The higher efficiency of N-urea recuperation was found in the treatments without vinasse application, associated with green cane harvesting system. The rate of crop residues decomposition, in average, varied from 72.1 to 59.1%, in green cane and burned cane harvesting system, respectively. The efficiency of N recuperation, which was mineralized from crop residues of sugar cane plant varied from 10.2% to 7.1%, with and without vinasse, respectively. The percentage of N in aerial part of sugar cane, from different sources than the fertilizers and the crop residues, ranged from 80.0 to 86.1%. The productivity of sugar cane in the two cycles varied from 52.6 to 92.5 t ha⁻¹. The N-urea fertilizer application had biggest effect on increasing productivity of green harvested sugar cane. In general, the burned cane harvesting system reduced the economic lifetime of sugar cane fields. The N lixiviation was not detected. Considering the 0-80cm soil depth, the amount of nitrogen from N-urea fertilizer varied from 5.3 to 33.6 kg ha⁻¹. The sum of total nitrogen in sugar cane plants, soil and volatilized represented 34.6 to 83.8% of N-urea applied. The maintenance of crop residue on soil surface, associated with vinasse application, reduced the total recuperation of N-urea applied in the soil-plant system.

Key words : Nitrogen dynamics, stable isotopes, sugar cane.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, maior produtor mundial de cana-de-açúcar, deve se preocupar com o manejo que preconiza a queima dos canaviais, pois grandes questões ambientais, sociais e econômicas estão envolvidas. A sociedade exige a extinção das queimadas, através de leis ambientais; a comunidade internacional preocupada com o aquecimento global propõe a diminuição das emissões de gases causadores do efeito estufa (protocolo de Kyoto); os trabalhadores exigem melhores condições de trabalho no campo; enquanto que a comunidade científica busca um manejo sustentável para a cana-de-açúcar.

A área colhida no Brasil é entorno de 4,9 milhões de hectares produzindo cerca de 330 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (20 milhões de toneladas de açúcar e 13 bilhões de litros de álcool) com uma produtividade média de 68 t ha^{-1} (IBGE, 2003). A vinhaça é o resíduo da produção de álcool, sendo produzida na quantidade de 13 litros para cada litro de álcool (Vieira, 1986). Têm-se, portanto no Brasil a produção anual de 169 bilhões de litros de vinhaça que podem ser utilizados para fertirrigação da cana.

A prática da queima foi desenvolvida para aumentar a eficiência de corte do canavial. Porém, a mecanização viabilizou a colheita de grandes áreas sem queima o que permite à cultura da cana-de-açúcar reciclar os nutrientes contidos na palhada, que se perderiam para a atmosfera, com a queima.

A colheita mecanizada sem a queima prévia do canavial começou a ser implementada no Brasil no final da década de 1980 e desde então estudos sobre a influência deste manejo têm sido realizados. Estudos relacionados com a colheita sem queima do canavial indicam que a permanência dos resíduos culturais aumenta a infiltração de água no solo, reduz a erosão, mantém ou aumenta a estabilidade dos agregados, ativa a biomassa microbiana do solo, diminui a utilização de herbicidas, além de aumentar a disponibilidade no solo de alguns nutrientes (Urquiaga et al., 1991; Boddey et al., 1993; Berner et al., 1995; Molina, 1995; Ceddia et al., 1999; Mendoza et al., 2000; Silva, 2000; Guedes, 2002).

O ciclo do nitrogênio no sistema de cana-de-açúcar envolve diversas formas de perdas e ganhos deste nutriente, principalmente pelo fato desta cultura ser semiperene. Desta forma, o uso do traçador isotópico para nitrogênio possibilita um melhor entendimento da dinâmica do nitrogênio em cana-de-açúcar.

A manutenção da palhada proveniente do corte da cana-de-açúcar no solo modifica a dinâmica do nitrogênio da uréia (^{15}N) incorporado ao solo e a palhada (^{15}N) adicionada ao solo pela cultura em ciclo de cana-soca poderá contribuir para a nutrição nitrogenada do canavial, principalmente quando fertirrigado com vinhaça.

Ao estudar a cultura de cana-de-açúcar em ciclo de cana soca colhida com e sem queima e vinhaça, este trabalho teve os seguintes objetivos:

- a) verificar a eficiência de utilização pela planta do N-uréia incorporado ao solo;
- b) quantificar as perdas do N-uréia aplicado;
- c) quantificar o N residual da aplicação da uréia na camada de 0-80 cm de solo;
- d) quantificar a contribuição da palhada da cana-de-açúcar no N-total absorvido pela cana soca;
- e) verificar o percentual de decomposição da palhada de cana-de-açúcar durante um ciclo de cana soca;
- f) avaliar a produtividade do canavial em diferentes sistemas de corte.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos da Colheita Com e Sem Queima

Com a viabilização técnica da colheita mecanizada sem queima, a palhada se tornou a principal fonte de matéria orgânica adicionada ao solo cultivado com cana-de-açúcar, pois, como verificado por diversos autores, a produção de resíduos de um canavial varia de 10 a 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de material fresco (Urquiaga et al., 1991; Mendoza, 1996; Ceddia, 1998; Vitti, 1998; Silva, 2000; Guedes, 2002).

Em estudo sobre a razão entre comprimento e massa de raízes secas extraídas por monólitos, Vasconcelos et al. (2003) observaram que ocorreram diferenças entre os sistemas de colheita manual com e sem queima. Na camada de 20-40 cm houve uma redução da referida razão para o sistema de colheita de cana queimada. Isso representa maior redução do comprimento em relação à massa das raízes entre 20-40 cm, causada pela maior densidade do solo nessa camada. Entretanto, Alvarez et al. (2000) não verificaram uma tendência geral na quantificação do sistema radicular de cana-de-açúcar, ao estudarem a primeira e segunda soqueira colhida com e sem queima.

A presença do “mulch” de palha (palhada) implica em mudanças no manejo da adubação nitrogenada como a utilização de fontes de N que apresentam menores perdas por volatilização de amônia, além da busca por implementos que apliquem o fertilizante à aproximadamente 15 cm de profundidade (Vitti, 1998; Guedes, 2002).

Sidiras & Pavan (1985) ao trabalharem com sistema de plantio direto e cobertura permanente do solo, concluíram que as práticas de manejo que visam à proteção do solo com resíduos de plantas condicionam uma acentuada recuperação da fertilidade e, conseqüentemente, um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas cultivadas.

Após um ano agrícola de permanência da palhada de cana-de-açúcar no campo, Oliveira et al. (1999) verificaram uma redução de massa da palhada de aproximadamente 20%, sendo esta diminuição devido principalmente a redução do conteúdo celular e da hemicelulose. As porcentagens de liberação de N, K, Ca e Mg foram de 18, 85, 44 e 39% do total contido na palhada. Já Urquiaga et al. (1991) verificaram no mesmo período uma redução de massa de 92%. Xavier (2002) observou que a prática da adubação verde (leguminosas) acelerou a decomposição dos restos culturais da cana-de-açúcar, favorecendo uma mais rápida liberação de cálcio, nitrogênio e fósforo dos resíduos.

Oliveira et al. (2002), em experimento simulado de renovação do canavial com e sem queima da palhada, verificaram que os valores médios do N, K, Ca e Mg lixiviados durante o período de 11 meses foram de 4, 5, 13, 320 e 80 kg ha⁻¹, não havendo diferença entre os tratamentos. Do total de nitrogênio lixiviado não foi detectada a presença de N oriundo do fertilizante.

Alterações na relação C:N do solo não têm sido verificadas com a manutenção por vários anos da palhada de cana-de-açúcar (Mendoza et al., 2000). Porém, estes autores registraram aumentos nos teores de carbono orgânico da camada superficial do solo. Acúmulos de matéria orgânica na camada superficial do solo também foram encontrados por Boddey (1993), em sistema sem queima da palhada, enquanto que a queima provocou a redução do teor de N nesta mesma camada do solo, após sete socas.

O desenvolvimento vegetal, representado pelo acúmulo de material seco e pelas taxas de produção de matéria seca e de crescimento relativo, de cana soca fertilizada

apenas com uréia e com uréia em complemento a vinhaça, foi semelhante nos sistemas de colheita com e sem queima da palhada (Silva, 2000; Gava et al., 2001 e 2003).

Resende (2003) verificou que em 16 anos consecutivos de cultivo de cana-de-açúcar a colheita sem queima aumentou significativamente a produtividade de colmos em 9 de 12 colheitas realizadas onde o tratamento foi efetivamente aplicado.

Ao realizar a renovação do canavial cultivado por sete anos sem queima Silva (2000), não verificou queda de produtividade, na cana de primeira soca, no sistema sem queima como verificado por diversos autores que trabalharam com plantio sem queima em área anteriormente colhida com queima (Boddey et al, 1993; Mendoza, 1996; Cedia, 1998). Em experimento de vaso simulando a renovação do canavial sem queima, Trivelin, et al. (2002) verificaram haver, na cana planta, um maior efeito residual do N-uréia, sendo diretamente proporcional à quantidade de resíduo incorporado. Este efeito parece estar relacionado com as maiores produtividades obtidas por Silva (2000), em sistema contínuo de colheita sem queima da palhada, quando comparado com o sistema contínuo de colheita com queima.

Em estudo de longa duração, Boddey et al. (1993) observaram que a prática de queimar o canavial antes da colheita prejudica a produtividade da cana-de-açúcar. Verificaram ainda que a partir da segunda soca a produtividade da cana foi 23% superior no canavial sem queima. Resultados semelhantes foram obtidos por Mendoza (1996) e Cedia (1998).

Aumentos no N-total do sistema solo-planta, nos teores de Mg, K, C-org e do índice pH do solo têm sido verificados em experimentos de longa duração desenvolvidos sem queima da palhada de cana-de-açúcar (Urquiaga et al, 1991; Boddey et al, 1993; Berner et al., 1995; Mendoza et al., 2000; Silva, 2000). Ao estudarem a dinâmica do carbono em solos de baixa fertilidade, Cerri & Moraes (1992), verificaram decréscimos de 20 a 50% no conteúdo de matéria orgânica do solo durante os cinco primeiros anos de cultivo da cana-de-açúcar com queima da palhada.

A manutenção ou não da palhada de cana-de-açúcar e a aplicação de diferentes doses de N ao solo tem mostrado não influenciar na distribuição percentual do N-total na planta, o que indica que fatores intrínsecos à planta regulam essas proporções (Trivelin et al., 1995; Vitti, 1998; Oliveira et al., 2000; Silva, 2000; Gava et al., 2003).

A palhada deixada no campo não altera a qualidade tecnológica do caldo e colmo para a produção de açúcar e álcool (Mendoza 1996; Silva, 2000; Resende 2003).

2.2 Uso de Nitrogênio pela Cana-de-Açúcar

Uma grande questão abordada por Azeredo et al. (1986) diz respeito a falta de resposta à adubação nitrogenada, onde os autores observaram que cerca de 80% dos experimentos estudados não apresentaram incrementos significativos de produção na cana planta. Porém para soqueiras, a maioria dos experimentos tem mostrado respostas positivas. Apesar da elevada quantidade de N extraída pela cultura da cana-de-açúcar, aproximadamente de 100 a 340 kg ha⁻¹, a recomendação de adubação é relativamente baixa estando entre 60 a 120 kg ha⁻¹ (Sampaio et al., 1984; De-Polli, 1988; Lima et al, 1987a; Urquiaga et al., 1992; Trivelin et al, 1995 e 1996; Vitti, 1998; Oliveira et al., 2000; Gava et al. 2003; Resende, 2003).

A cultura da cana-de-açúcar apresenta grande potencial para acumular maiores quantidades de nitrogênio nas fases iniciais do desenvolvimento, conforme verificado por vários autores (Rossiello, 1987; Silveira & Crocomo 1990; Trivelin et al., 1996; Azeredo et al., 1994; Azeredo, 1997; Silva, 2000). O nitrogênio “excedente” da planta seria armazenado, principalmente, nos colmos e bainhas foliares

na forma de proteínas, N-amino e N-nitrato. Após esta fase de acúmulo uma segunda fase dá-se início, onde o nitrogênio armazenado é redistribuído principalmente para o aumento da área foliar (Silveira & Crocomo, 1990; Azeredo et al, 1994). Estes mesmos autores verificaram que os maiores teores de proteínas, N-amino e N-nitrato, em colmos e bainhas, ocorreram poucos dias após a aplicação do N-fertilizante; verificaram ainda que no final do ciclo os colmos apresentaram maiores decréscimos nas concentrações de N-total, N-amino e N-protéico.

No campo, o nitrogênio utilizado pela cana-de-açúcar é suprido pela adição de fertilizantes, mineralização da matéria orgânica do solo, fixação biológica do N_2 do ar, água de chuva e irrigação, amônia da atmosfera, além da reserva contida no tolete da cana planta e nos rizomas e raízes em cana soca (Trivelin, 2000). Deve ser considerada ainda a decomposição dos resíduos vegetais da colheita, principalmente quando o corte é feito sem queima da palhada.

Vitti (1998), trabalhando com as doses de 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, verificou que a variação percentual na quantidade de N-total acumulada pela cana-de-açúcar entre tratamentos, pouco influenciou a distribuição desse nutriente entre as partes da planta, sugerindo ser essa variável pouco influenciada pela disponibilidade ou restrição de N para as plantas

Em relação à distribuição do N-total da parte aérea da cana soca Silva (2000), em experimento de campo, verificou que do N-total (adubação com uréia), 26, 20 e 54% foram encontrados nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente, não sofrendo influência do sistema de colheita. Trivelin et al. (1995), obtiveram uma distribuição na soqueira de cana-de-açúcar do N-total (adubação com uréia) de 31, 20 e 49% nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente, e para o N-total (adubação com aquamônia) de 33, 18 e 49% nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente. Para cana planta, Oliveira et al. (2000) obtiveram uma distribuição do N-total (adubação com sulfato de amônio) de 18, 30 e 52% nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente. Enquanto que Vitti (1998), em experimento em vaso com dose de 90 kg ha⁻¹ de N, obteve uma distribuição do N-total (adubação com uréia) na cana planta de 49, 23 e 28% nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente, não sofrendo influência do sistema de colheita. Convém observar que este experimento foi conduzido em vasos e a cana colhida mais jovem que nos experimentos anteriores, justificando assim o menor percentual de colmos encontrado.

Com relação à distribuição do N-fertilizante na planta, Gava et al. (2003) verificaram que do nitrogênio acumulado na parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar proveniente da uréia (¹⁵N), em média, 24, 29 e 47% foram encontrados nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente. Já Trivelin et al. (1995), obtiveram uma distribuição na soqueira de cana-de-açúcar do N-uréia de 35, 16 e 45% nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente, e para o N-aquamônia de 39, 16 e 49% nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente. Para cana planta Oliveira et al. (2000), verificaram uma distribuição na planta do N-sulfato de amônio de 22, 22 e 56% nas folhas secas, ponteiros e colmos, respectivamente. Enquanto que Vitti (1998), em experimento em vaso simulando a renovação do canavial, obteve uma distribuição do N-uréia na cana planta de aproximadamente 41, 15, 21 e 23% nas folhas secas, ponteiros, colmos e parte subterrânea (raízes e rizomas), respectivamente, não sofrendo influência dos sistemas de colheita com e sem queima da palhada.

O tolete utilizado no plantio contribui muito para o N-total da planta, como pode ser verificado em trabalho realizado por Carneiro et al. (1995), utilizando a técnica isotópica com ¹⁵N. Os autores verificaram que o nitrogênio exportado do tolete

correlacionou-se diretamente com o conteúdo de nitrogênio de raízes e com o da parte aérea. Porém, a redução do conteúdo de nitrogênio do tolete não mostrou correlação com o N-total dos novos tecidos da cana planta, evidenciando a utilidade da técnica isotópica com ^{15}N na quantificação da redistribuição do N da reserva do tolete. A recuperação do N do tolete em novos tecidos aos 37 dias após plantio (dap), representou 55% do N-total da planta, sendo que aos 148 dap, a contribuição do N derivado do tolete foi de apenas 6% do N-total. Portanto, nos estádios iniciais é fundamental a contribuição do N-tolete, enquanto que com o desenvolvimento da planta outras fontes passam a contribuir mais expressivamente com o N-total da planta.

Considerando a contribuição da reserva do N-tolete na cana planta é esperado que a reserva do N-rizoma e do N-raiz na cana soca tenha efeito semelhante no desenvolvimento inicial da planta. Vitti (1998) verificou que o teor de N na parte subterrânea (raízes e rizomas) foi 50% maior que o da parte aérea no final do ciclo da cana-de-açúcar (cana planta), evidenciando o mecanismo de reserva da planta para a rebrota da cana soca. Trivelin, (2000), verificou que o nitrogênio proveniente da adubação foliar de uréia e translocado à parte subterrânea da cana-de-açúcar redistribuiu-se igualmente, entre a parte aérea e a subterrânea na rebrota da cultura.

Vitti (1998) verificou que a parte subterrânea da cana-de-açúcar (raízes e rizomas) acumulou cerca de 27% do N-total da cana planta, sendo que deste total 13,5% foi proveniente do N aplicado na forma de uréia (^{15}N). Este mesmo comportamento do N-total foi verificado por Trivelin (2000), onde no final do ciclo o conteúdo de N-total da parte subterrânea da soqueira representou cerca de 35%, em relação à planta toda, porém deste total apenas 3,9% foi proveniente do N-fertilizante.

Em estudo de longa duração Resende (2003), verificou que sem a aplicação de nitrogênio a cultura da cana-de-açúcar acumulou na parte aérea da planta num período de 14 ciclos 1.046 kg ha^{-1} de N, enquanto que com a aplicação de $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ de N (totalizando 1.120 kg ha^{-1} de N-uréia) a cultura acumulou 1.246 kg ha^{-1} de N.

Uma das principais fontes de nitrogênio, que está relacionada com a baixa resposta da cana planta a adubação nitrogenada e ao uso de doses relativamente baixas de N-mineral aplicadas tanto em cana planta quanto em cana soca, apesar da elevada extração da cultura, é a fixação biológica de nitrogênio atmosférico que chegou a representar de 30 a 60% do N-total da planta de cana-de-açúcar (Lima et al., 1987a; Urquiaga et al., 1992; Resende, 2000).

2.3 Eficiência de Utilização da Adubação Nitrogenada pela Cana-de-Açúcar

Na cultura de cana-de-açúcar o nitrogênio derivado do fertilizante tem representado menos de 17% do N-total da planta, conforme verificado por diversos autores (Camargo, 1989, Trivelin et al., 1995, 1996 e 2002; Vitti, 1998; Oliveira et al., 2000; Gava 2001 e 2003). Portanto, em condições de campo a maior parte do N-total da planta de cana-de-açúcar é derivado da mineralização do solo, da fixação biológica de N_2 e de outras fontes que não do fertilizante aplicado (Lima et al., 1987a; Camargo, 1989; Urquiaga et al., 1992; Sampaio et al., 1995; Trivelin et al., 1995 e 1996; Vitti, 1998; Trivelin, 2000; Gava et al., 2003).

Ao estudarem a cana planta, Sampaio et al. (1984) observaram que cerca de 86% do N proveniente do fertilizante, por ocasião da colheita, foram recuperados pela planta nos primeiros três meses após a aplicação da uréia, não sofrendo influência da aplicação de 20 ou 60 kg ha^{-1} de N no plantio. Neste trabalho de campo a cana planta apresentou uma eficiência de utilização de 45 e 39% para a aplicação de 20 e 60 kg ha^{-1} de N no plantio, respectivamente. Esses percentuais de recuperação do N-uréia representaram

cerca de 4 e 10%, respectivamente, do N-total acumulado pela cana planta no final do ciclo.

Vitti (1998), verificou que a recuperação do N-uréia pela cana planta foi de 54 %, porém este experimento foi realizado em vasos o que provavelmente aumentou a absorção do N-fertilizante devido ao confinamento do sistema radicular e do fertilizante, além do fato deste autor ter avaliado também a recuperação da parte subterrânea (raízes e rizomas) que contribuiu com mais de 10% na recuperação total do N-uréia. Neste mesmo experimento o autor verificou ainda que a adição ao solo dos resíduos culturais da cana-de-açúcar não causou alterações na recuperação do ^{15}N -uréia. Trivelin et al. (2002), trabalhando em condições semelhantes, verificaram recuperação do N-uréia pela cana planta de 51 a 58%. Já para cana soca, estes autores verificaram que a recuperação do N-uréia pela planta foi de 40%, quando o adubo foi aplicado em profundidade.

Trabalhando com cana planta, porém, utilizando 63 kg ha^{-1} de N-sulfato de amônio como fonte nitrogenada em experimento de campo, Oliveira et al. (2000), obtiveram uma recuperação pela planta de 63% do fertilizante. Já Lima Jr. & Bettany (1999a), ao aplicarem 90 kg ha^{-1} de N-uréia na cana planta, verificaram que a recuperação pela planta foi de 22% para as duas classes de solo estudadas (PVA e LVA). Camargo (1989), também em experimento de campo, observou que a eficiência de utilização do N-fertilizante (100 kg ha^{-1} de N-uréia), em cana soca de final de safra, foi de 18,4 e 14,4% para aquamônia e uréia, respectivamente.

Trivelin et al. (1995) trabalhando com cana soca de final de safra, obtiveram recuperação do N aplicado de 38 e 43% para aquamônia e uréia, respectivamente. Já para cana soca de início de safra Trivelin et al. (1996), observaram recuperação de 14 e 12% para aquamônia e uréia, respectivamente. Estes mesmos autores verificaram que a quantidade de nitrogênio derivado do fertilizante na parte aérea da planta aumentou até o sexto mês após a aplicação, decrescendo desde então até o momento do corte. Este fenômeno estaria relacionado a perdas da parte aérea por volatilização ou lixiviação de formas orgânicas solúveis e ainda por translocação ao sistema radicular. O nitrogênio assimilado pelos vegetais pode perder-se também por exsudação de compostos orgânicos pelas raízes (Trivelin 2000). Portanto, a coleta no final do ciclo subestimou o real aproveitamento do nitrogênio dos adubos. Trivelin et al. (1995; 1996) verificaram ainda não haver diferenças na utilização do nitrogênio da uréia e aquamônia, aplicados em complemento à vinhaça, pela cana soca (cultivo convencional).

Oliveira (1999), em experimento de vaso utilizando uréia (^{15}N) aplicada como solução concentrada sobre a palhada, após a aplicação da vinhaça, obteve em cana soca uma recuperação do N-uréia variando de 8 a 38% em corte sem queima e de 19 a 44% em corte com queima. Os melhores resultados de recuperação do N-uréia pela planta foram observados quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado a 0,15 m de profundidade, independente do sistema de colheita. Porém, Trivelin, et al. (2002), verificaram que houve uma relação direta entre a quantidade de resíduos culturais incorporados e a recuperação do N-uréia pelo solo, em cana planta, indicando um maior efeito residual do adubo. Em estudo realizado, em condições de campo, com a aplicação de uréia (^{15}N) e mistura de uréia (^{15}N) + vinhaça, Gava et al. (2003) verificaram que a eficiência de utilização do nitrogênio da uréia pela soqueira de cana-de-açúcar foi de 12%, quando a uréia foi misturada com vinhaça e aplicada sobre a palhada, e de 26% quando se fez a aplicação da uréia em sulcos de 0,15 m, com aplicação prévia de vinhaça (mesmo dia).

Em relação ao N residual, Lima Jr. & Bettany (1999b), verificaram que 14 meses após aplicarem 90 kg ha^{-1} de N-uréia (^{15}N) na cana planta, na época da colheita, 58% do N aplicado se encontrava na camada de 0-1,20 m de solo, e 26 meses após a aplicação, na colheita da cana soca, este valor correspondia a 46%, com elevação de concentração do N proveniente do adubo na camada de 0,40-0,60 m. Já Trivelin, (2000), verificou que o nitrogênio residual no perfil do solo de cana soca, considerando a camada de 0-1,25 m, foi de 22,8 e 13,5% do nitrogênio aplicado na forma de aquamônia e uréia (100 kg ha^{-1} de N), respectivamente.

Em experimento com a adubação por pulverização com uréia (^{15}N) via foliar em cana-de-açúcar Trivelin (2000), verificou que no intervalo de 6 horas da adubação cerca de 50% do N-uréia aplicado às folhas foi absorvido e 0,2% desse total já havia sido translocado a parte subterrânea da planta (raízes e rizomas). O total de N absorvido chegou à cerca de 70% do N-uréia até o quinto dia após a aplicação. O autor observou ainda que a quantidade do nitrogênio da uréia absorvido por via foliar que é translocado à parte subterrânea da cana-de-açúcar, pode chegar a 15 %, dependendo essa quantidade do estágio de desenvolvimento da cultura.

2.4 Mineralização do Nitrogênio do Solo e da Palhada

A relação C:N do material adicionado ao solo tem sido freqüentemente associada à sua velocidade de decomposição. Aita & Giacomini (2003) verificaram que a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura de solo foi inversamente proporcional às relações C:N e Lignina:N e diretamente proporcional às concentrações de N-total na fitomassa.

Por possuir relação C:N variando de aproximadamente 54 a 100 (Trivelin et al., 1995; Vitti, 1998; Gava, et al., 2003), o que é considerada elevada, espera-se que a palhada de cana-de-açúcar apresente pequena mineralização líquida de N no período de um ciclo da cultura e, conseqüentemente, pouca contribuição para a nutrição nitrogenada da cultura no ciclo subsequente ao corte. Porém, como a cana-de-açúcar é uma cultura que é mantida no campo por cinco anos ou mais, torna-se necessário verificar o efeito cumulativo da palhada durante todo o período de manutenção do plantio sem renovação. Oliveira (1999), verificou que dos manejos estudados na cana de primeira soca somente no tratamento com a uréia enterrada no solo, sob a palhada, houve balanço positivo do N-total no sistema.

Num estudo de incubação de palhada de cana-de-açúcar, Vitti (1998) verificou que ocorreu a diminuição da relação C:N do material do início ao final do período experimental. Comportamento semelhante foi verificado por Gava et al. (2003), ao acompanhar no campo a recuperação do N da palhada pela cana soca; e por Sampaio et al. (1990), em estudo da decomposição de palha de milho em laboratório e no campo. Oliveira et al. (1999) verificaram a diminuição da relação C:N da palhada de cana-de-açúcar de 97 para 68 em um ano agrícola. Esta diminuição estaria relacionada com a descarboxilação (liberação de CO_2) e a conseqüente concentração relativa do N no material, promovendo a mineralização líquida do nitrogênio.

Ao trabalhar com a contribuição da palhada na nutrição nitrogenada, Gava et al. (2003) verificaram que do N-total acumulado pela cana soca, em média, 4% foi absorvido do N mineralizado da palhada, sendo a eficiência de utilização do nitrogênio da palhada de 8% em média. Os autores observaram, ainda, que do nitrogênio da planta proveniente da palhada 8% foi acumulado nas folhas secas, 33 % nos ponteiros e 59 % nos colmos.

Em estudo sobre a mineralização do nitrogênio ao longo do ciclo da cana planta, Salcedo et al. (1985) verificaram que os maiores valores de N mineralizado foram observados no início e meio do ciclo quando não se aplicou nitrogênio, enquanto que quando foi realizada a adubação nitrogenada os maiores valores foram encontrados no início e no final do ciclo. Portanto, a adubação nitrogenada, em cana planta, teria estimulado a biomassa microbiana, promovendo a imobilização biológica do nitrogênio por um maior período. Sampaio & Salcedo (1982), em experimento de decomposição da palha (^{14}C) de milho, verificaram que a adição de nitrogênio reduziu a liberação de CO_2 , tanto originado da palha quanto nativo do solo, e aumentou a incorporação de C da palha à biomassa microbiana.

A matéria orgânica nativa do solo foi a principal fonte de nitrogênio para as plantas em estudo realizado por Sampaio et al. (1995) em vinte solos de Pernambuco. De acordo com os dados apresentados por Sampaio et al. (1984) e Salcedo et al. (1985), o potencial de mineralização do nitrogênio do solo cultivado com cana-de-açúcar poderia suprir a necessidade de nitrogênio pela cana planta. Araújo et al. (2001), verificaram que houve manutenção do potencial de mineralização do N do solo, ao longo de dez anos de cultivo com cana-de-açúcar, mesmo em áreas sem fertilização nitrogenada.

Segundo Salcedo et al. (1985), o potencial de mineralização do nitrogênio do solo cultivado com cana-de-açúcar decresce com a profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Alves et al. (1999), em vinte solos de Pernambuco. Sampaio et al. (1990), trabalhando com a decomposição de palha de milho incorporada em três profundidades (10, 30 e 60 cm), verificaram que nos primeiros quatro meses a mineralização foi mais rápida na camada superficial do solo (10 cm), não havendo diferenças a partir daí.

Nos trabalhos com ^{15}N é comum verificar que ocorre um aumento do conteúdo de nitrogênio da planta derivado de outras fontes, quando é feita a adubação nitrogenada. Segundo Rao et al. (1992) esta diferença é devido ao aumento da mineralização líquida de nitrogênio do solo (*priming effect*) ou à substituição do N mineralizado da matéria orgânica do solo, que seria imobilizado pela biomassa microbiana, pelo ^{15}N aplicado (*pool substitution*). Este efeito poderia ainda estar relacionado com um maior crescimento do sistema radicular, que desta forma exploraria um volume maior de solo absorvendo mais nitrogênio mineralizado do solo. Convém lembrar que além do N-fertilizante é necessário quantificar a contribuição da fixação biológica de N_2 para se verificar o real efeito da adubação nitrogenada sobre a mineralização do nitrogênio do solo.

Ao estudar os efeitos da adição de nitrogênio e fósforo na decomposição de diferentes tipos de material orgânico, Minhoni et al. (1990) verificaram que o nitrogênio foi o principal fator limitante para uma rápida degradação da vinhaça, bagaço de cana e palha de milho.

Vitti (1998) verificou que as taxas de mineralização da palhada da cana-de-açúcar foram mais elevadas no solo com adição de nitrogênio e, como consequência, menor quantidade de nitrogênio esteve disponível para a cultura no início do ciclo da cultura, período em que maior quantidade de nitrogênio é requerida pela cana-de-açúcar. Este autor atribuiu ainda a contribuição do N mineralizado do solo como sendo de 84 a 93% do nitrogênio acumulado na cana planta, e o restante recuperado do N-uréia. Porém, neste trabalho não foi verificada a contribuição da fixação biológica de N_2 no N-total acumulado pela planta.

Ao estudarem o C da biomassa microbiana, Mendoza et al. (2000) verificaram que após cinco anos de cultivo sem queima (quarta soca) a manutenção da palhada da cana-de-açúcar aumentou a imobilização de carbono na biomassa microbiana.

Na reforma do canavial, cerca de 30 kg ha^{-1} de N em rizomas e raízes são incorporados ao solo e, posteriormente, mineralizados pelos microrganismos quimiorganotróficos, constituindo em importante fonte do nutriente à planta (Trivelin 2000).

2.5 Perdas Nitrogenadas em Cana-de-Açúcar

Ao utilizarem um sistema coletor de amônia constituído de tubos de PVC sustentando esponjas embebidas em solução de ácido sulfúrico $1,0 \text{ mol dm}^{-3}$ + glicerina 3% (v/v), sendo os tubos parcialmente enterrados em vasos com solo adubado com N-uréia (^{15}N), Lara Cabezas et al. (1990) verificaram que em média apenas 16,2% do N-amônia volatilizado era detectado pelo sistema coletor, quando comparado com as perdas de N-amônia determinadas pelo balanço de ^{15}N . Os autores verificaram ainda que a presença do sistema coletor interferiu no processo de volatilização, reduzindo a quantidade de N-amônia volatilizado do fertilizante e que mais de 80 % do N-amônia volatilizado da uréia não foram retidos pelo coletor.

Utilizando um sistema coletor composto de um frasco plástico transparente tipo PET de 2 litros sem a base, com diâmetro de 10 cm, com o auxílio de um arame inoxidável, uma fita de papel de filtro com 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento umedecida com solução de H_2SO_4 $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ + glicerina 2% (v/v), Marsola et al. (2000), verificaram uma eficiência do sistema coletor de 76 % para uma quantidade referente a até 5 kg ha^{-1} de N-amônia volatilizado. Os autores verificaram ainda que após a aplicação em superfície de 40 t ha^{-1} (massa verde de leguminosas), as perdas de N-amônia chegaram a $8,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ em 11 dias, sendo que o pico de volatilização ocorreu no sexto dia.

As perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, na cultura da cana-de-açúcar, provenientes da uréia e da aquamônia (100 kg ha^{-1} de N) foram desprezíveis quando aplicados a 20 cm de profundidade (Camargo, 1989; Cantarella, et al., 1999). As maiores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia têm sido verificadas nos primeiros dias após a aplicação do fertilizante nitrogenado, sendo a aplicação de uréia em superfície o manejo que representa as maiores perdas (Lara Cabezas et al., 2000; Guedes, 2002; Costa et al., 2003; Gava et al., 2003). Em experimento de campo, Guedes (2002) verificou que as maiores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia ocorreram nas 24 horas seguintes à aplicação de uréia.

Ao estudar a distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada a 5 cm de profundidade, Rodrigues & Kiehl (1992) verificaram que a maior parte da amônia permaneceu nas proximidades do local de aplicação, enquanto que certa fração difundiu até a superfície. Os autores observaram ainda, que o pH na zona de aplicação aumentou, chegando a 8,7, e que a maior parte da amônia contida em torno desta área foi nitrificada, em nove semanas, não havendo acúmulo de nitrito no local.

Oliveira et al. (2003) atribuíram os déficits na recuperação do nitrogênio da uréia (^{15}N) pelo sistema solo-planta às perdas gasosas que variaram de 34,6 a 40,4%, uma vez que houve pequeno movimento de N oriundo da uréia no perfil do solo. Costa et al. (2003) verificaram que a aplicação apenas de uréia (^{15}N) em cobertura sem queima apresentou perdas de 36% por volatilização de amônia. Já Trivelin et al. (2002) verificaram em ciclo de cana soca que 50% do N-uréia foi perdido por volatilização de amônia no solo e pela parte aérea da cultura. Essas perdas de N pela folhagem da cana-

de-açúcar foram estimadas como sendo da ordem de 90 kg ha⁻¹ de N. Guedes (2002) estimou que as perdas N por volatilização chegaram a 68 e 50%, quando a uréia foi aplicada na superfície e incorporada, respectivamente, sendo estas perdas oriundas do sistema de manejo sem queima e sem aplicação de vinhaça.

Ao trabalhar com diferentes doses de nitrogênio na forma de uréia em cana-de-açúcar, Cantarella et al. (1999) verificaram que as perdas por volatilização de amônia corresponderam a 12 e 30% para as doses de 50 e 100 kg ha⁻¹, respectivamente, quando aplicadas em superfície. Já Lara Cabezas et al. (2000), ao aplicarem cerca de 100 kg ha⁻¹ de N, na cultura de milho em sistema de plantio direto, verificaram que após 26 dias da adubação, as perdas acumuladas de N por volatilização de amônia nas aplicações em superfície foram de 54 e 41%, para uréia e uréia + KCl, respectivamente. Quando a uréia foi incorporada ao solo (5-7 cm), as perdas acumuladas de amônia foram de 5,0%. Os autores observaram ainda, que aproximadamente 10% do N-uréia aplicado foi imobilizado pela camada de 0-45 cm, independente de a aplicação ser superficial ou incorporada. Já na camada de 45-150 cm o N-uréia residual foi de 1,5 e 4,2%, para a aplicação superficial e incorporada, respectivamente.

Em estudo sobre o comportamento do nitrogênio no solo, aplicado como sulfato de amônio em cana-de-açúcar, Kiehl et al. (1981) verificaram que a forma de amônio representou a maior parte do nitrogênio residual, e que a nitrificação do amônio e a subsequente perda do nitrogênio por lixiviação foram mais acentuadas no período mais chuvoso do ciclo da cana-de-açúcar.

Camargo (1989) estimou que cerca de 28,2 e 7,5% do N da uréia e aquamônia (100 kg ha⁻¹ de N), respectivamente, foram arrastados no solo abaixo de 1,0 m de profundidade, tornando-se indisponíveis para a cana soca. Porém, Oliveira (1999), simulando condições de reforma do canavial com e sem queima, não verificou perdas mensuráveis de N derivado da uréia (¹⁵N) por lixiviação na cana planta, considerando uma profundidade de 0,90 m. Quando aplicou uma solução de uréia sobre a palhada da cana-de-açúcar as perdas por volatilização de amônia foram de 40%. O autor estimou ainda, que as perdas por volatilização do N-uréia assimilado pela parte aérea da planta foram em média de 19% na cana de primeira soca.

2.6 Uso da Vinhaça em Cana-de-Açúcar

Vinhaça, restilo ou vinhoto é o resíduo das destilarias de álcool, produzido na proporção de 13 a 15 litros por litro de álcool destilado, sendo aplicada ao solo diluída em água na proporção de 1:3 a 6 (Vieira, 1986).

A vinhaça constitui excelente fonte de material carbonáceo energético prontamente assimilável, na forma principalmente de pentoses e ácidos orgânicos (Brasil, 1981).

O uso de vinhaça complementada com nitrogênio na fertilização da cana-de-açúcar tem garantido aumentos na produtividade de colmos em soqueiras de cana-de-açúcar (Monteiro et al., 1981; Glória et al., 1984; Sobral et al., 1988; Guedes, 2002). Ao estudarem os efeitos de doses crescentes de vinhaça, Lima et al. (1987b) verificaram que a dose de vinhaça que promoveu maiores incrementos na produtividade agrícola e industrial foi aquela que se situou em torno da dose equivalente a 150 kg de K₂O, tanto em cana-planta quanto na cana-soca

Segundo Silveira & Crocomo (1990), a presença de vinhaça no solo não afeta negativamente a taxa de acúmulo de nitrogênio, a atividade de redutase de nitrato, a composição das frações nitrogenadas e produção de proteínas na parte aérea de cana-de-açúcar durante o ciclo de crescimento da cultura.

Apesar de possuir índice de pH relativamente baixo, entorno de 4,0, a vinhaça ao ser aplicada ao solo provoca aumentos no pH do solo, uma das causas deste efeito seria o decréscimo do potencial redox, resultante da anaerobiose induzida pelos altos teores de carboidratos da vinhaça (Nunes et al., 1981; Leal et al., 1983). Neste estudo os autores verificaram aumentos nos teores de K, Ca, e Mg, enquanto os teores de Na mantiveram-se constantes. Resultados semelhantes foram encontrados por Orlando F^o et al. (1983) ao estudarem áreas com aproximadamente vinte anos de aplicação de vinhaça. Neves et al. (1983) atribuíram a elevação do pH do solo, de 4,4 para 6,0, às bruscas transformações microbiológicas decorrentes da aplicação de vinhaça, efeito observado logo após os primeiros dias de incubação do solo e que perdurou durante os 66 dias que durou o experimento. Prata et al. (2000) também verificaram que a aplicação de vinhaça ao solo contribuiu para o aumento da atividade microbiana e do pH do solo.

Amaral Sobrinho et al. (1983), verificaram que a aplicação ao solo de doses crescentes de vinhaça em mistura com nitrato levou a uma brusca diminuição do teor de nitrato, e simultâneo acúmulo de N-NO_2^- , N-NH_4^+ , $\text{N-N}_2\text{O}$ e N-orgânico, indicando predominância dos processos de desnitrificação e imobilização do nitrogênio do solo.

A vinhaça ao ser aplicada no canavial, logo após a aplicação da uréia, reduziu em mais de dez vezes as perdas de N por volatilização de amônia, independente do sistema de corte (Guedes, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi realizado em área cedida pela destilaria ALCON, no município de Conceição da Barra, ES. Esta região se caracteriza pela ocorrência de extensas áreas de relevo suave ondulado onde uma série de baixos platôs compõe o chamado “relevo tabuliforme”. Os declives raramente são superiores a 3%. O solo é classificado como ARGISSOLO AMARELO textura média/argilosa característico de tabuleiros costeiros.

O clima da região corresponde na classificação de Köppen ao tipo Aw, ou seja, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A estação chuvosa vai de outubro a abril e a estação seca abrange os meses de junho, julho e agosto, podendo se estender até setembro. A vegetação primária remanescente na região é representada pela floresta tropical subperenifólia.

A variedade utilizada foi a SP71-1406, por apresentar porte semi-ereto e boa despalha natural, o que facilita a colheita sem queima.

O plantio da cana planta foi realizado em 17 de outubro de 1998, sendo que os tratamentos foram implantados após a colheita, em 29 de outubro de 1999. Neste projeto foram estudados os ciclos de terceira e quarta soca. O desenho experimental utilizado foi o de “blocos ao acaso” com quatro repetições, nos esquemas fatoriais: 2 x 4 para os estudos de massa seca e N-total na terceira soca e para os estudos de produtividade na terceira e quarta socas; 2 x 2 para os estudos de N derivado do fertilizante na terceira soca e N-total e massa seca na quarta soca; e 2 x 2 x 5 para o estudo de solo em profundidade. Além disso, utilizou-se apenas dois tratamentos no estudo da transferência do N da palhada. Cada bloco apresentava duas parcelas, contendo os tratamentos que continham cada um 5 linhas de 30 m de comprimento, espaçadas de 1,20 m, foram consideradas como bordadura uma linha de cada lado dos tratamentos, utilizando-se as 3 linhas centrais com linhas úteis. No início e final de cada parcela foram instaladas quatro linhas como bordadura extra. A área total do experimento é de 860 m² (Figura 1).

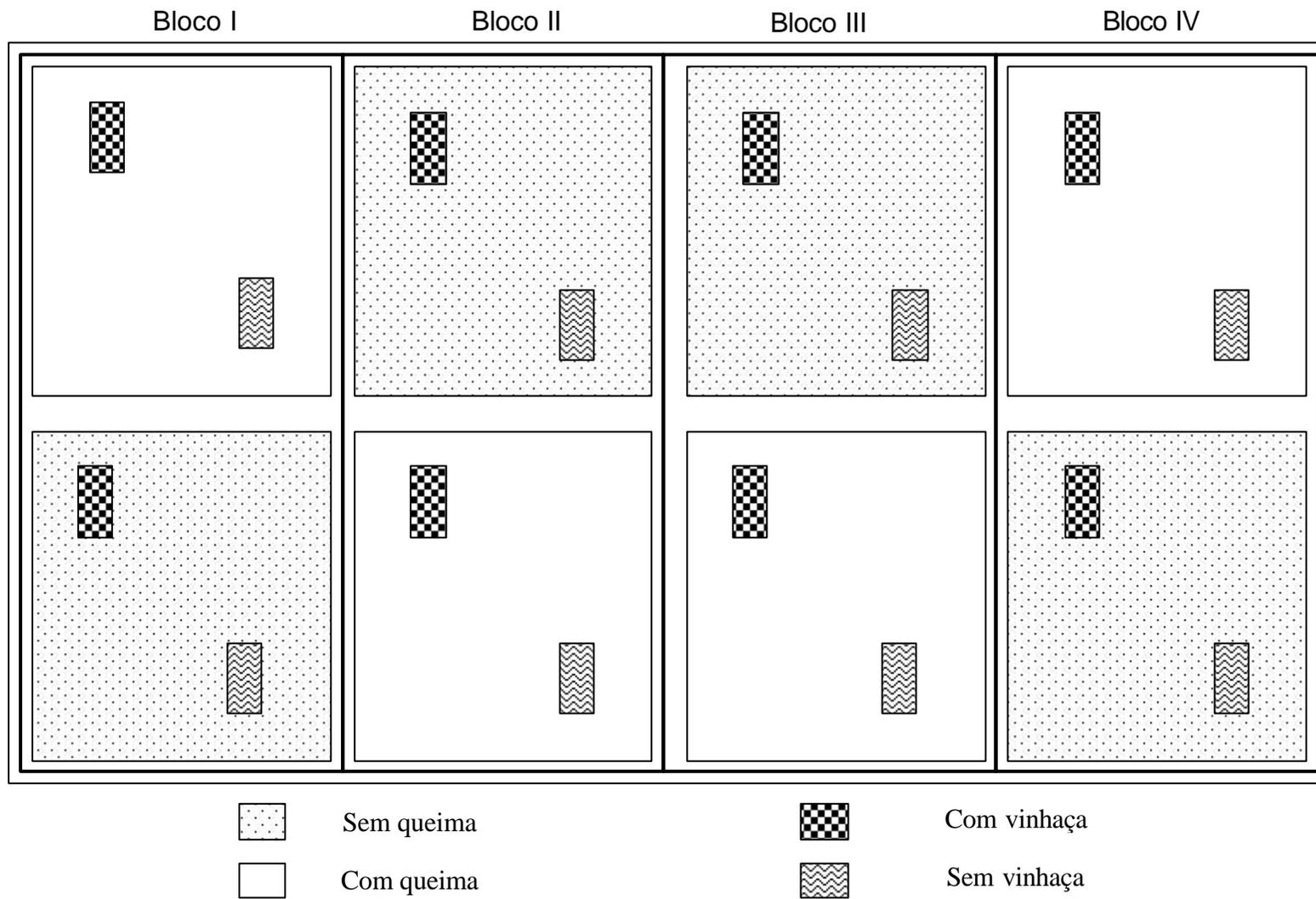


Figura 1. Área experimental total destacando as parcelas com e sem queima e as microparcelsas com e sem aplicação de vinhaça

A colheita da segunda soqueira foi realizada em 15 de agosto de 2001. No dia 29 de outubro de 2001 nas parcelas onde foi realizada a adubação nitrogenada, foram marcadas microparcels (Figura 2) com três linhas de plantio de 2,0 m lineares. Nestas microparcels, na linha central, foi aplicada manualmente uréia (^{15}N) no fundo de sulcos com 10 cm de profundidade. Os sulcos foram abertos a 10 cm de um dos lados da linha de plantio.

A colheita da terceira soca foi realizada no dia 09 de agosto de 2002. A adubação, aplicação da vinhaça e espalhamento da palhada ocorreu no dia 12 novembro de 2002. A colheita da quarta soca foi realizada no dia 11 de setembro de 2003.

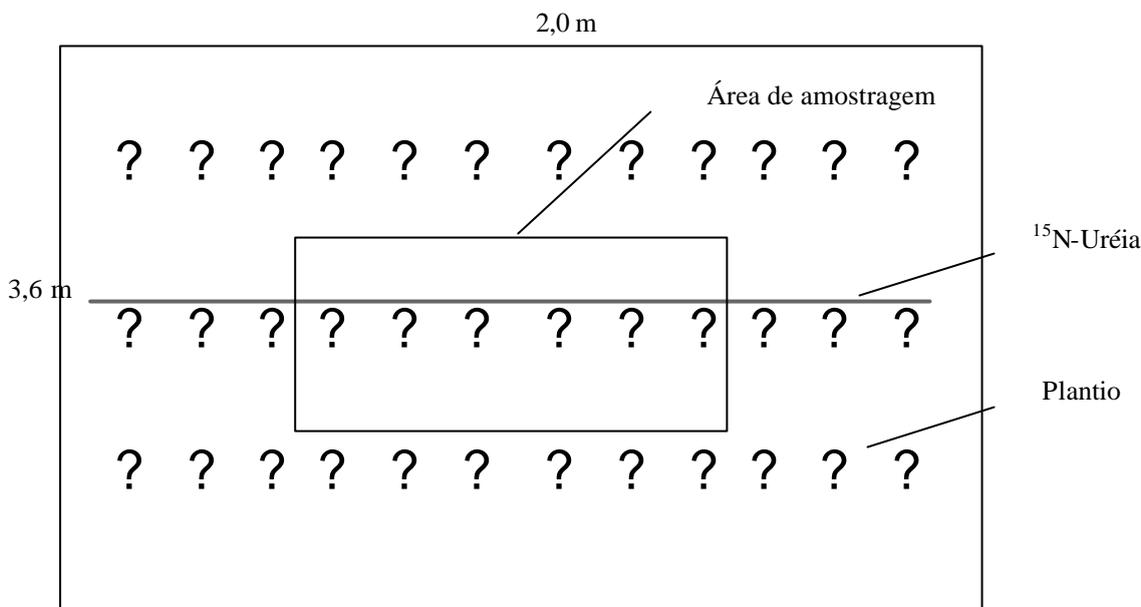


Figura 2. Microparcela com ^{15}N -uréia destinada aos estudos do N derivado do fertilizante.

3.2 Volatilização de N-amônia

Logo após a adubação (mesmo dia) foram instaladas armadilhas coletoras de amônia para determinar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia do solo, conforme metodologia descrita por Marzola et al. (2000) e adaptada por Guedes (2002). O monitoramento da volatilização de amônia foi realizado por um período de 10 dias e foram realizadas três repetições por microparcela. A armadilha constava de um frasco plástico transparente tipo PET de 2 litros sem a base. Suspendeu-se, com o auxílio de um arame de cobre revestido, uma fita de papel de filtro com 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento umedecida em solução de H_2SO_4 $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ + glicerina 2% (v/v) depositada em um frasco de filme fotográfico. A armadilha foi disposta no campo com o auxílio de uma estaca de madeira, sendo presa a esta com fita adesiva distante do solo aproximadamente 2 cm, com o intuito de permitir o fluxo de ar dentro do sistema coletor. Teve-se ainda o cuidado de cortar a ponta do gargalo e recolocá-lo invertido sobre o orifício com a finalidade de facilitar a troca da fita de papel (Figura 3). Para o cálculo da marcação de ^{15}N do N-total volatilizado durante o período de 10 dias foi realizada a média ponderada da marcação do primeiro, quinto e oitavo dias de monitoramento, usando-se o N-total em cada dia como fonte de ponderação.

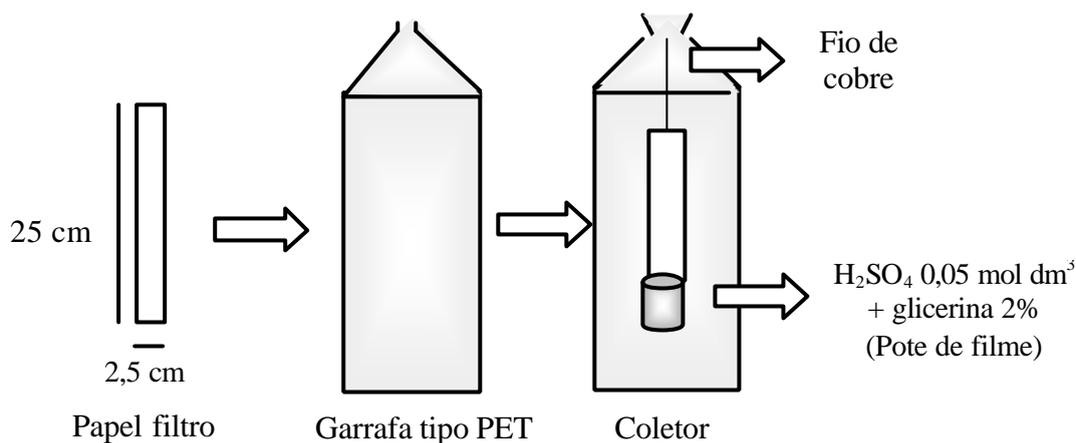


Figura 3. Sistema coletor de amônia utilizado no experimento (armadilha).

3.3 Estudo da Transferência de Nitrogênio (^{15}N)

A complementação nitrogenada, na terceira soca, foi feita utilizando uréia marcada com 4,9087% de átomos de ^{15}N em excesso (acima de 0,3663%), certificada pela International Atomic Energy Agency, com o intuito de garantir uma boa marcação dos restos culturais (em torno de 1% de ^{15}N em excesso).

Foram utilizados os seguintes sistemas de colheita:

A - Cana colhida sem queima da palhada;

B - Cana colhida após a queima da palhada;

Tratamentos:

1 - Testemunha sem adição de vinhaça;

2 - Testemunha com adição de vinhaça;

3 - Vinhaça complementada com 80 kg ha^{-1} de N-uréia incorporada ao solo;

4 - Aplicação de 80 kg ha^{-1} de N-uréia incorporada ao solo.

A dose de vinhaça aplicada foi equivalente a $120 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, sendo utilizados $167 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ divididos em duas aplicações. A análise química da vinhaça utilizada na terceira soca encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química da vinhaça utilizada no experimento (terceira soca).

pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	C
	kg m ⁻³					%
4,2	0,12	0,04	0,72	0,02	0,02	0,20

Para o estudo da transferência do nitrogênio (^{15}N) contido na palhada para a cana soca seguinte, após a colheita da terceira soca, a palhada produzida pelas microparcels, marcada com 0,3717% de átomos de ^{15}N em excesso foi espalhada em quantidade equivalente àquela deixada pela cultura em uma nova microparcela (Tabela 2), dentro da parcela, nas mesmas linhas de plantio e com dimensões idênticas.

Tabela 2. Massa seca e N-total da palhada adicionada sobre o solo da quarta soca de cana-de-açúcar.

Parte da planta	Massa seca	N-total acumulado	
	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Folhas secas + Ponteiros	6,6	9,0	59,4

Foram instaladas ainda, cinco telas de polietileno medindo 25 X 25 cm, fixadas ao solo por arames nas extremidades, em cada microparcela, com o intuito de avaliar a decomposição da palhada, através da perda de massa do material vegetal deixado sob a tela (Figuras 4 e 5). Foi utilizada malha de polietileno com 1,0 cm de abertura e o material vegetal ficou em contato direto com o solo visando causar o mínimo de interferência no processo de decomposição e na atividade da fauna do solo. A palhada foi submetida à secagem ao ar em ambiente protegido (25 a 40 °C) até massa constante antes de ser colocada nas microparcelas e sob as telas, em quantidades equivalentes à produção de palhada. A secagem ao ar do material foi feita para evitar possíveis alterações das suas características químicas caso ele fosse submetido à secagem em estufa. Foi descontado o teor de umidade deste material para que a quantidade utilizada fosse expressa em massa seca possibilitando a comparação com a massa seca restante no final do ciclo da cultura de cana soca.

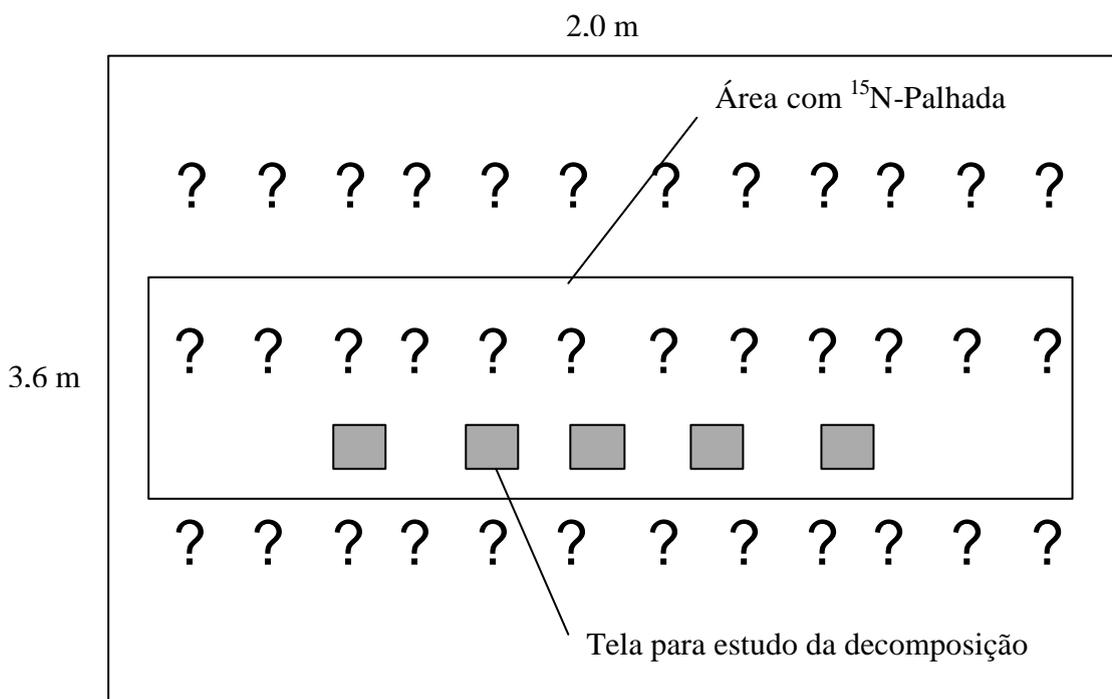


Figura 4. Microparcela com ¹⁵N-palhada destinada aos estudos de transferência de N e decomposição.

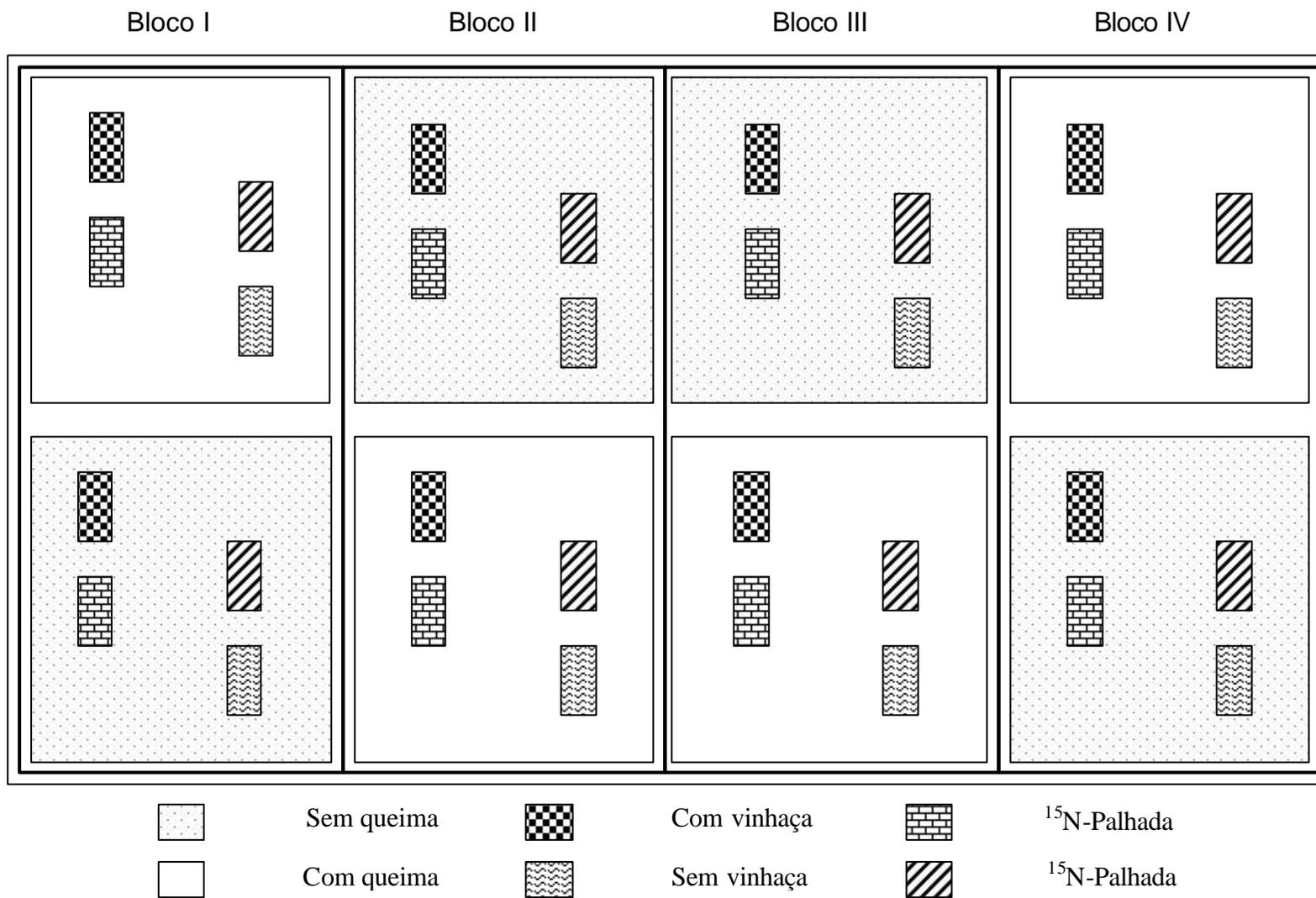


Figura 5. Área experimental total destacando as microparcelas com aplicação da palhada marcada com ¹⁵N em excesso.

Na colheita da terceira soca foram realizadas seis sub-amostras por microparcela para compor as amostragens de solo nas microparcels. As sub-amostragens foram feitas no metro central da linha e entrelinha, onde foi realizada a aplicaçã do ^{15}N , e o solo foi fracionado nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-50 e 50-80 cm. Esta maior profundidade foi amostrada como sendo o limite abaixo da qual a uréia (^{15}N) seria considerada lixiviada, ou seja, “nã disponível” para as plantas (Alvarez, 2000). A análise da parcela da testemunha mostrou uma abundância natural do solo de 0,3960% de átomos de ^{15}N . A caracterização química e densidade do solo encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Características químicas e densidade (DS) do solo.

Profundi- dade	pH _{H2O}	Al	Ca	Mg	K	Na	H+Al	P	C	DS
cm				cmol _c kg ⁻¹				mgkg ⁻¹	gkg ⁻¹	gcm ⁻³
0-10	5,7	0,2	1,09	0,71	0,19	0,04	2,27	6	6,7	1,21
10-20	5,7	0,2	1,15	0,67	0,14	0,03	2,24	5	6,6	1,36
20-30	5,7	0,2	1,19	0,65	0,13	0,02	2,17	4	6,7	1,42
30-50	5,8	0,1	1,19	0,60	0,11	0,02	2,13	3	5,8	1,41
50-80	5,9	0,2	1,21	0,60	0,11	0,02	1,71	3	4,6	1,40

Por ocasião das colheitas foram realizadas ainda coletas das plantas, do metro central da linha útil da microparcela, fracionadas em colmo, folhas secas e ponteiro (folhas verdes + palmito). Nas testemunhas as plantas foram coletadas na região central da parcela.

Nas amostras de solo, planta, palhada e fita de papel filtro das armadilhas foram determinados o teor de nitrogênio (N-total) pelo método Kjeldahl modificado (Tedesco, 1995). Para aumentar a eficiência da digestão das amostras de solo, planta e palhada utilizou-se catalizadores (Cu e Se) e Na₂SO₄ para elevar o ponto de ebulição do ácido. Nas amostras de solo utilizou-se ainda KMnO₄ e Fe reduzido para redução prévia do nitrato. As amostras das fitas de papel filtro das armadilhas foram imersas em 25ml de água destilada e em seguida analisadas pelo método Kjeldahl, sendo sempre realizadas provas em branco.

Para as análises isotópicas de ^{15}N do solo, planta, palhada e volatilizado foi utilizada a espectrometria de massa. O espectrômetro utilizado foi o modelo Finnigan MAT Delta plus com auto-analisador acoplado.

A seguir é apresentado o princípio de funcionamento de um espectrômetro de massa (Sato & Kawashita, 2002). Como esquematizado na Figura 6, uma partícula de massa (m) e carga (+q), é acelerada através de um potencial (V) antes de penetrar numa região onde existe um campo magnético (B), perpendicularmente dirigido para fora do papel. Sob a ação da força magnética a partícula percorrerá o semi-círculo ($r = x / 2$) até tocar no anteparo, conforme indicado na figura a uma distância (x) do ponto de entrada.

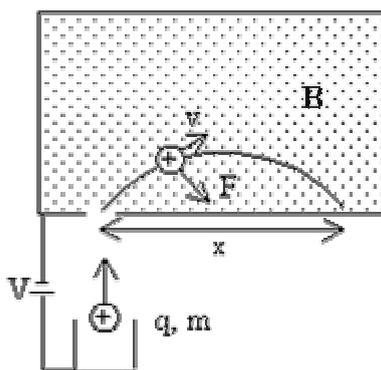


Figura 6. Esquema de forças envolvidas no funcionamento do espectrômetro de massa.

Antes de penetrar na região do campo magnético, a partícula terá adquirido energia pela aceleração através do potencial (V). Dito de outra forma, a partícula terá adquirido velocidade (v), satisfazendo as seguintes relações:

$$E = qV = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

Ao penetrar na região do campo magnético, a partícula estará sujeita à força magnética (qvB). Esta força será igualada à força centrípeta (mv^2/r), de modo que se obtém:

$$m = \frac{qB^2}{8V} x^2$$

Portanto, medindo-se a distância do impacto (x), pode-se calcular a massa da partícula (m), a partir da sua carga ($+q$) e de parâmetros experimentais controláveis (B) e (V). Este é o princípio de funcionamento do espectrômetro de massa. Na Figura 7 são apresentados os principais componentes de um espectrômetro de massa.

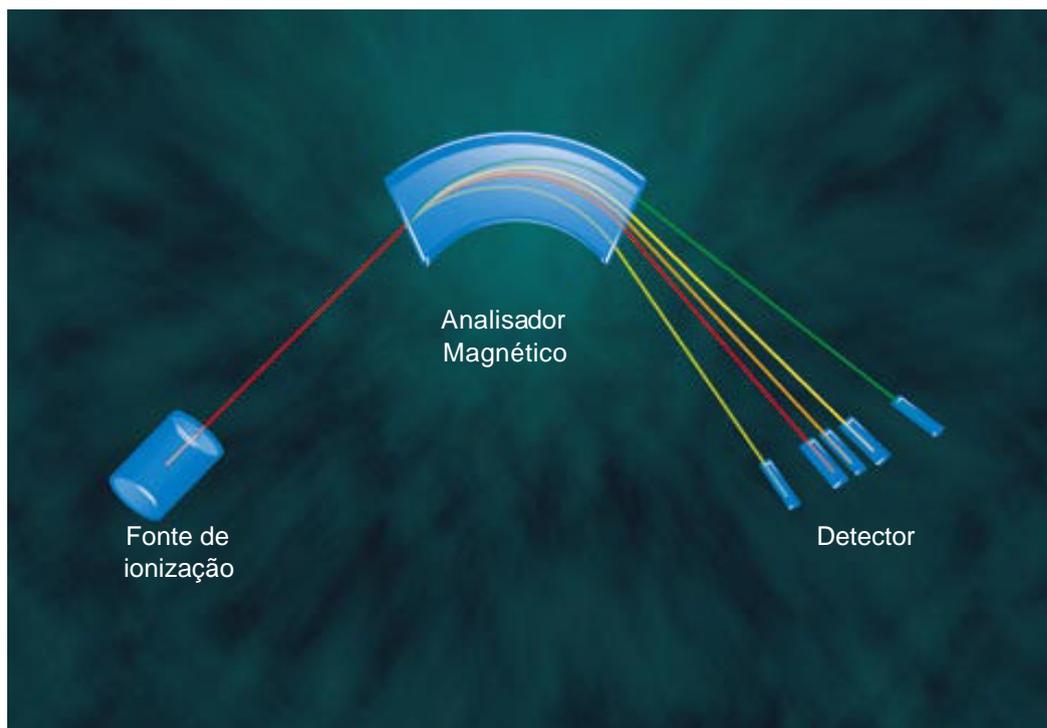


Figura 7. Desenho esquemático dos principais componentes de um espectrômetro de massa (Finnigan MAT, 1998).

Adotou-se neste trabalho o modelo de parcela com fertilizante ^{15}N e procedimento de amostragem e cálculos do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF) e da palhada (NPPP), do nitrogênio do solo proveniente do fertilizante (NSPF), do nitrogênio recuperado de cada fonte marcada (R), além do nitrogênio volatilizado na forma de amônia proveniente do fertilizante (NVPF), similar ao sugerido por Trivelin et al. (1994) e Alves (1999), conforme o exemplo das fórmulas a seguir, utilizadas para o fertilizante marcado:

$$\begin{aligned} \text{NPPF} (\%) &= (a/b) \cdot 100 \\ \text{NPPF} (\text{kg ha}^{-1}) &= \{\text{NPPF}(\%)/100\} \cdot \text{NT} (\text{kg ha}^{-1}) \\ \text{R} (\%) &= \{\text{NPPF} (\text{kg ha}^{-1})/\text{NF} (\text{kg ha}^{-1})\} \cdot 100 \end{aligned}$$

Onde: a e b são os % átomos ^{15}N em excesso na planta e no fertilizante, respectivamente (abundância natural considerada de 0,3663%); NT é o nitrogênio total acumulado nas plantas; NF é a dose de N-uréia utilizada. Para as demais fontes marcadas foram considerados cálculos semelhantes.

Os resultados foram submetidos à análise da variância com aplicação do teste F e as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa estatístico SAEG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas de Nitrogênio por Volatilização de NH_3

A dinâmica das perdas de nitrogênio total por volatilização de NH_3 na terceira soca e as precipitações que ocorreram no período de dez dias após a aplicação do adubo nitrogenado encontram-se na Figura 8. Observa-se que os picos de volatilização ocorreram no quinto, sexto e sétimo dias após a aplicação do adubo. A ocorrência das maiores taxas de volatilização nos primeiros dias após a aplicação da uréia também foi verificada por outros autores (Lara Cabezas et al., 2000; Guedes, 2002; Costa et al., 2003; Gava et al., 2003). O aumento das perdas de nitrogênio por volatilização durante estes dias foi favorecida pela elevada umidade do solo ocasionada pelas chuvas que ocorreram antes e durante o período de máxima volatilização. O aumento da umidade do solo ocasionado pelas chuvas que ocorreram no quarto, quinto, sexto e sétimo dias após a aplicação da uréia, teria potencializado tanto a solubilização da uréia quanto a liberação do nitrogênio do solo mobilizado por ocasião da aplicação do adubo.

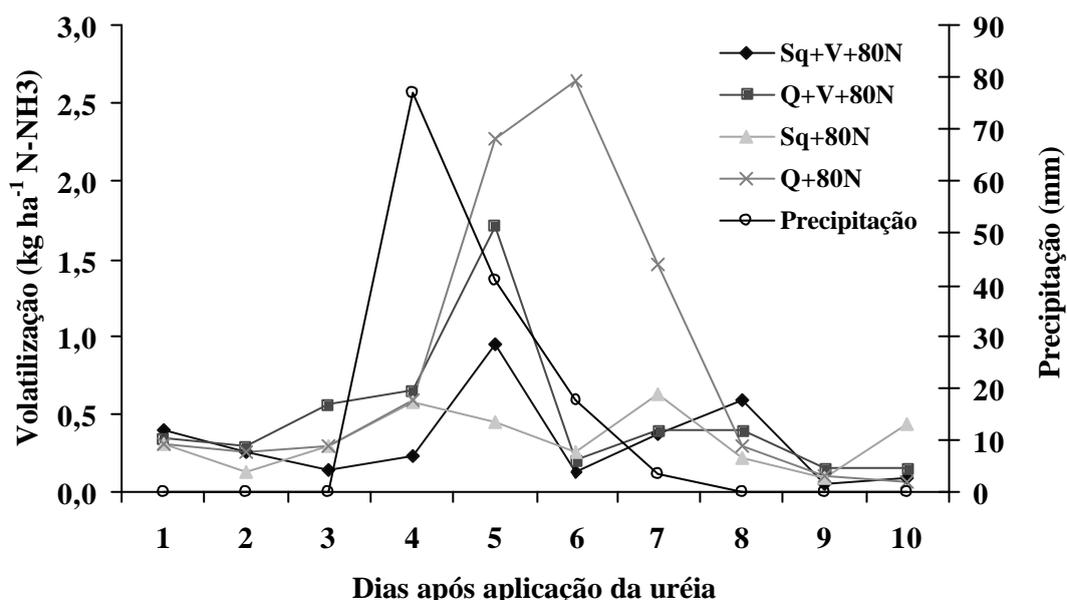


Figura 8. Volatilização de amônia e precipitação durante dez dias após a aplicação da uréia em cana-de-açúcar. Tratamentos: Sq = sem queima; Q = queimada; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia.

A Figura 9 mostra a volatilização acumulada durante os dez dias que se realizou o monitoramento da volatilização de amônia. Verifica-se que a volatilização de amônia (N-total) acumulada variou de 3,2 a 8,3 kg de N ha⁻¹. Com relação aos tratamentos, pode-se observar que na área onde se praticou a queima ocorreram as maiores perdas de nitrogênio total por volatilização de amônia, sendo que a aplicação da vinhaça garantiu uma diminuição significativa das perdas do nitrogênio total do solo neste sistema de colheita. Verifica-se também que a manutenção da palhada diminuiu significativamente as perdas de nitrogênio total por volatilização independente da aplicação de vinhaça.

Este fenômeno fica evidenciado também quando se compara o efeito dos tratamentos nas perdas por volatilização de amônia do nitrogênio oriundo do fertilizante aplicado (NVPF), apesar da menor magnitude dos valores (Tabela 4), fica evidente a diminuição das perdas do adubo nitrogenado por volatilização de amônia. Pode-se observar que apenas a manutenção da palhada diminuiu em até nove vezes as perdas do adubo nitrogenado por volatilização de amônia. Portanto, a manutenção da palhada sobre o solo mostrou-se uma eficaz forma de diminuir as perdas por volatilização quando o adubo nitrogenado é aplicado em sulco. Já a aplicação de vinhaça mostrou-se mais eficaz na diminuição da volatilização do nitrogênio proveniente do adubo nitrogenado quando a cana foi queimada.

Observando o percentual do nitrogênio da uréia que volatilizou (R), verifica-se o efetivo controle da volatilização de amônia quando a uréia é aplicada em sulco de 10 cm de profundidade, resultados semelhantes foram verificados por Camargo (1989) e Cantarella, et al. (1999).

A marcação média na amônia volatilizada no primeiro, quinto e oitavo dias foi de 0,1810, 0,6590 e 0,2500% de átomos de ^{15}N em excesso, respectivamente. Portanto verifica-se que a marcação foi maior no período de maior volatilização total.

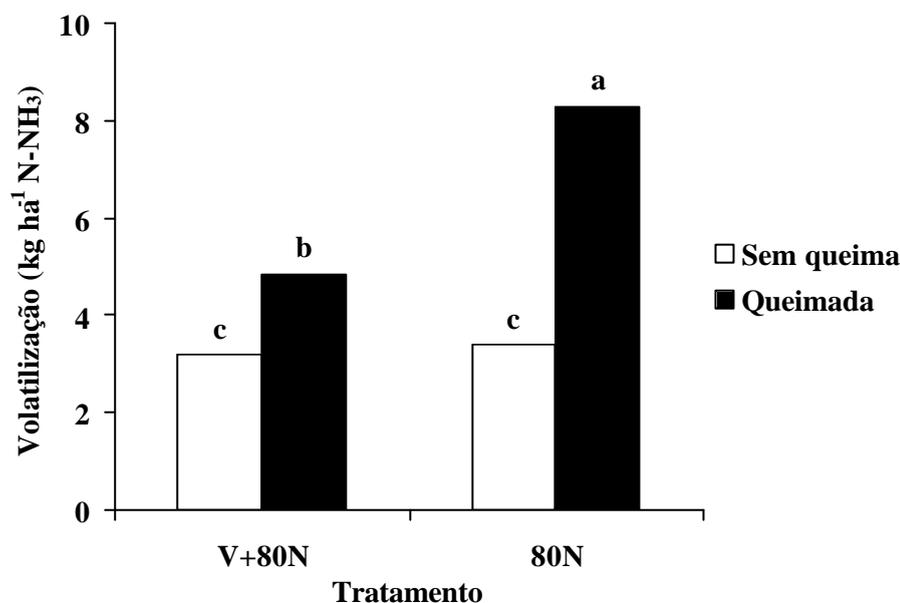


Figura 9. Volatilização do N-total acumulada durante dez dias após a aplicação da uréia em cana-de-açúcar. Tratamentos: V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). CV% = 13,9.

Tabela 4. Volatilização de N-NH₃ acumulado durante 10 dias, N-NH₃ volatilizado proveniente do fertilizante (NVPF) e recuperação pela volatilização do N-uréia (R) aplicado em soqueira de cana-de-açúcar, média de quatro repetições.

Tratamento	N-NH ₃ volatilizado		NVPF		R	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Sq+V+80N	3,2 c	4,7 ab	0,15 b	0,19 b	0,15 b	0,19 b
Sq+80N	3,4 c	3,2 b	0,11 b	0,14 b	0,11 b	0,14 b
Q+V+80N	4,9 b	5,1 ab	0,25 b	0,31 b	0,25 b	0,31 b
Q+80N	8,3 a	11,9 a	1,00 a	1,25 a	1,00 a	1,25 a
CV%	13,9	33,3	16,1	17,8	16,1	17,8

Tratamentos: Sq = sem queima; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias, entre tratamentos, seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). Os dados relativos ao N derivado do fertilizante foram transformados, para a análise estatística, por raiz quadrada de ($x + 0,5$).

4.2 Utilização do Nitrogênio da Uréia pela Cana -de-Açúcar de Terceira Soca

Os dados relativos à produção de material seco e nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar de terceira soca, fracionados em folhas secas, ponteiros e colmos, encontram-se na Tabela 5. Dados semelhantes foram encontrados por diversos autores (Sampaio et al., 1984; De-Polli, 1988; Lima et al, 1987a; Urquiaga et al., 1992; Trivelin et al, 1995 e 1996; Vitti, 1998; Oliveira et al., 2000; Gava et al. 2003; Resende, 2003).

A produção média de massa seca da palhada (folhas secas + ponteiros) foi de 6,4 t ha⁻¹ tendo um conteúdo médio de nitrogênio equivalente a 51,4 kg de N ha⁻¹. Sendo, portanto esta a quantidade de nitrogênio que seria praticamente toda perdida durante o processo de queima do canavial.

Em relação aos tratamentos verifica-se que aqueles que receberam vinhaça complementada com nitrogênio ou apenas adubação nitrogenada tiveram maior teor (g kg⁻¹) e conteúdo de nitrogênio (kg ha⁻¹) na parte aérea da cana-de-açúcar. A produção de massa seca destes tratamentos foi significativamente superior à produção da testemunha sem queima. Este comportamento estaria relacionado à menor disponibilidade de nitrogênio no solo causado pela ausência de adubação nitrogenada e aplicação de vinhaça e pela maior competição do aumento da população microbiana causada pela presença da palhada sobre o solo (Mendoza, 2000).

Observa-se que o acúmulo de nitrogênio pela parte aérea variou de 69,3 a 206,8 kg de N ha⁻¹, sendo que a exportação de nitrogênio através dos colmos variou de 36,8 a 150,6 kg de N ha⁻¹.

Tabela 5. Massa seca e N-total acumulado na parte aérea da terceira soca de cana-de-açúcar, média de quatro repetições.

Tratamento	Parte da planta	Massa seca	N-total acumulado	
		t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Sq+V	Folhas secas	2,7 b	3,1 c	8,4 c
	Ponteiros	2,2	10,6 b	23,3
	Colmos	22,1 ab	1,7 c	37,6 b
	Parte aérea	27,0 ab	2,6 d	69,3 b
Sq+V+80N	Folhas secas	4,5 ab	8,2 a	36,9 a
	Ponteiros	1,9	15,2 a	28,9
	Colmos	27,0 a	4,6 b	124,2 a
	Parte aérea	33,4 a	5,7 ab	190,0 a
Sq+80N	Folhas secas	3,8 ab	7,9 a	30,0 ab
	Ponteiros	2,1	14,1 ab	29,6
	Colmos	27,1 a	4,3 b	116,5 a
	Parte aérea	33,0 a	5,3 b	176,2 a
Sq	Folhas secas	3,6 ab	4,0 c	14,4 c
	Ponteiros	2,2	13,5 ab	29,7
	Colmos	19,3 b	2,1 c	40,5 b
	Parte aérea	25,1 b	3,4 cd	84,6 b
Q+V	Folhas secas	4,6 ab	3,5 c	16,1 bc
	Ponteiros	2,2	15,0 a	33,0
	Colmos	23,0 ab	1,6 c	36,8 b
	Parte aérea	29,8 ab	2,9 cd	85,9 b
Q+V+80N	Folhas secas	5,4 a	6,4 b	34,6 a
	Ponteiros	1,7	12,6 ab	21,4
	Colmos	25,4 ab	5,9 a	149,9 a
	Parte aérea	32,5 a	6,3 ab	205,8 a
Q+80N	Folhas secas	4,8 ab	6,4 b	30,7 ab
	Ponteiros	2,2	11,6 ab	25,5
	Colmos	25,1 ab	6,0 a	150,6 a
	Parte aérea	32,1 ab	6,4 a	206,8 a
Q	Folhas secas	4,9 ab	4,0 c	19,6 bc
	Ponteiros	2,3	12,5 ab	28,8
	Colmos	20,4 ab	2,5 c	51,0 b
	Parte aérea	27,6 ab	3,6 c	99,4 b
CV%	Folhas secas	32,0	15,9	38,8
	Ponteiros	20,2	19,6	31,5
	Colmos	17,6	18,2	29,6
	Parte aérea	14,6	14,2	22,8

Tratamentos: Sq = sem queima; Q = queimada; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias, entre tratamentos, seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$).

Na Tabela 6 encontram-se os resultados de nitrogênio proveniente do fertilizante na parte aérea da cana de terceira soca aos doze meses (NPPF). Observa-se que o percentual de nitrogênio da parte aérea da planta proveniente do fertilizante variou de 11,7 a 18,7%. Enquanto que a quantidade de nitrogênio na parte aérea da planta proveniente do fertilizante ficou entre 22,2 e 33,0 kg de N ha⁻¹, representando uma recuperação do N-fertilizante aplicado de 27,8 a 41,3%. Estes resultados estão de acordo com os verificados por diversos autores (Camargo, 1989, Trivelin et al., 1995, 1996 e 2002; Vitti, 1998; Oliveira et al., 2000; Gava 2001 e 2003). Portanto, de 81,3 a 88,3% do N-total encontrado na parte aérea da planta foi oriundo de outra fonte diferente da uréia aplicada.

Invariavelmente a fração da planta que apresentou maior recuperação do N-uréia foram os colmos em função do maior conteúdo de N-total nesta fração, porém esta representa exatamente a fração que será exportada. Observa-se também uma tendência de menor recuperação do N-uréia pela parte aérea da planta quando se aplica vinhaça complementada com N-uréia. Na área queimada e sem a aplicação de vinhaça a recuperação do N-uréia nos colmos foi significativamente superior à área sem queima e com aplicação de vinhaça. Portanto a aplicação de vinhaça em área sem queima diminui a eficiência de recuperação do N-uréia nos colmos de cana-de-açúcar.

Na área sem queima o percentual do N-total da parte aérea da planta que provém do N-uréia aplicado foi significativamente maior no caso onde não se aplicou vinhaça. Este efeito da vinhaça na redução do NPPF também foi observado na área com queima, porém em menor magnitude.

Tabela 6. N-total acumulado na parte aérea, N da planta proveniente do fertilizante (NPPF) e recuperação do N-uréia (R) pela parte aérea da terceira soca de cana-de-açúcar, média de quatro repetições.

Tratamento	Parte da planta	N-total	NPPF		R
		kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Sq+V+80N	Folhas secas	36,9	11,7 b	4,3	5,4
	Ponteiros	28,9	15,9	4,6	5,8
	Colmos	124,2	10,7 b	13,3 b	16,6 b
	Parte aérea	190,0	11,7 b	22,2	27,8
Sq+80N	Folhas secas	30,0	22,7 a	6,8	8,5
	Ponteiros	29,6	20,6	6,1	7,6
	Colmos	116,5	17,3 a	20,1 ab	25,1 ab
	Parte aérea	176,2	18,7 a	33,0	41,3
Q+V+80N	Folhas secas	34,6	14,7 ab	5,1	6,4
	Ponteiros	21,4	12,6	2,7	3,4
	Colmos	149,9	14,7 ab	22,0 ab	27,5 ab
	Parte aérea	205,8	14,5 ab	29,8	37,3
Q+80N	Folhas secas	30,7	16,9 ab	5,2	6,5
	Ponteiros	25,5	12,2	3,1	3,9
	Colmos	150,6	16,0 ab	24,1 a	30,1 a
	Parte aérea	206,8	15,7 ab	32,4	40,5
CV%	Folhas secas	-	32,8	54,3	54,3
	Ponteiros	-	45,7	61,9	61,9
	Colmos	-	22,0	29,1	28,9
	Parte aérea	-	22,4	28,6	28,5

Tratamentos: Sq = sem queima; Q = queimada; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias, entre tratamentos, seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$).

4.3 Utilização do Nitrogênio da Palhada pela Cana-de-Açúcar de Quarta Soca

Na Figura 10 são apresentados os percentuais de decomposição da palhada remanescente da terceira soca sem queima, após o ciclo da quarta soca. A decomposição da palhada oriunda do canavial sem queima também foi medida na área com queima com o intuito de evidenciar a diferença da atividade biológica nos dois sistemas, além de verificar como se comporta a decomposição da palhada num primeiro ano de mudança no sistema de corte da cana de queimada para sem queima.

A decomposição de 6,4 t ha⁻¹ de massa seca de palhada em dez meses foi, em média, de 72,1% no sistema sem queima e de 59,1% no sistema com queima da palhada. Ainda em relação aos tratamentos a decomposição da palhada da cana-de-açúcar foi significativamente maior na área sem queima, não sendo influenciada pela aplicação de vinhaça. Os dados de decomposição da palhada na área sem queima são próximos aos encontrados por Urquiaga et al (1991) que verificaram uma redução de massa de 92%, porém são bastante distintos dos verificados por Oliveira et al. (1999) que observaram uma redução de 20%.

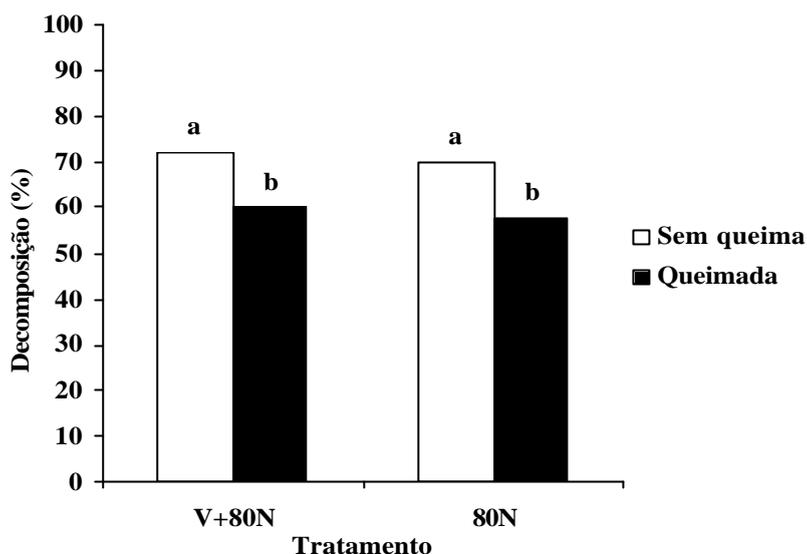


Figura 10. Decomposição após dez meses de aplicação da palhada de cana-de-açúcar. Tratamentos: V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). CV% = 6,6.

A Tabela 7 mostra os dados relativos à produção de material seco e nitrogênio acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar de quarta soca, fracionados em folhas secas, ponteiros e colmos.

Observa-se que os dados referem-se aos tratamentos que sofreram aplicação de uréia e que o N-total acumulado na parte aérea esteve entre 148,3 e 226,4 kg de N ha⁻¹. O acúmulo de N-total na parte aérea da planta foi significativamente maior na área sem queima e sem aplicação de vinhaça quando comparado com a área queimada. Os tratamentos sem queima apresentaram maior conteúdo de nitrogênio (kg ha⁻¹) nos colmos da cana-de-açúcar, ou seja, na área sem queima ocorre maior exportação de nitrogênio. O teor de N-total na parte aérea da planta da quarta soca na área sem queima e sem aplicação de vinhaça foi significativamente superior aos tratamentos com queima da palhada.

Tabela 7. Massa seca e N-total acumulado na parte aérea da quarta soca de cana-de-açúcar, média de quatro repetições.

Tratamento	Parte da planta	Massa seca	N-total acumulado	
		t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Sq+V+80N	Folhas secas	6,9	5,7 a	39,3
	Ponteiros	1,4 b	12,4	17,4 b
	Colmos	27,8	5,1 a	141,8 a
	Parte aérea	36,1	5,5 ab	198,5 ab
Sq+80N	Folhas secas	7,2	5,3 a	38,2
	Ponteiros	2,2 ab	12,3	27,1 ab
	Colmos	26,0	6,2 a	161,2 a
	Parte aérea	35,4	6,4 a	226,4 a
Q+V+80N	Folhas secas	6,6	3,7 b	24,4
	Ponteiros	3,6 a	11,6	41,8 a
	Colmos	26,5	3,1 b	82,2 b
	Parte aérea	36,7	4,1 b	148,3 b
Q+80N	Folhas secas	5,4	5,5 a	29,5
	Ponteiros	3,0 ab	10,7	32,1 ab
	Colmos	20,4	4,3 ab	87,7 b
	Parte aérea	28,8	5,1 b	149,5 b
CV%	Folhas secas	31,1	17,4	29,7
	Ponteiros	32,4	11,9	43,4
	Colmos	18,6	25,5	27,8
	Parte aérea	18,4	19,2	29,9

Tratamentos: Sq = sem queima; Q = queimada; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias, entre tratamentos, seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$).

Na Tabela 8 verifica-se os resultados de nitrogênio proveniente da palhada na parte aérea da cana de quarta soca (NPPP). Observa-se que o percentual de nitrogênio da planta proveniente da palhada quando se aplicou vinhaça foi de 2,2% e quando não se aplicou foi de 1,3%. A quantidade de nitrogênio proveniente da palhada nos colmos foi maior quando se fez a aplicação de vinhaça e teve uma tendência de superioridade quando se considera a parte aérea total da planta.

A recuperação do N-palhada pode ser avaliada, tanto em relação à quantidade de nitrogênio adicionado ao solo pelo total da palhada quanto pela fração desta palhada que foi decomposta, sendo esta segunda forma a que parece ser mais adequada. Observa-se que a recuperação do N-palhada tende a ser maior no tratamento que recebeu vinhaça, porém esta diferença é mais acentuada quando se considera apenas a quantidade de N liberado pela decomposição da palhada. Estas diferenças foram significativas na recuperação do N-palhada pelos colmos da cana-de-açúcar.

Tabela 8. N-total acumulado na parte aérea, N da planta proveniente da palhada (NPPP) e recuperação do N-palhada (R) pela parte aérea da quarta soca de cana-de-açúcar, considerando o N adicionado pelo total da palhada e pela fração decomposta, média de quatro repetições.

Tratamento	Parte da planta	N-total		NPPP		R total	
		kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	%	R decomposta
Sq+V+80N	Folhas secas	39,3	2,3	0,9	1,6	2,1	
	Ponteiros	17,4	2,9	0,5	0,9	1,3	
	Colmos	141,8	2,0 a	2,9 a	5,0 a	6,9 a	
	Parte aérea	198,5	2,2	4,4	7,4	10,2	
Sq+80N	Folhas secas	38,2	1,3	0,5	0,9	1,3	
	Ponteiros	27,1	1,8	0,5	1,0	1,3	
	Colmos	161,2	1,2 b	1,9 b	3,2 b	4,5 b	
	Parte aérea	226,4	1,3	2,9	4,9	7,1	
CV%	Folhas secas	-	77,1	78,7	81,6	77,8	
	Ponteiros	-	86,8	65,7	67,4	65,9	
	Colmos	-	27,7	11,8	11,8	12,3	
	Parte aérea	-	44,0	30,2	30,4	30,8	

Tratamentos: Sq = sem queima; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias, entre tratamentos, seguidas de letras iguais não diferem pelo teste t de Student ($\alpha = 0,05$).

Observando os percentuais de nitrogênio da planta proveniente do fertilizante e da palhada nas Tabelas 6 e 8, verifica-se que no tratamento sem queima e com aplicação de vinhaça 13,9% do nitrogênio da parte aérea foram oriundos do fertilizante e da palhada. Enquanto que na área sem queima e sem aplicação de vinhaça 20,0% do N-total da parte aérea vieram do fertilizante e da palhada. Portanto, o percentual de nitrogênio da parte aérea da planta, oriundo de outras fontes variou de 80,0 a 86,1%. Estes dados corroboram as observações feitas por outros autores ao verificarem que em condições de campo a maior parte do N-total da planta de cana-de-açúcar é derivado da mineralização da matéria orgânica do solo, da fixação biológica de N₂ e de outras fontes que não do fertilizante aplicado (Lima et al., 1987a; Camargo, 1989; Urquiaga et al., 1992; Sampaio et al., 1995; Trivelin et al., 1995 e 1996; Vitti, 1998; Trivelin, 2000; Gava et al., 2003).

4.4 Nitrogênio Residual no Solo Proveniente da Uréia

Os dados relativos ao nitrogênio do solo encontram-se na Tabela 9. Observa-se que a quantidade de N-total variou entre as camadas mais em função da espessura da camada do que pelo teor de nitrogênio, sendo que os menores teores de N foram encontrados na camada de 50-80 cm, enquanto que os maiores teores foram encontrados nas camadas superficiais. Assim como o N-total a quantidade de nitrogênio do solo proveniente da uréia diminuiu em profundidade, sendo nula nas camadas mais profundas. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Oliveira (2002).

Tabela 9. N-total do solo, N do solo proveniente do fertilizante (NSPF) e N-uréia residual no solo (R) em cada camada do solo, após um ciclo de cana soca, média de quatro repetições.

Tratamento	Profundidade cm	N-total		NSPF		R
		g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Sq+V+80N	0-10	0,29	353,9 c	0,51 B	1,8 B	2,3 B
	10-20	0,23	309,4 c	0,68 B	2,1 B	2,6 B
	20-30	0,24	344,4 c	0,41	1,4 B	1,8 B
	30-50	0,23	641,6 b	0	0 B	0 B
	50-80	0,24	987,0 Aa	0	0	0
Sq+80N	0-10	0,27 a	326,7 b	3,70 Aa	12,1 Aa	15,1 Aa
	10-20	0,25 ab	333,2 b	2,76 Aa	9,2 Aa	11,5 Aa
	20-30	0,24 ab	344,4 b	1,74 ab	6,0 Aa	7,5 Aa
	30-50	0,23 ab	655,7 a	0,21 c	1,4 Bb	1,8 Bb
	50-80	0,17 b	714,0 Ba	0 c	0 c	0 c
Q+V+80N	0-10	0,28 ab	335,8 c	4,32 Aa	14,5 Aa	18,1 Aa
	10-20	0,30 a	404,6 c	3,19 Aa	12,9 Aa	16,1 Aa
	20-30	0,23 ab	326,6 c	2,1 a	6,7 Ab	8,4 Ab
	30-50	0,24 ab	676,8 b	0 b	0 Bc	0 Bc
	50-80	0,20 b	850,5 ABa	0 b	0 c	0 c
Q+80N	0-10	0,25 a	305,5 b	4,06 Aa	12,4 Aa	15,5 Aa
	10-20	0,26 a	350,2 b	2,91 Aab	10,2 Aab	12,8 Aab
	20-30	0,20 ab	287,6 b	1,63 bc	4,7 Ab	5,8 Ab
	30-50	0,26 a	719,1 a	0,88 cd	6,3 Aab	7,9 Aab
	50-80	0,16 b	693,0 B a	0 d	0 c	0 c
CV%	-	21,8	23,2	27,8	38,5	40,5

Tratamentos: Sq = sem queima; Q = queimada; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem significativamente entre tratamentos; médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem significativamente entre profundidades. Os dados relativos ao N derivado do fertilizante foram transformados, para a análise estatística, por raiz quadrada de (x + 0,5).

Em relação aos tratamentos verifica-se que nas áreas onde houve a aplicação de vinhaça não foi encontrado N-uréia na camada de 30-80 cm. Na área sem queima e com aplicação de vinhaça, na camada de 0-30, foram encontrados os menores valores de nitrogênio proveniente da uréia.

Na Tabela 10 são apresentados os valores de nitrogênio total e proveniente da uréia na camada de 0-80 cm do solo. Os resultados são provenientes dos dados da Tabela 9. Observa-se que a quantidade de nitrogênio proveniente do adubo variou de 5,3 a 33,6 kg ha⁻¹, na camada de 0-80 cm de solo. O N residual variou de 6,6 a 42,8% do total aplicado, os maiores valores são próximos aos encontrados por Lima Jr. & Bettany (1999b). Em relação aos tratamentos, verifica-se que a área sem queima e com aplicação de vinhaça apresentou a menor quantidade de nitrogênio oriundo do adubo nitrogenado.

Tabela 10. N-total do solo, N do solo proveniente do fertilizante (NSPF) e N-uréia residual no solo (R) na camada de 0-80 cm, após um ciclo de cana soca, média de quatro repetições.

Tratamento	N-total	NSPF		R
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Sq+V+80N	2636,2	0,20 b	5,3 b	6,6 b
Sq+80N	2373,9	1,21 a	28,7 a	35,9 a
Q+V+80N	2594,3	1,32 a	34,2 a	42,8 a
Q+80N	2355,4	1,43 a	33,6 a	42,0 a
CV%	9,5	17,0	34,4	36,0

Tratamentos: Sq = sem queima; Q = queimada; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias, entre tratamentos, seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$).

4.5 Compartimentalização do Nitrogênio da Uréia Aplicada em Cana Soca

A distribuição do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera encontra-se na Tabela 11. Verifica-se que o nitrogênio do adubo contido na planta, solo e volatilizado representou de 34,6 a 83,8% do total de N-uréia aplicada. O tratamento sem queima e com aplicação de vinhaça apresentou a menor recuperação total do nitrogênio aplicado.

Tabela 11. Nitrogênio da parte aérea da planta (NPPF), do solo (NSPF), volatilizado (NVPF) e de todo o sistema (NTPF), provenientes do fertilizante e recuperação total do sistema solo-planta (R total), após um ciclo de cana soca, média de quatro repetições.

Tratamento	NPPF	NSPF	NVPF	NTPF	R total
	kg ha ⁻¹				%
Sq+V+80N	22,2	5,3 b	0,2 b	27,7 b	34,6 b
Sq+80N	33,0	28,7 a	0,1 b	61,8 a	77,3 a
Q+V+80N	29,8	34,2 a	0,3 b	64,3 a	80,4 a
Q+80N	32,4	33,6 a	1,0 a	67,0 a	83,8 a
CV%	28,6	34,4	16,1	24,8	24,8

Tratamentos: Sq = sem queima; Q = queimada; V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia. Médias, entre tratamentos, seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). Os dados de NSPF e NVPF foram transformados, para a análise estatística, por raiz quadrada de $(x + 0,5)$.

Na Figura 11 verifica-se a distribuição percentual do nitrogênio proveniente da uréia no sistema solo-planta em cana de terceira soca. Observa-se que o tratamento sem queima e com aplicação de vinhaça teve o maior déficit no balanço do N-uréia.

Em relação a este déficit pode-se considerar que a aplicação da vinhaça, associada a um ambiente com maior umidade, proporcionado pela manutenção da palhada no solo, pode ter favorecido a desnitrificação, conforme Amaral Sobrinho et al. (1983). Oliveira (1999) estimou que as perdas por volatilização do N-uréia assimilado pela parte aérea da planta foram em média de 19% na cana de primeira soca. Portanto, a desnitrificação, favorecida pelo ambiente proporcionado pela

cana sem queima, estaria somando-se às perdas gasosas pela parte aérea da planta causando o aumento das perdas do N-uréia. Além destas perdas não mensuradas, parte do nitrogênio ficou alocado na porção subterrânea da planta (raízes e rizomas), que não foi quantificada, conforme verificado por Vitti (1998). Portanto estes fatores podem ter contribuído para os déficits encontrados no balanço do N-uréia.

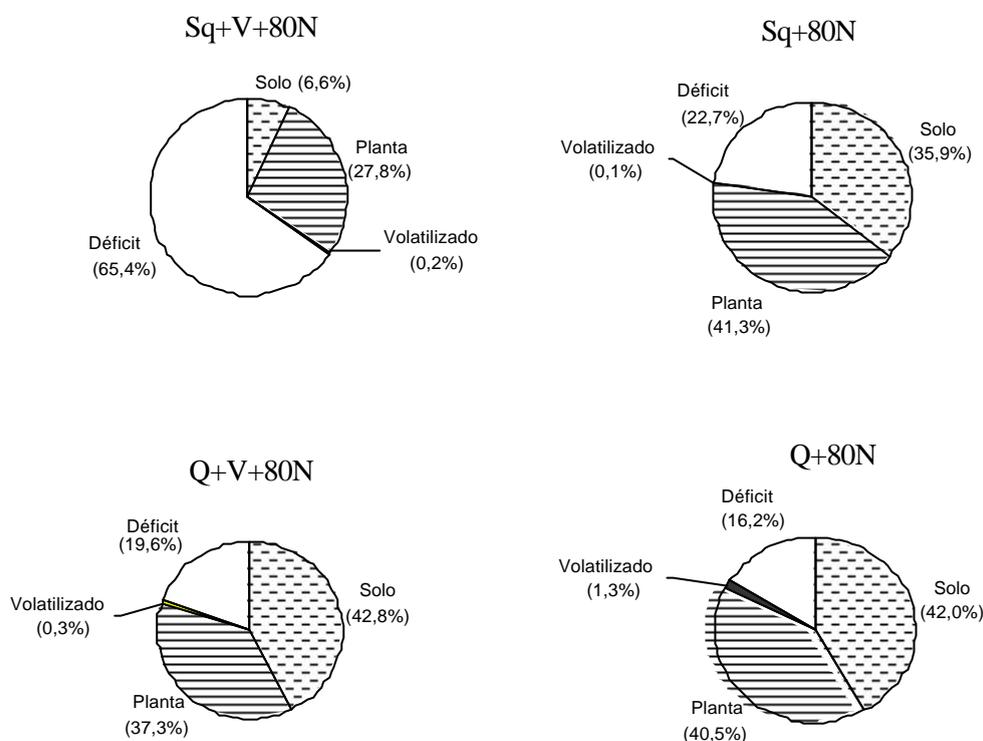


Figura 11. Distribuição percentual do nitrogênio proveniente da uréia no sistema solo-planta em cana de terceira soca.

4.6 Produção de Colmos pela Cana-de-Açúcar

Os dados de produção de colmos frescos da terceira soca são apresentados na Figura 12. Verifica-se que a produtividade variou entre 64,3 e 90,2 t ha⁻¹. Na terceira soca os tratamentos sem queima, onde se aplicou uréia, apresentaram resultados de produtividade significativamente superiores ao da testemunha sem queima. Já nas áreas com queima não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Portanto a adubação nitrogenada com uréia tem maior efeito de aumento da produtividade em cana-de-açúcar quando se realiza a colheita sem queima.

A Figura 13 mostra a produção de colmos frescos da quarta soca. A produtividade esteve entre 52,6 e 92,5 t ha⁻¹. Na quarta soca o tratamento sem queima com aplicação de vinhaça complementada com N-uréia foi significativamente superior àquele com queima e aplicação de uréia e às testemunhas tanto com quanto sem queima. Apenas a adubação nitrogenada com uréia na área queimada não foi suficiente para garantir produtividades superiores às testemunhas, enquanto que na área sem queima a adubação nitrogenada com uréia garantiu ganhos de produtividade significativamente

superiores à testemunha sem queima. A aplicação de vinhaça promoveu aumentos significativos de produtividade quando comparados à testemunha sem queima.

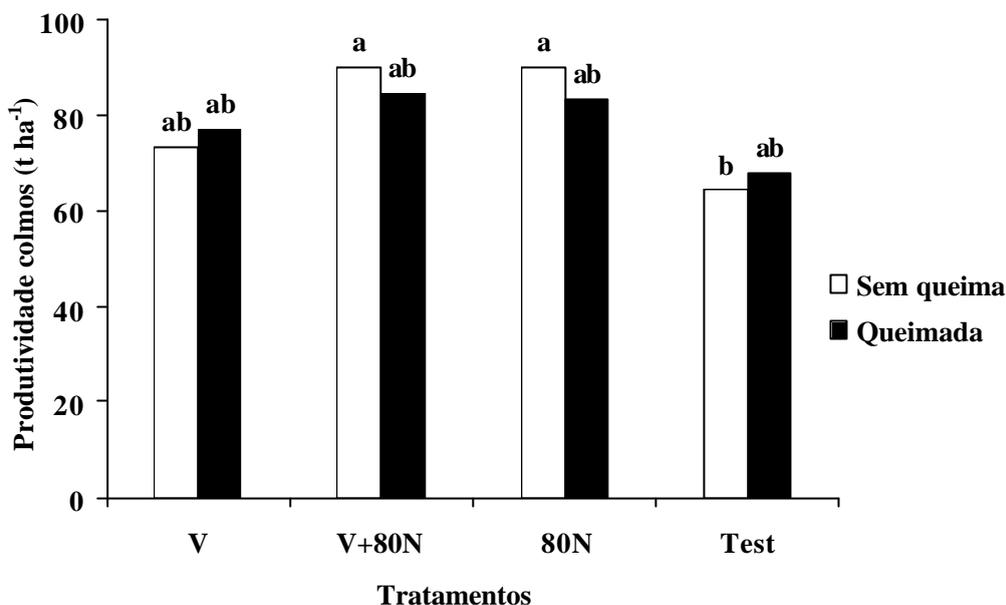


Figura 12. Produtividade de colmos no ciclo de terceira soca de cana-de-açúcar. Tratamentos: V= vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia; Test = testemunha. Letras iguais entre médias, não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). CV% = 17,6.

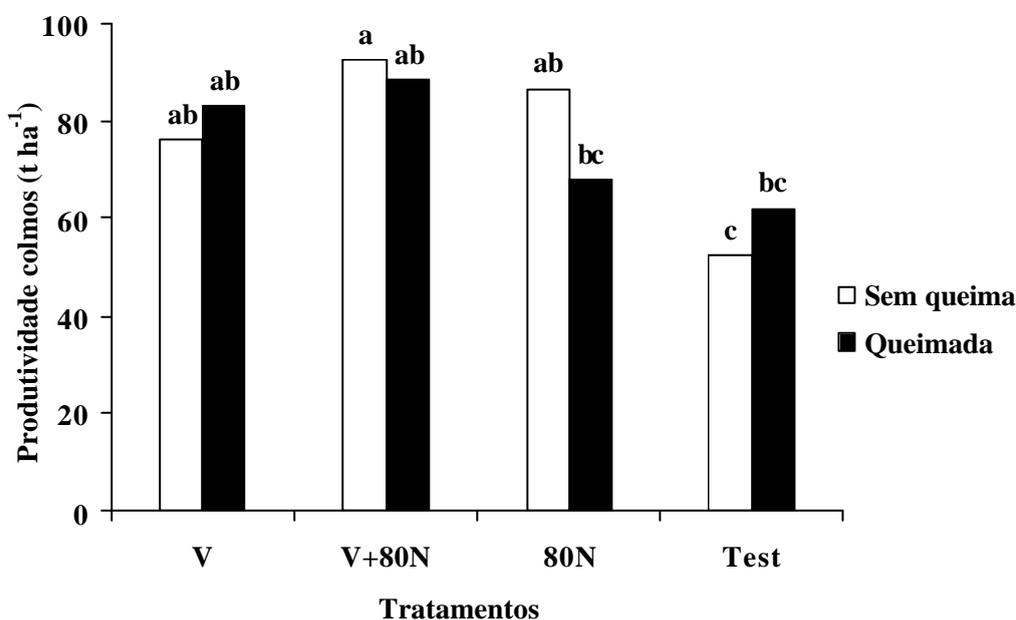


Figura 13. Produtividade de colmos no ciclo de quarta soca de cana-de-açúcar. Tratamentos: V= vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia; Test = testemunha. Letras iguais entre médias, não diferem pelo teste Duncan ($\alpha = 0,05$). CV% = 18,6.

Quando se observa a produtividade das quatro socas, pode-se verificar que nas áreas onde foi aplicada a vinhaça (Figura 14), ambos os sistemas de corte com e sem queima da palhada apresentaram uma tendência de recuperação na quarta soca, após uma acentuada queda no ciclo anterior. Não diferindo, porém no comportamento das produtividades ao longo dos ciclos de cana soca.

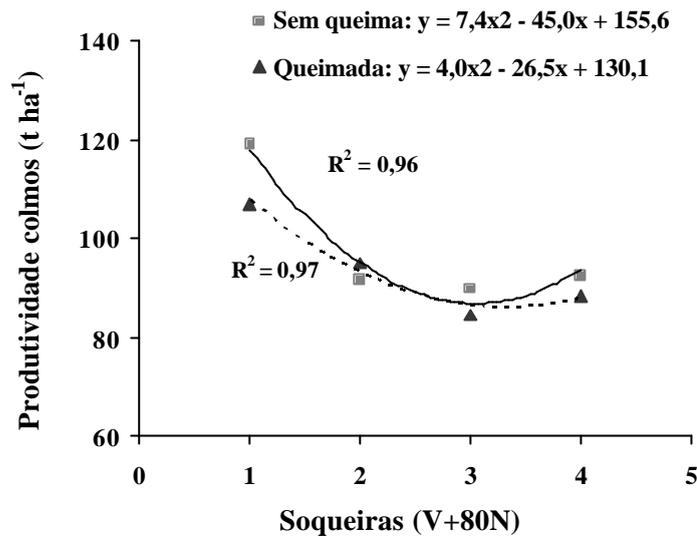


Figura 14. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar com e sem queima nos ciclos de primeira a quarta soca. Tratamentos: V = vinhaça; 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia.

Porém, quando se observam os tratamentos que não receberam a aplicação de vinhaça (Figura 15), pode-se verificar que há uma tendência de estabilidade da produtividade das socas ao longo dos ciclos na cana colhida sem queima, indicando com isso uma maior longevidade para este canavial. Enquanto que na área onde se pratica a queima do canavial a queda na produtividade da primeira para a quarta soca é acentuada, conduzindo o canavial a uma breve necessidade de renovação se confirmada a tendência de queda.

Comparando o comportamento das produtividades, ao longo dos ciclos de cana soca, com e sem aplicação de vinhaça verifica-se que a aplicação de vinhaça conferiu ao sistema sem queima da palhada uma tendência de maior longevidade do canavial em patamares competitivos de produtividade.

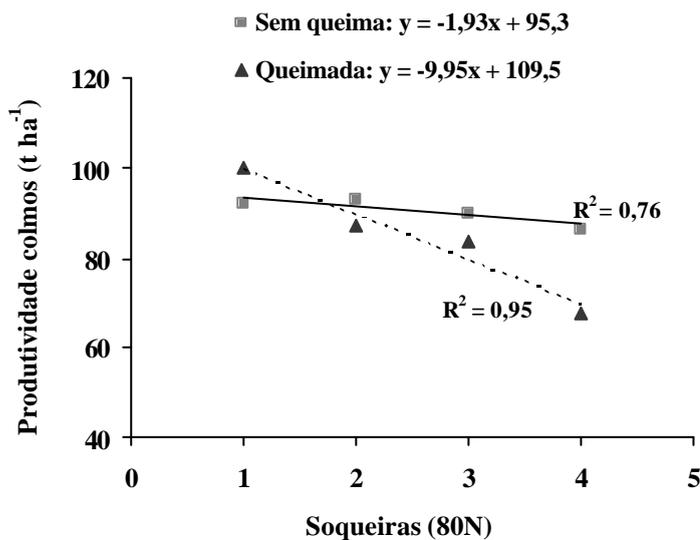


Figura 15. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar com e sem queima nos ciclos de primeira a quarta soca. Tratamento: 80N = 80 kg ha⁻¹ de N-uréia.

5 CONCLUSÕES

As perdas de nitrogênio total por volatilização de amônia variam de 3,2 a 8,3 kg de N ha⁻¹. O período de maiores perdas é entre o quinto e sétimo dia após a aplicação da uréia, coincidindo com as chuvas ocorridas durante o período amostrado.

As maiores perdas por volatilização ocorrem nos tratamentos com queima da palhada, sendo que a vinhaça confere um controle significativo da volatilização de amônia neste sistema de corte.

A manutenção da palhada sobre o solo é eficaz na diminuição das perdas nitrogenadas por volatilização de amônia. A manutenção da palhada diminui em até nove vezes as perdas do N-uréia por volatilização de amônia.

O acúmulo de nitrogênio total na parte aérea da cana-de-açúcar varia de 69,3 a 226,4 kg de N ha⁻¹.

A adubação nitrogenada com uréia aumenta o teor de nitrogênio (g kg⁻¹) e a quantidade de nitrogênio (kg ha⁻¹) na parte aérea da planta, além disso, aumenta a produção de massa seca em relação à testemunha sem queima.

Do nitrogênio total acumulado na planta, 11,7 a 18,7% é oriundo da uréia aplicada no solo.

A eficiência de recuperação pela planta do N-uréia varia de 27,8 a 41,3%. A aplicação de vinhaça em área sem queima diminui a eficiência de recuperação do N-uréia nos colmos de cana-de-açúcar.

A decomposição da palhada é em média de 72,1% no sistema sem queima e de 59,1% no sistema com queima.

O percentual de nitrogênio da planta proveniente da palhada quando se aplica vinhaça é de 2,2% e quando não se aplica, é de 1,3%.

A eficiência de recuperação pela planta do nitrogênio adicionado ao solo pela palhada decomposta é de 10,2% e 7,1% em área com e sem vinhaça, respectivamente.

O percentual de nitrogênio da parte aérea da planta, oriundo de fontes diferentes que o fertilizante e a palhada, varia de 80,0 a 86,1%.

A produtividade nos dois ciclos varia entre 52,6 e 92,5 t ha⁻¹.

A adubação nitrogenada com uréia tem maior efeito de aumento da produtividade em cana-de-açúcar quando se realiza a colheita sem queima. Na quarta soca a produtividade do tratamento sem queima e com aplicação de uréia e vinhaça é superior àquele com queima e aplicação de uréia.

A queima do canavial diminui a vida útil do canavial, sendo que aplicação de vinhaça confere ao sistema com queima da palhada uma tendência de aumento na longevidade do canavial.

A ocorrência de lixiviação de N-uréia não é detectada.

A quantidade de nitrogênio residual proveniente do adubo no solo varia de 5,3 a 33,6 kg ha⁻¹, na camada de 0-80 cm de solo.

O nitrogênio do adubo contido na planta, solo e volatilizado representa de 34,6 a 83,8% do total de N-uréia aplicada. A aplicação de vinhaça, em área onde se mantém a palhada, diminui a recuperação total do N-uréia aplicado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, v.57, n.4, p.653-659, 2000.

ALVES, G.D.; SAMPAIO, E.V.B.S; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M. Potencial de mineralização de N e de C em vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.245-256, 1999.

ALVES, B.J.R. Métodos Isotópicos In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.337-357.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R.; ROSSIELLO, R.O.P. Denitrificação e imobilização de nitrogênio em solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.3, p.442-483, 1983.

ARAÚJO, A.M.S.; SAMPAIO, E.V.B.S; SALCEDO, I.H. Mineralização do C e do N em amostras armazenadas de solo cultivado com cana-de-açúcar, ao longo de dez anos, com e sem fertilização nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.1, p.43-53, 2001.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana planta: doses e fracionamento. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.4, n.5, p.25-29, 1986.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; LIMA, E.; FERNANDES, M.S.; VIEIRA, J.R. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana planta no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.441-447, 1994.

AZEREDO, D.F. **Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em dois solos do Estado do Rio de Janeiro: Cana-planta**. Seropédica, 1997. 194p. Tese (Doutorado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

BERNER, P.G.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; FLORENCIO, M. Efeito do manejo de cana-de-açúcar na fertilidade do solo. In: Jornada de Iniciação Científica, 5, Seropédica, RJ, 1995. **Resumos...** Seropédica: Imp. Universitária, p. 8. 1995.

BRASIL. **Utilização de vinhaça como fertilizante em solos da região canavieira de Campos**. Seropédica: Departamento de Solos, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1981, 347p. (Relatório anual).

BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; GUIMARÃES, H.D.; URQUIAGA, S. Efeito de queima e aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado no rendimento e acúmulo de nitrogênio da cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da STAB, 5, Águas de São Pedro, SP, 1993. **Anais...** Piracicaba, SP: STAB, p.82-86, 1993.

CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar.** Piracicaba, 1989. 104p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita sem queima prévia. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.18, n.1, p.25, 1999.

CARNEIRO, A.E.V.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agrícola**, v.53, n.2, p.199-209, 1995.

CEDDIA, M.B. **Efeitos do sistema de corte na produção de cana-de-açúcar e em propriedades físicas de solo de Tabuleiro do Espírito Santo.** Seropédica, 1998. 113p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

CEDDIA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L.A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.8, p.1467-1473, 1999.

CERRI, C.C.; MORAES, J.F.L. Conseqüências do uso e manejo do solo no teor de matéria orgânica. In: Encontro Sobre Matéria Orgânica do Solo, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, p.26-36, 1992.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH_3 de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, n.4, p.631-637, 2003.

DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A. et al. **Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro.** Coleção Universidade Rural, Ciências Agrárias, n.2, 1988. 179p.

FINNIGAN MAT. **Isotope ratio mass spectrometer system with extended image plane: Delta plus XL.** Bremen, Germany, ThermoQuest Finnigan. Catálogo, 1998. 4p.

GAVA, G.J.C., TRIVELIN, P.C.O., OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.

GAVA, G.J.C., TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Recuperação do nitrogênio (^{15}N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.621-630, 2003.

GLÓRIA, N.A.; FONTANARI, N.; ALONSO, O.; HENRIQUE, J.L.P. et al. Complementação nitrogenada de soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça.

In: Congresso Nacional da STAB, 3, São Paulo, 1984. **Anais...** São Paulo: p. 74-77. 1984.

GUEDES, C.A.B. **Influência da vinhaça e do sistema de colheita da cana-de-açúcar nas perdas de nitrogênio por volatilização e nas propriedades químicas do solo.** Seropédica, 2002. 92p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

IBGE **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. <http://www.ibge.gov.br>, 2003.

KIEHL, J.C.; ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H. Comportamento do nitrogênio no solo, aplicado à cana-de-açúcar em duas épocas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, n.1, p.32-37, 1981.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.363-376, 2000.

LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; ROSSIELLO, R.O.P. Potencial redox e pH: Variações em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.3, p.257-261, 1983.

LIMA, E.; BODDEY, R.M.; DÖBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a ¹⁵N aided nitrogen balance. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.165-170, 1987a.

LIMA, J.F.W.F.; DA SILVA, G.L.; DE LUNA, J.G.; DA SILVA, M.A.; OLIVEIRA, E.M. Efeito de doses crescentes de vinhaça e níveis de nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da STAB, 4, Olinda, 1987. **Anais...** Olinda: p.730-737. 1987b.

LIMA JÚNIOR, M.A.; BETTANY, J.R. Dinâmica do nitrogênio em cana-de-açúcar. Parte I: Eficiência na utilização do N proveniente de uréia marcada (¹⁵N) na cana-planta. **STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.18, n.1, p.26, 1999a.

LIMA JÚNIOR, M.A.; BETTANY, J.R. Dinâmica do nitrogênio em cana-de-açúcar. Parte II: Efeito residual do nitrogênio estimado com uréia marcada (¹⁵N). **STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.18, n.1, p.26, 1999b.

MARSOLA, T.; MYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Desenvolvimento e calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo. In: Fertbio2000, Santa Maria, RS. **CD ROM...** Santa Maria: Fertbio; UFMS, 2000.

MENDOZA, H.N.S. **Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de Tabuleiro do Espírito Santo.** Seropédica, 1996. 113p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MENDOZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B.; ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.201-207, 2000.

MINHONI, M.T.A.; EIRA, A.F.; CARDOSO, E.J.B.N. Efeitos da adição de N e P sobre a decomposição de diferentes tipos de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.297-304, 1990.

MOLINA, R.M. **A torta de filtro e o bagaço no comportamento da biota, propriedades físicas e produtividade de um solo cultivado com cana-de-açúcar.** Seropédica, 1995. 96p. Tese (Doutorado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MONTEIRO, H.; PEIXE, C.A.; STUPIELLO, J.P. Emprego de vinhaça complementada com nitrogênio e fósforo em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **Brasil Açucareiro**, v.97, n.4, p.22-27, 1981.

NEVES, M.C.P., LIMA, I.T.; DÖBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.7, n.2, p.131-136, 1983.

NUNES, M.R.; VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.2 p.171-176, 1981.

OLIVEIRA, M.W. **Dinâmica do nitrogênio da uréia (¹⁵N) no sistema solo-cana-de-açúcar com ou sem queima da palhada.** Piracicaba, 1999. 93p. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, M.W., TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n.12, p.2359-2362, 1999.

OLIVIERA, J.C.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. et al. Nitrogen dynamics in a soil-sugar cane system. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.467-472, 2000.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.6, p.861-868, 2002.

OLIVEIRA, P.P.A., TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, W.S. Eficiência da fertilização nitrogenada com uréia (¹⁵N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, n.4, p.613-620, 2003.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; AGUJARO, R.; ROSSETO, A.J. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar – Estudo exploratório. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, jul/ago, p.28-33, 1983.

PRATA, F.; LAVORENTI, A.; REGITANO, J.B.; TORNISIELO, V.L. Degradação e adsorção de diuron em solos tratados com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.217-223, 2000.

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. **Fertilizer Research**, v.33, p.209-217, 1992.

RESENDE, A.S. **A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: Uso de adubos verde**. Seropédica, 2000. 124p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RESENDE, A.S. **Efeito da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça após 16 anos de cultivo de Cana-de-açúcar**. Seropédica, 2003. 102p. Tese (Doutorado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.403-408, 1992.

ROSSIELLO, R.O.P. **Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum spp cv. NA 56-79*) em resposta à adubação nitrogenada em Cambissolo**. Piracicaba, 1987. 172p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SAMPAIO, E.V.B.S.; SALCEDO, I.H. Efeito da adição de nitrogênio e palha (^{14}C) na liberação de CO_2 e formação de biomassa microbiana em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, n.3, p.177-181, 1982.

SAMPAIO, E.V.B.S.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia (^{15}N) em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.8, p.943-949, 1984.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.B.S.; ALVES, G.D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.33-38, 1985.

SAMPAIO, E.V.B.S.; SALCEDO, I.H.; LIMA JR, M.A.; BETTANY, J. Decomposição de palha de milho (^{14}C - ^{15}N) incorporada a três profundidades em um Latossolo Vermelho-Amarelo de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.269-276, 1990.

SAMPAIO, E.V.B.S.; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M.; ALVES, G.D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.269-279, 1995.

SATO, K. & KAWASHITA, K. Espectrometria de massas em geologia isotópica. **Geologia Série Científica USP**, v.2, p.57-77, 2002.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.249-254, 1990.

SILVA, L.A. **Efeitos da renovação do canal com diferentes sistemas de colheita, sobre as propriedades químicas do solo, crescimento da cultura e acúmulo de nitrogênio em cana de primeira soca**. Seropédica, 2000. 138p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.2, n.2, p.7-15, 1990.

SOBRAL, A.F.; LIRA, L.J.; GUIMARÃES, V.O.S. Efeito da suplementação mineral da vinhaça na fertilização da cana-soca. **Brasil Açucareiro**, v.106, n.4, p.11-15, 1988.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Boletim técnico. UFRGS, n.5, 1995. 174p.

TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R., R.L.; 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**, v.51, n.2, p.226-234, 1994.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUÊS, 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**, v.30, n.12, p.1375-1395, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUÊS, 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.2, p.89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com uso do traçador ^{15}N** . Piracicaba, 2000. 143p. Tese (Livre Docência). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p.193-201, 2002.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D.H.V. **Importância de não queimar a palha da cana-de-açúcar**. Comunicado Técnico. EMBRAPA, n.5, 1991. 12p.

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**, v.56, n.1, p.105-114, 1992.

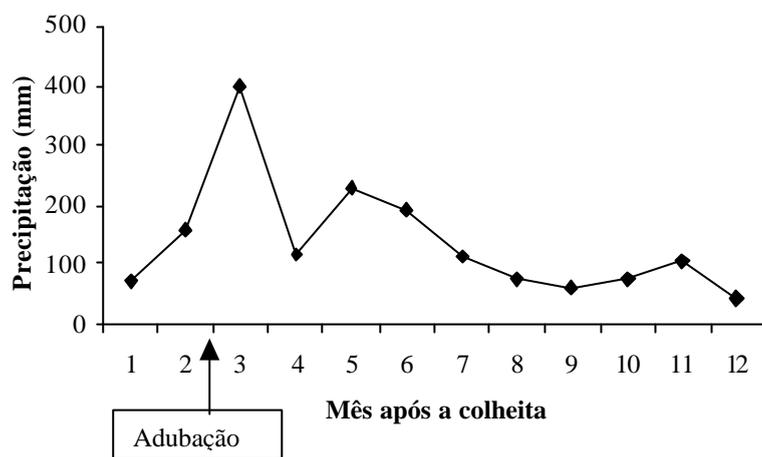
VASCONCELOS, A.C.M., CASAGRANDE, A.A., PERECIN, D. et al. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.849-858, 2003.

VIEIRA, D.B. Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça. **Álcool & Açúcar**, n.28, p.26-29, 1986.

VITTI, A.C.. **Utilização pela cana-de-açúcar (cana planta) do nitrogênio da uréia (¹⁵N) e do mineralizado no solo em sistemas de manejo com e sem a queima.** Piracicaba, 1998. 93p. Dissertação (Mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

XAVIER, R.P. **Adubação verde em cana-de-açúcar: Influência na nutrição nitrogenada e na decomposição dos resíduos da colheita.** Seropédica, 2002. 87p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

7 ANEXOS



Anexo 1. Precipitação mensal acumulada durante o ciclo da cana de terceira soca (total acumulado no período = 1413,5 mm).

Anexo 2. Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros estudados na colheita da terceira soca, teste F, significância e coeficiente de variação.

Variável	QM tratamento	QM resíduo	CV%
N-NH ₃ volatilizado (kg ha ⁻¹)	22,1373***	0,4684	13,9
NVPF (%)	1,7742	0,6592	33,3
NVPF (kg ha ⁻¹)	0,1504*	0,02161	16,1
RV (%)	0,2098**	0,02873	17,8
Massa colmos frescos	381,6000	193,2072	17,6
Massa seca folhas secas (FS)	3,0079	1,8915	32,0
Massa seca ponteiros (Po)	0,1617	0,1804	20,2
Massa seca colmos (Co)	34,4017	17,4261	17,6
Massa seca parte aérea (PA)	40,6050	19,2628	14,6
N-total (g kg ⁻¹) FS	16,5127***	0,7484	15,9
N-total (g kg ⁻¹) Po	10,4970	6,5859	19,6
N-total (g kg ⁻¹) Co	13,3984***	0,4255	18,2
N-total (g kg ⁻¹) PA	10,2210***	0,4139	14,2
N-total (kg ha ⁻¹) FS	450,0179	86,2306	38,8
N-total (kg ha ⁻¹) Po	48,5660	75,6613	31,5
N-total (kg ha ⁻¹) Co	10618,71***	684,3716	29,6
N-total (kg ha ⁻¹) PA	14490,73***	1016,108	22,8
NPPF (%) FS	71,4083	28,0845	32,8
NPPF (%) Po	62,9958	48,5397	45,7
NPPF (%) Co	26,3025	10,8114	22,0
NPPF (%) PA	32,7323	11,5834	22,4
NPPF (kg ha ⁻¹) FS	4,2123	8,3928	54,3
NPPF (kg ha ⁻¹) Po	9,4758	6,4086	61,9
NPPF (kg ha ⁻¹) Co	87,2490	33,2445	29,1
NPPF (kg ha ⁻¹) PA	98,2908	69,8647	28,6
R (%) FS	6,4117	13,0283	54,3
R (%) Po	14,9250	9,9678	61,9
R (%) Co	136,0639	51,3956	28,9
R (%) PA	153,3740	109,1345	28,5
N-total (kg ha ⁻¹) Solo	85144,26	55669,14	9,5
NSPF (%)	0,270123	0,041884	17,0
NSPF (kg ha ⁻¹)	12,6873*	2,5906	34,4
R (%) Solo	16,8408*	3,5836	36,0
NTPF	1473,248**	191,5889	24,8
R (%) Total	2304,360**	299,0262	24,8

*, **, ***, significância ao nível de 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

Anexo 3. Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros de solo por profundidade estudados por ocasião da colheita da terceira soca, teste F, significância e coeficiente de variação.

Fonte de variação	GL	N-total		NSPF		R
		g kg-1	kg ha-1	%	kg ha-1	%
Bloco	3	0,2448E-02	8094,555	0,1541	0,4727	0,5531
Tratamento (T)	3	0,2328E-02	17028,83	1,5588 ***	7,9490 ***	10,1745 ***
Profundidade (P)	4	0,1471E-01***	834443,6 ***	3,7593 ***	15,1494 ***	19,6830 ***
TxP	12	0,2135E-02	18267,92	0,2607*	1,3505*	1,7201*
Resíduo	57	0,2701E-02	13298,52	0,1341	0,5790	0,7615
Total	79	-	-	-	-	-
CV%		21,8	23,2	27,8	38,5	40,5

*, **, ***, significância do teste F ao nível de 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.

Anexo 4. Quadrado médio da análise da variância dos parâmetros estudados na colheita da quarta soca, teste F, significância e coeficiente de variação.

Variável	QM tratamento	QM resíduo	CV%
Massa colmos frescos	794,1431**	200,4453	18,6
Massa seca folhas secas (FS)	2,5885	3,4448	31,1
Massa seca ponteiros (Po)	1,7893*	0,5846	32,4
Massa seca colmos (Co)	71,3557**	18,1029	18,6
Massa seca parte aérea (PA)	86,0725*	34,2883	18,4
N-total (g kg ⁻¹) FS	3,1973*	0,7590	17,4
N-total (g kg ⁻¹) Po	3,9575	5,3308	11,9
N-total (g kg ⁻¹) Co	7,0606*	1,4045	25,5
N-total (g kg ⁻¹) PA	5,2808*	1,0781	19,2
N-total (kg ha ⁻¹) FS	201,0073	95,0062	29,7
N-total (kg ha ⁻¹) Po	438,0274	167,0900	43,4
N-total (kg ha ⁻¹) Co	6509,112*	1057,275	27,8
N-total (kg ha ⁻¹) PA	8620,866	3094,405	29,9
NPPP (%) FS	3,00125	2,004583	77,1
NPPP (%) Po	5,6112	6,0712	86,8
NPPP (%) Co	2,0000*	0,19667	27,7
NPPP (%) PA	2,31125	0,55125	44,0
NPPP (kg ha ⁻¹) FS	0,36125	0,31458	78,7
NPPP (kg ha ⁻¹) Po	0,001250	0,12458	65,7
NPPP (kg ha ⁻¹) Co	2,31125*	0,08125	11,8
NPPP (kg ha ⁻¹) PA	3,78125	1,20792	30,2
R (%) FS (palhada total)	1,05125	0,93792	81,6
R (%) FS (palhada decomposta)	1,80500	1,69833	77,8
R (%) Po (palhada total)	0,00500	0,36833	67,4
R (%) Po (palhada decomposta)	0,02000	0,70667	65,9
R (%) Co (palhada total)	6,4800*	0,23000	11,8
R (%) Co (palhada decomposta)	11,5200*	0,49333	12,3
R (%) PA (palhada total)	10,3512	3,48458	30,4
R (%) PA (palhada decomposta)	18,0000	6,97667	30,8
Decomposição (%)	201,1343**	18,3692	6,6

*, **, ***, significância ao nível de 5, 1 e 0,1 %, respectivamente.