

**IAC**

**INSTITUTO AGRONÔMICO  
PÓS-GRADUAÇÃO**

**DISSERTAÇÃO**

**URÉIA TRATADA COM O INIBIDOR DA  
UREASE NBPT NA ADUBAÇÃO DE CANA-  
DE-AÇÚCAR COLHIDA SEM DESPALHA A  
FOGO**

**TEODORO LEONARDO M. CONTIN**

**Campinas, SP  
2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**INSTITUTO AGRONÔMICO**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA**  
**TROPICAL E SUBTROPICAL**

**URÉIA TRATADA COM O INIBIDOR DA UREASE NBPT**  
**NA ADUBAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR COLHIDA SEM**  
**DESPALHA A FOGO.**

**TEODORO LEONARDO MICHELUCCI CONTIN**

**Orientador: Heitor Cantarella**

**Dissertação submetida como requisito  
parcial para obtenção do grau de Mestre  
em Agricultura Tropical e Subtropical.  
Área de Concentração em Gestão de  
Recursos Agroambientais.**

**Campinas, SP**  
**Fevereiro 2007**

**Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agrônômico**

C762u Contin, Teodoro Leonardo M.

Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo/ Teodoro Leonardo M Contin. Campinas, 2007.  
69 fls.

Orientador: Heitor Cantarella  
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)  
Instituto Agrônômico

1. Cana-de-açúcar – adubação nitrogenada 2. Cana-de-açúcar – NBPT 3. Urease I. Cantarella Heitor III. Instituto Agrônômico IV. Título

CDD. 633.61



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA  
DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO AGRÔNOMICO  
Pós-Graduação  
Av. Barão de Itapura 1481 - Caixa Postal 28  
13001-970 Campinas, SP - Brasil  
(019) 3231-5422 ramal 194  
pgiac@iac.sp.gov.br



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**  
**PÓS-GRADUAÇÃO**  
**AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL**

**TÍTULO: Uréia tratada com o inibidor da urease nbpt na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**

**Aluno: Teodoro Leonardo Michelucci Contin**  
**Processo SAA nº. 12065/05**

**Orientador(a): Heitor Cantarella**

**Aprovado pela Banca Examinadora:**

  
**Dr.(a) Heitor Cantarella - IAC**

  
**Dr.(a) Cristiano Alberto de Andrade - IAC**

  
**Dr.(a) Antonio Enedi Boaretto - CENA/USP**

Campinas, 3 de abril de 2007

Visto:



**Suelli dos Santos Freitas**  
Coordenadora Conselho de Curso  
Gestão de Recursos Agroambientais  
Pós - Graduação - Instituto Agrônomo

A origem do Universo e, portanto, da vida e do ser humano está envolta em mistério. Toda pessoa inteligente comove-se diante desse fato e procura não perder o sentido do mistério no decorrer de sua vida cotidiana. Fazendo isso, abrem-se as portas para a presença do Infinito.

I-Ching

Aos Budas Avalokitesvara e Tara Verde, por me guiarem.

Aos meus pais, Teodoro e Ângela, pelo apoio, amor e confiança.

Ao meu irmão Thiago, pela eterna amizade.

À Ana Luiza Pinheiro, pelo nosso amor e companheirismo.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Heitor Cantarella, pela excelente orientação, ensinamentos, apoio e amizade;

Ao professor Dr. Antonio Enedi Boaretto e Dr. Cristiano Alberto de Andrade, pelas críticas e sugestões apresentadas na defesa da dissertação;

Ao Dr. Fábio L. F. Dias, pelo auxílio durante o desenvolvimento do projeto;

Ao Dr. Aildson P. Duarte e Takashi Muraoka, por fazerem parte da banca de professores suplentes;

Ao Fernando C. B. Zambrosi, pelo auxílio nas análises estatísticas;

Aos pesquisadores (as) Adriana Silveira, Bernardo van Raij, Cleide de Abreu, Dirceu de Mattos Junior, Estêvão Mellis, Helio do Prado, Isabella Maria, João B. de Oliveira, Jose Antonio Quaggio, Luiz Teixeira, Mônica Abreu, Ondino Bataglia, Otávio Camargo, Pedro Furlani e Ricardo Coelho, pelos ensinamentos;

Aos funcionários do Centro de Solo e Recursos Agroambientais: Nogueira, Edilberto, Giselda, Carmem, Teresinha, Marciel, Tibana, Marilda, Renata Schiavinatto, Luis, Rubens, Tânia e, em especial, Alexandre, Renata Presta e José Luis Domingos, pelo auxílio no desenvolvimento do projeto;

Ao professor Dr. Paulo César O. Trivelin e ao laboratório de isótopos estáveis (Cena/ USP), pela realização das análises;

À FUNDAG e à FAPESP, pela concessão de bolsas de estudo e apoio financeiro ao projeto de pesquisa, em períodos distintos;

À AGROTAIN, pelo apoio financeiro ao projeto;

Aos engenheiros agrônomos Maurício Simões e Carlos Torelli, técnicos das Usinas São Martinho e São Luis, respectivamente, pelo apoio nas práticas de campo;

Às Usinas São Martinho (Pradópolis, SP), e São Luis (Pirassununga, SP), pela concessão da área experimental;

Aos funcionários da Pós-Graduação, pelo auxílio;

Aos colegas da Pós-Graduação, em especial aos amigos do curso de Gestão de Recursos Agroambientais, pelo apoio e conhecimento;

A todos que contribuíram para o cumprimento do curso e que não foram citados, não intencionalmente, agradeço.

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ii
LISTA DE ANEXOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Cana-de-Açúcar no Brasil e a exigência da cultura em N.....	3
2.2. Fontes de Nitrogênio.....	5
2.2.1. Inibidor da urease.....	9
2.3. Resposta da Soqueira de Cana-de-Açúcar à Adubação Nitrogenada.....	11
2.4. Utilização de Nitrogênio Marcado ( <sup>15</sup> N).....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Localização da Área Experimental e Variedade de Cana-de-Açúcar.....	15
3.2. Amostragem e Análise do Solo.....	15
3.3. Tratamentos.....	17
3.4. Delineamento Experimental.....	18
3.5. Quantificação das Perdas de Amônia por Volatilização.....	18
3.6. Microparcelas com Adubos Marcados.....	21
3.7. Amostragem e Análise das Folhas.....	21
3.8. Colheita do Experimento e Análise Tecnológica.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Perdas de N-NH <sub>3</sub> por Volatilização.....	23
4.2. Análise Foliar de Nitrogênio.....	29
4.3. Produção de Colmos.....	35
4.4. Produção de Sacarose.....	42
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Caracterização química do solo. Área experimental de Pradópolis.....	16
Tabela 2.	Caracterização química do solo (micronutrientes). Área experimental de Pradópolis.....	16
Tabela 3.	Caracterização química do solo. Área experimental de Santa Rita do Passa Quatro.....	17
Tabela 4.	Caracterização química do solo (micronutrientes). Área experimental de Santa Rita do Passa Quatro.....	17
Tabela 5.	Quantidade de fertilizante por câmara (100 kg ha <sup>-1</sup> de N).....	20
Tabela 6.	Teores foliares referentes ao experimento instalado na Usina São Luis.....	29
Tabela 7.	Teores foliares referentes ao experimento instalado na Usina São Luis.....	30
Tabela 8.	Teores foliares de N-total nas microparcels, nas diferentes épocas amostradas. Experimento instalado na Usina São Martinho (dose de 100 kg ha <sup>-1</sup> de N).....	31
Tabela 9.	Abundância em <sup>15</sup> N nas folhas das microparcels e porcentagem de <sup>15</sup> N na planta derivada do fertilizante, nas diferentes épocas amostradas (dose de 100 kg ha <sup>-1</sup> de N). Experimento instalado na Usina São Martinho.....	32
Tabela 10.	Resposta de cana-de-açúcar à aplicação de N em cobertura, 3 fontes e 4 doses. Experimento instalado na Usina São Luis.....	35
Tabela 11.	Produção média de colmos em quatro doses de N, incremento de produção e eficiência aparente do N-fertilizante.....	36
Tabela 12.	Preço da tonelada dos fertilizantes nitrogenados, quilo do N, relação de preços e máxima eficiência econômica, de acordo com o preço da tonelada da cana-de-açúcar. Experimento instalado na Usina São Luis.....	38
Tabela 13.	Análise tecnológica da cana-de-açúcar. Experimento instalado na Usina São Luis.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Câmara instalada no campo. Seqüência de bases instaladas na entrelinha da cana-de-açúcar, adubadas manualmente, com porcentagem de palhada equivalente a da área total.....	19
Figura 2.	Discos embebidos com ácido fosfórico e glicerina, para absorver a N-NH <sub>3</sub> .....	19
Figura 3.	Perdas de N-NH <sub>3</sub> por volatilização contabilizadas no momento da coleta, iniciada após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Martinho.....	23
Figura 4.	Perdas de N-NH <sub>3</sub> por volatilização contabilizadas no momento da coleta, iniciada após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Luis.	24
Figura 5.	Perdas cumulativas de N-NH <sub>3</sub> por volatilização após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Martinho.....	25
Figura 6.	Perdas cumulativas de N-NH <sub>3</sub> por volatilização após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Luis.....	25
Figura 7.	Produção de colmos (t ha <sup>-1</sup> ) em relação às doses crescentes de N. Experimento realizado na Usina São Luis.....	37
Figura 8.	Produção de açúcar (t ha <sup>-1</sup> ) em relação às doses crescentes de N. Experimento realizado na Usina São Luis.....	43

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Correlação negativa entre N-NH <sub>3</sub> (%) volatilizada e abundancia de <sup>15</sup> N (%) nas folhas. Primeira coleta (12/2005). Usina São Martinho.....	55
Anexo 2.	Correlação negativa entre N-NH <sub>3</sub> (%) volatilizada e abundancia de <sup>15</sup> N (%) nas folhas. Segunda coleta (12/2005). Usina São Martinho.....	55
Anexo 3.	Correlação negativa entre N-NH <sub>3</sub> (%) volatilizada e abundancia de <sup>15</sup> N (%) nas folhas. Terceira coleta (12/2005). Usina São Martinho.....	56
Anexo 4.	Correlação negativa entre N-NH <sub>3</sub> (%) volatilizada e abundancia de <sup>15</sup> N (%) nas folhas. Quarta coleta (12/2005). Usina São Martinho.....	56
Anexo 5.	Perdas cumulativas de N-NH <sub>3</sub> e precipitações (mm) referentes ao experimento instalado na Usina São Martinho (Pradópolis), nas parcelas fertilizadas com dose de 100 kg ha <sup>-1</sup> de N.....	57
Anexo 6.	Perdas cumulativas de N-NH <sub>3</sub> e precipitações (mm) referentes ao experimento instalado na Usina Luis (Santa Rita do Passa Quatro), nas parcelas fertilizadas com dose de 100 kg ha <sup>-1</sup> de N.....	58

CONTIN, Teodoro Leonardo Michelucci. **Uréia tratada com o inibidor da urease nbpt na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo.** 2007.55f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recurso Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC.

## RESUMO

A uréia aplicada sobre a superfície do solo apresenta altas perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$ . O uso do inibidor da urease (NBPT), substância que retarda a hidrólise da uréia, é uma alternativa de manejo para reduzir as perdas por volatilização. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência das fontes nitrogenadas uréia (UR), uréia + NBPT (UR+NBPT) e sulfato de amônio (SA) em sistema de colheita de cana sem queima prévia, medindo as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e a produtividade da cultura. Foram conduzidos dois experimentos de campo com duração de um ano, realizados nas regiões canavieiras de Pradópolis-SP, em Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico e Santa Rita do Passa Quatro-SP, em Latossolo Vermelho eutrófico, com inícios em setembro e novembro de 2005, respectivamente. As áreas estavam ocupadas com terceira soqueira de cana. As doses empregadas em cobertura foram de 0, 50, 100 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de N e as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  foram medidas por meio de câmaras estáticas e semi-abertas instaladas no campo, nas parcelas com doses de 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de N e em uma testemunha. Em Pradópolis, microparcels foram instaladas e adubadas com fertilizantes enriquecidos com  $^{15}\text{N}$  (5%  $^{15}\text{N}$ ), nas parcelas com doses de 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. No tratamento UR+NBPT houve retardamento no início do processo de volatilização de  $\text{NH}_3$  nas duas áreas de estudo. Em Pradópolis, as perdas de  $\text{NH}_3$  entre os tratamentos UR e UR+NBPT diferiram até o 21<sup>o</sup> dia (23,3% e 16,6% do N aplicado, respectivamente), entretanto, não houve diferença significativa entre as perdas de  $\text{NH}_3$  ao final do experimento (25,1 e 21,3%, respectivamente), em função da baixa ocorrência de chuvas durante os primeiros quarenta dias. Na área experimental de Santa Rita do Passa Quatro a alta ocorrência de chuva na primeira semana (70 mm) após a instalação do experimento, quando o efeito do inibidor da urease é maior, colaborou para manter a diferença significativa das perdas de  $\text{NH}_3$  (7,2 e 1,6% para UR e UR+NBPT, respectivamente). As perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  foram inferiores a 1% do N aplicado na forma de SA. A análise de abundância de  $^{15}\text{N}$  nas folhas mostrou enriquecimento de N proveniente dos fertilizantes na ordem  $\text{SA} > \text{UR+NBPT} = \text{UR}$ . No experimento de Santa Rita do Passa Quatro houve resposta de produção de colmos à adubação nitrogenada, mas não entre as fontes de N. A dose para a máxima eficiência

física foi  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Os valores de máxima eficiência econômica foram 96, 94 e  $92 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para UR, UR+NBPT e SA, respectivamente.

**Palavras-chave:** adubação nitrogenada, uréia, amônia, NBPT, urease.

## ABSTRACT

Urea presents high  $\text{NH}_3$  losses when surface-applied to soils. The addition of urease inhibitor to urea has the potential to reduce these losses. The objective of this study was to evaluate the efficiency of nitrogen sources applied to third ratoon of unburned sugarcane fields on  $\text{NH}_3$  volatilization losses and crop yield. The work was carried out under field conditions in the sugarcane production regions of Pradópolis (on a Red-Yellow Latosol) and Santa Rita do Passa Quatro (on a Yellow Latosol), State of São Paulo, Brazil. The N fertilizers - urea (U), NBPT-treated urea (U+NBPT), and ammonium sulfate (AS) – were applied at the rates 0, 50, 100, and 150  $\text{kg ha}^{-1}$ , with four replications, in a randomized block design. In the plots treated with 100  $\text{kg ha}^{-1}$  N, semi-open static chambers were used to evaluate  $\text{NH}_3$  losses, and, in Pradópolis, microplots containing  $^{15}\text{N}$  labeled fertilizers (5%  $^{15}\text{N}$ ) were set up in order to assess fertilizer-derived N in sugarcane plants. In both experiments the addition of NBPT to urea caused a delay of 3 to 4 days to start  $\text{NH}_3$  volatilization compared to untreated urea plots. However, in Pradópolis the cumulative amounts of  $\text{NH}_3$  lost from U (23.3% of applied N) and U-NBPT (16.6%) were significantly different only until the 21<sup>st</sup> day, but not after that reaching 25.1 and 21.3%, respectively, in the 41<sup>st</sup> day. In Santa Rita the occurrence of showers in the days following N application reduced  $\text{NH}_3$  losses from both UR and UR+NBPT; at the end of the experiment  $\text{NH}_3$  losses from UR-NBPT were significantly lower than those observed with UR (1 and 8%, respectively). Ammonia volatilization losses were negligible (less than 1% of applied N) on plots treated with AS. Data of fertilizer-derived N in sugarcane plants, evaluated from 3 to 8 months after fertilizer application were compatible to those of  $\text{NH}_3$  volatilization losses.  $^{15}\text{N}$ -labeling in sugarcane leaves decreased in the order SA>U-NBPT=U. Only the Santa Rita experiment was harvested: the cane yield responded to N rates but not to N sources. The N rate for maximum yield was 110  $\text{kg ha}^{-1}$  N. Maximum economic efficiency was achieved with 97, 96, and 92  $\text{kg ha}^{-1}$  N as U, U-NBPT, and AS, respectively.

**Key words:** nitrogen fertilizer, urea, ammonia, NBPT, urease.

## 1. INTRODUÇÃO

A uréia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil devido às suas vantagens comparativas em termos de custo, facilidade de fabricação e custo final para o agricultor. Do ponto de vista agrônômico a uréia apresenta uma séria limitação quando aplicada na superfície do solo, devido às chances de perdas por volatilização de  $N-NH_3$  (KOELLIKER & KISSEL, 1988). Inúmeros experimentos feitos em condições de campo com a aplicação de uréia sobre palhada de cana têm mostrado perdas que podem atingir 20 a 40%, ou mais, do N aplicado (CANTARELLA et al., 1999). A predominância de solos ácidos no Brasil faz com que esse tipo de perda seja desprezível para as outras principais fontes de adubos nitrogenados sólidos disponíveis no mercado brasileiro, como o sulfato de amônio.

Um fator agravante para as perdas por volatilização de  $N-NH_3$  com a uréia é haver um crescente interesse nas práticas de plantio direto ou cultivo mínimo. Na adubação da soqueira da cana-de-açúcar, a presença de resíduos vegetais sobre o solo geralmente contribui para maiores perdas em função da maior atividade da urease, bem como pelo retardamento na difusão do amônio para o interior do solo (CANTARELLA e al., 1999).

Com o objetivo de retardar a hidrólise da uréia, compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido avaliados, retardando as reações que levam a volatilização de  $N-NH_3$ , até que a uréia possa ser incorporada pela chuva. Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) vem obtendo bons resultados (BREMNER & CHAY, 1986; BRONSON et al., 1989). Uma formulação comercial, chamada Agrotain, está disponível no mercado para a mistura à uréia previamente fabricada.

O inibidor ocupa o local de atuação da urease, inativando a enzima (KOLODZIEJ & MARTINS, 1992), retardando o início e reduzindo o grau de velocidade de volatilização de  $N-NH_3$  por aproximadamente 14 dias. O atraso na hidrólise reduz a concentração de  $N-NH_3$  presente na superfície do solo, diminuindo o potencial de volatilização de  $N-NH_3$  e permitindo o deslocamento da uréia para horizontes mais profundos do solo (CHRISTIANSON et al., 1990).

Estudos realizados no Brasil com o NBPT adicionado à uréia, aplicada em cana colhida sem despalha a fogo, mostraram que o inibidor reduziu à metade as perdas de N

por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  (CANTARELLA et al., 2002). No entanto, não houve diferença entre os rendimentos de colmos obtidos com uréia ou uréia tratada com NBPT.

A eficiência do uso da uréia tratada com NBPT pode ser melhor avaliada com o uso de fertilizante marcado com o isótopo estável  $^{15}\text{N}$ . Portanto, é necessária a avaliação do NBPT nas condições brasileiras para conhecer sua potencialidade, aumentando assim a eficiência do uso do N da uréia pra algumas culturas de importância econômica.

O presente trabalho teve por objetivo comparar a eficiência do nitrogênio de uma fonte não sujeita às perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  (sulfato de amônio, usado como referência) com a uréia comum e a uréia tratada com NBPT, e avaliar as perdas de N por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  para a cultura da cana-de-açúcar, em condições de campo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cana-de-Açúcar no Brasil e a exigência da cultura em N

Segundo a Companhia Nacional de abastecimento (CONAB, 2006) o Brasil possui cerca de 6 milhões de hectares cultivados com cana-de-açúcar, destacando-se no cenário mundial. A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2006/07, em levantamento realizado no mês de novembro/2006, está estimada em 475,73 milhões de toneladas, superior em 10,3% quando comparada à safra passada, que foi de 431,41 milhões de toneladas. Em relação ao levantamento anterior, realizado em agosto, houve um crescimento de 1,0% ou 4,56 milhões de toneladas, motivado por ajustes na área plantada e na produtividade.

Do total produzido, 242,16 milhões de toneladas (50,9%) destinam-se à fabricação de açúcar, 183,82 milhões (38,6%) à produção de álcool e o restante, 49,74 milhões (10,5%), à fabricação de cachaça, alimentação animal, sementes, fabricação de rapadura, açúcar mascavo e outros fins (CONAB, 2006).

O nitrogênio representa apenas 1% da matéria seca total da cana-de-açúcar e está envolvido diretamente na síntese de aminoácidos essenciais, de clorofila e na produção de carboidratos (ORLANDO FILHO, 1983). Dos nutrientes essenciais, o nitrogênio é um dos mais absorvidos pela cana-de-açúcar, perdendo apenas para o potássio (COLETI et al., 2006).

A cana-de-açúcar exporta aproximadamente 0,7 a 1,1 kg de nitrogênio por tonelada de colmo produzido (COLETI et al., 2006). KONDORFER et al. (1992) estimaram a extração média de quatro variedades em 1,4 kg de N por tonelada de colmo, contabilizando o conteúdo de nutriente em toda a parte aérea, valores próximos aos obtidos por TRIVELIN et al. (2002b), os quais calcularam que a exigência de N variou de 1,6 a 1,7 kg por tonelada de colmo. Porém, considerando-se toda a planta (parte aérea + subterrânea), esses valores variaram de 2,1 a 2,4 kg de N por tonelada de colmo produzido. Esses dados indicam que uma produção de 100 t ha<sup>-1</sup> de colmo de cana-de-açúcar extrai em torno de 200 a 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, dos quais 90 a 100 kg ha<sup>-1</sup> são exportados com os colmos removidos do campo.

Segundo EPSTEIN (2006), 80 a 90% do nitrogênio absorvido pelas plantas deve passar para a forma orgânica (reduzido a NH<sub>3</sub><sup>-</sup>), esse processo de redução envolve a

enzima redutase do nitrato, que contém molibdênio, ferro e fósforo. A  $\text{NH}_3^-$  produzida fará parte dos aminoácidos elaborados pela planta em reações catalisadas por várias enzimas e magnésio. Diversas proteínas são formadas pelas diferentes combinações de aminoácidos, nas quais 18% são representadas pelo nitrogênio.

A necessidade do N pela cana-de-açúcar é crucial no período da formação da cultura, que vai do período imediatamente após a germinação até o fechamento do canavial, que ocorre, normalmente, entre o terceiro e o quinto mês. É nessa época que ocorre a formação de perfilhos, que influenciará no estande final de plantas e conseqüentemente na produtividade. A partir do fechamento do canavial as plantas entram num período de crescimento acelerado, desde que tenham boas condições de temperatura e umidade (DILLEWIJN, 1952).

As plantas jovens de cana-de-açúcar armazenam o N para utilização posterior, sendo observada uma redução nos teores desse nutriente em diversas partes da planta a partir do quarto mês de idade, indicando a remobilização do nutriente dentro da planta (HUMBERT, 1968).

Tanto o excesso quanto a deficiência de N têm influência na qualidade dos colmos. Sintomas de deficiência de N podem ser caracterizados pela clorose das folhas mais velhas, ocorre diminuição da atividade meristemática da parte aérea, acarretando em menor perfilhamento e área foliar. Esses fatores diminuem a interceptação da radiação solar e a fixação do  $\text{CO}_2$  atmosférico via fotossíntese, com a conseqüente perda no acúmulo de fitomassa, ocasionado baixo desenvolvimento na planta (ORLANDO FILHO & RODELLA, 1999).

Na deficiência de N, o teor de umidade da planta decresce e como conseqüência a qualidade do caldo piora, o teor de fibra aumenta, a concentração de sacarose no colmo diminui e ocorre acúmulo de sacarose nas folhas. O acúmulo de N varia com o número de cortes, cultivar, ciclo da cultura e, entre outros fatores, da disponibilidade do nutriente na solução do solo (ROBERTSON et al., 1996). Com excesso de N ocorre aumento no comprimento dos colmos, ocasionando a redução da espessura da parede celular e conseqüente diminuição da porcentagem de fibras das plantas (ORLANDO FILHO, 1983). Também pode piorar a qualidade do caldo e atrasar a maturação (CARNAÚBA, 1989).

Em revisão realizada por AZEREDO et al. (1986), os autores mostraram que há muita variabilidade nos resultados de pesquisas acerca da influência do N na qualidade do caldo da cana, tendo-se observado ausência do efeito, efeito depressivo e efeito

positivo. ESPIRONELLO et al. (1981) constataram que a quantidade total de açúcar produzida por hectare é maior quando se adiciona nitrogênio. KORNDORFER & MARTINS (1992) obtiveram resultados semelhantes em experimentos conduzidos no Brasil.

O nitrogênio no ambiente é um elemento muito móvel e a intensidade com que ocorrem as diferentes formas de perdas e ganhos no agroecossistema pode refletir, a curto, médio e longo prazo, na produção dos canaviais. O entendimento da dinâmica do nitrogênio nesse sistema determina as possibilidades de manejo da cana-de-açúcar em diferentes condições edafoclimáticas, resultando ganhos na produtividade agrícola e na sustentabilidade do agroecossistema (TRIVELIN, 2000).

## **2.2. Fontes de Nitrogênio**

No Brasil, a uréia, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio compreendem os adubos nitrogenados mais utilizados na cultura da cana-de-açúcar. Como características comuns apresentam alta solubilidade em água e são prontamente disponíveis para as plantas. O uso de mistura entre fontes, em determinadas condições, também é empregado para tornar o aproveitamento do nitrogênio pela cultura mais viável.

O sulfato de amônio apresenta como vantagens sua baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas, estabilidade química e oferta de enxofre (24%). Como desvantagem, apresenta, no solo, uma reação fortemente ácida, possui apenas 21% de N, aumentando o custo de aplicação e transporte. Dessa forma, o custo por unidade de N acaba sendo maior em relação à uréia (BYRNES, 2000).

O nitrato de amônio contém ao mesmo tempo duas formas de nitrogênio, a nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) e a amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), totalizando 32% de nitrogênio. Entretanto, este fertilizante tem regulamentações e restrições crescentes quanto à fabricação, estocagem e transporte devido à possibilidade de seu emprego como explosivo, que pode eventualmente afetar sua utilização na agricultura (RAIJ, 1991).

Fertilizantes nitrogenados contendo N amoniacal (sulfato de amônio e nitrato de amônio) aplicados em solos ácidos (pH inferior a 7,0) não sofrem perdas por volatilização de nitrogênio na forma de amônia ( $\text{N-NH}_3$ ), mesmo quando aplicados sobre restos de cultura, pois não possuem características de aumentar o pH no local onde são aplicados. Vale ressaltar que no Brasil a maioria dos solos apresenta reação ácida e também, por isso, as perdas com tais fertilizantes são pouco relevantes

(TERMAN et al., 1979). CANTARELLA et al. (1999) mostraram que não houve perdas por volatilização na utilização do nitrato de amônio e FRENEY et al. (1992) constataram perdas de 1,8% do sulfato de amônio aplicado em cana-de-açúcar, em cobertura.

A uréia é caracterizada como um dos fertilizantes sólidos granulados de maior concentração de N (45%) na forma amídica. Como vantagem da utilização da uréia, pode-se citar o baixo custo de transporte, uma vez que apresenta alta concentração de N, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes. Como desvantagem, possui elevada higroscopicidade e maior susceptibilidade à volatilização. Degradação e dissolução dos grânulos aplicados ao solo ocorrem na presença de umidade (RAIJ, 1991).

A uréia, que responde por 60% dos fertilizantes nitrogenados empregados na agricultura brasileira, apresenta limitações quanto à aplicação superficial, devido à possibilidade de perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$ . A reação inicial pode levar o pH do solo próximo de 9 nas imediações dos grânulos desse fertilizante, intensificando a volatilização de  $\text{NH}_3$  (OVERREIN & MOE, 1967). A prática de incorporação de fontes nitrogenadas mais susceptíveis às perdas de amônia possibilita considerável redução na volatilização (CANTARELLA et al., 1999). CAMARGO (1989) não observou perdas de amônia provenientes da uréia e aquamônia quando aplicadas em sulcos, na profundidade de 25 cm. Assim, a aplicação da uréia em profundidade é fundamental para reduzir as perdas de  $\text{N-NH}_3$  por volatilização.

O Decreto nº 42.056 de 06/08/97 estabeleceu que a colheita de cana-de-açúcar queimada deveria ser substituída gradualmente pela colheita de cana sem despalha a fogo e no Estado de São Paulo 20% da área cultivada tem sido colhida sem a queima prévia. A colheita da cana sem queima faz com que espessa camada de palha seja depositada na superfície do solo.

A espessa camada de palha depositada sobre o solo, em soqueira de cana colhida sem despalha a fogo, dificulta a aplicação da uréia em profundidade e a difusão do  $\text{N-NH}_3$  para o interior do solo, bem como intensifica a atividade da urease (VITTI, 2003).

SANTOS et al. (1991) observaram aumento na velocidade de hidrólise da uréia com a concentração do fertilizante, porém não proporcional às doses aplicadas. Nessa reação há consumo de  $\text{H}^+$  do meio, elevando o pH, favorecendo a volatilização de  $\text{N-NH}_3$ . A aplicação de fonte amídica sobre os restos culturais da cana-soca, associada à

concentração do fertilizante, baixa precipitação e à temperatura elevada, contribuem para elevadas perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (KIEHL, 1989).

Dessa forma, a palhada tende a agravar as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. TRIVELIN et al. (2002a) constataram que a aplicação da uréia sobre a palhada da cana-de-açúcar proporcionou uma recuperação de cerca de 9% (49% no sistema solo-planta) do nitrogênio e quando a uréia foi aplicada sobre o solo sem palhada a recuperação de nitrogênio pela planta de cana-de-açúcar atingiu valores próximos a 30% (57% no sistema solo-planta).

No Brasil, inúmeros experimentos feitos em condições de campo com a aplicação de uréia sobre palhada de cana têm mostrado perdas que podem atingir 20 a 40%, ou mais, do N aplicado (CANTARELLA et al., 1999). OLIVEIRA (1999) relatou recuperação de 40% pela cana-de-açúcar do <sup>15</sup>N-fertilizante quando a fonte nitrogenada foi enterrada no solo, valores próximos foram obtidos por CHAPMAN et al. (1994) e TRIVELIN et al. (1995). GAVA (1999) encontrou recuperação do <sup>15</sup>N-fertilizante na planta em torno de 10% quando a uréia + vinhaça foi aplicada sobre a palhada. CHAPMAN et al. (1994) obtiveram, na Austrália, recuperação de 18 e 33% da uréia aplicada em superfície e em profundidade, respectivamente, na colheita. VITTI (2003) cita que WENG et al. (1991) encontraram recuperações de 19, 23 e 27% para a uréia, nitrato de potássio e sulfato de amônio, respectivamente, na aplicação de adubos a 10 cm de profundidade, e quando comparadas à aplicação superficial, mostraram maiores recuperações na colheita.

A mistura de uréia com outros fertilizantes nitrogenados consiste em outra alternativa para reduzir as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. A mistura de uréia com sulfato de amônio na proporção 50% e 50% reduziu as perdas de amônia devido à menor quantidade de uréia, bem como pelo efeito acidificante do sulfato de amônio, que pode diminuir o efeito local de elevação do pH provocado pela hidrólise da uréia (VITTI et al., 2002).

Formulações líquidas, tais como o uran e soluções de uréia, quando aplicadas em faixas podem ter menores perdas de N-NH<sub>3</sub>, pois ocorre uma ligeira incorporação ao solo do fertilizante em uma área e, em alguns casos, a saturação da urease na região de aplicação. As diferenças entre aplicação em área total e em faixas não são consistentes (HARGROVE & KISSEL, 1979).

Soluções amoniacais, como a aquamônia e amônia anidra, quando incorporadas ao solo têm eficiência comparada às demais fontes de nitrogênio, e são alternativas com

preços competitivos no mercado, entretanto pouca tem sido a oferta destes produtos no mercado (TRIVELIN et al., 1995).

TRIVELIN et al. (1997, 1998) observaram que a acidez da vinhaça pode ser usada para neutralizar a alcalinidade de soluções amoniacais, permitindo que o produto seja aplicado em superfície. As perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> da mistura de vinhaça e aquamônia aplicada sobre palha de cana (5 a 7% do N aplicado) foram inferiores às encontradas com a adição de solução de uréia sobre a palha (11%). Perdas de N-NH<sub>3</sub> relativamente baixas (6,4% do N aplicado) com o uso de aquamônia misturada à vinhaça também foram relatadas por VITTI et al. (2005), os quais também observaram que as produções de colmos obtidas com aquela fonte não diferiram das conseguidas com sulfato de amônio e nitrato de amônio.

A incorporação da uréia, em áreas de cana colhida sem despalha a fogo, elimina ou reduz substancialmente as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização e aumenta a eficiência de uso do N quando comparado com a aplicação sobre a palha (TRIVELIN et al., 2002a; CANTARELLA et al., 1999; GAVA et al., 2000a). Entretanto, a incorporação do fertilizante acrescenta custos adicionais de operações, aumenta o tempo de aplicação de adubo ao solo e exige tratores com maior potência.

Uma alternativa viável seria incorporar a uréia através da ação de chuvas ou por água de irrigação, mas, como a hidrólise da uréia é rápida, a precipitação pluvial em quantidade suficiente tem que ocorrer dentro de 1 a 3 dias para ser efetiva (FRENEY et al., 1994).

A presença da palha faz aumentar o volume de chuva necessário para a efetiva incorporação do fertilizante. Em áreas de solo descoberto, 10 a 20 mm de chuva ou irrigação são considerados suficientes para incorporar a uréia ao solo e reduzir ou eliminar as perdas de N-NH<sub>3</sub> (TERMAN et al., 1979). OLIVEIRA et al. (1999) relataram que com 38 mm de chuva ainda houve perdas significativas do N-uréia aplicado. A explicação oferecida por FRENEY et al. (1994), para a maior necessidade de água para incorporar a uréia ao solo em sistemas com muita palha, é que a água desce por canais preferenciais formados pela estruturação espacial dos materiais grosseiramente picados, e não consegue dissolver e arrastar eficazmente toda a uréia para o solo, pois parte desta fica protegida sob a palha.

Entretanto, a adubação na cultura da cana-de-açúcar é feita de maio a dezembro, havendo períodos em que a quantidade de chuva é insuficiente para auxiliar a incorporação da uréia ao solo. Com o objetivo de retardar a hidrólise da uréia,

compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido testados, retardando as reações que levam a volatilização de N-NH<sub>3</sub>.

### **2.2.1. Inibidor da urease (NBPT)**

Ao prevenir a rápida hidrólise, os inibidores aumentam as chances de que chuvas, irrigação ou operações mecânicas incorporem a uréia ao solo. Além disso, há uma redução no pico de alcalinização, permitindo maior tempo para o deslocamento do N-NH<sub>3</sub> a horizontes mais profundos do solo e a redução das perdas gasosas.

Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) é o que vem obtendo os melhores resultados (BREMNER & CHAY, 1986; SCHLEGEL et al., 1986; BEYROUTY et al., 1988; BRONSON et al., 1989; WATSON, 2000). Uma formulação comercial está disponível no mercado para misturar à uréia previamente fabricada.

O inibidor ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima (MOBLEY & HAUSINGER, 1989; KOLODZIEJ & MARTINS, 1992). Assim, retarda o início e reduz o grau de velocidade de volatilização de N-NH<sub>3</sub>. O atraso na hidrólise reduz a concentração de N-NH<sub>3</sub> presente na superfície do solo, diminui o potencial de volatilização de N-NH<sub>3</sub> e permite o deslocamento da uréia para horizontes mais profundos do solo (CHRISTIANSON et al., 1990). Vale ressaltar que o NBPT não tem mostrado efeito sobre as propriedades biológicas do solo (BANERJEE et al., 1999), além de ser eficiente em concentrações baixas (WATSON et al., 1994).

Resultados obtidos em condições controladas de laboratório indicam redução da atividade da urease com o aumento da concentração do NBPT aplicado com uréia (CARMONA et al., 1990). CHRISTIANSON et al. (1990) observaram 68% de inibição na hidrólise da uréia com 0,01 g de NBPT por kg de uréia e 1,5 a 3 vezes menos perdas de N-NH<sub>3</sub> quando o valor foi aumentado para 1g kg<sup>-1</sup>.

Outro estudo em laboratório, realizado por VITTORI ANTISARI (1996), evidenciou relação inversa entre a concentração do inibidor da urease (NBPT) e a velocidade de hidrólise da uréia, volatilização de N-NH<sub>3</sub> e mineralização de N.

GIOACCHINI et al. (2002), ao estudarem o efeito da aplicação da uréia em solo com inibidor da urease (NBPT) e inibidor da nitrificação (DCD), compararam três tratamentos: somente uréia (controle), uréia + NBPT; uréia + NBPT + DCD. A menor perda de N-NH<sub>3</sub> por volatilização foi observada na presença do NBPT em comparação

ao controle e a presença de DCD não implicou em redução adicional na volatilização de N-NH<sub>3</sub>; ao contrário, proporcionou maior valor médio em comparação à adição exclusiva de NBPT.

Estudos também foram conduzidos em dois solos para determinar a eficiência do NBPT em função da dose aplicada e da textura do solo. Aplicou-se a uréia (100 kg ha<sup>-1</sup> de N) e doses de NBPT iguais a 0; 0,05; 0,10; 0,15% m/m. As perdas de N-NH<sub>3</sub> foram maiores na ordem 0% > 0,05% > 0,10% > 0,15%, havendo uma redução de perdas de 28% a 88% de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. As perdas foram maiores em solo arenoso (RAWLUK et al., 2001).

Estudos realizados no Brasil com NBPT adicionado à uréia aplicada em cana colhida sem despalha a fogo mostraram que o inibidor reduziu à metade as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (CANTARELLA et al., 2002). No entanto, não houve diferença entre o rendimento de colmos obtidos com uréia e uréia tratada com NBPT. Os benefícios da mistura uréia + NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> será convertida em aumento de produção de culturas (HENDRICKSON, 1992; WATSON et al., 1998).

A eficiência de uso de uréia tratada com NBPT pode ser melhor determinada com o uso de fertilizantes marcados com o isótopo estável <sup>15</sup>N, o que deve ser importante na avaliação do NBPT nas condições brasileiras, visando o aumento da eficiência do uso do N da uréia para culturas de importância econômica.

Devem-se interligar as alternativas de adubação nitrogenada da soqueira colhida sem despalha com os riscos potenciais de perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. Em solos ácidos, fontes de N tais como nitrato de amônio e sulfato de amônio são preferíveis à uréia para aplicação superficial em cana-de-açúcar, pois sofrem menores perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (CANTARELLA et al., 2001; VITTI et al., 2002; COSTA et al., 2003). Entretanto, a uréia é o fertilizante nitrogenado mais barato por unidade de N e dominante no mercado brasileiro. Ao utilizar a uréia, devem-se minimizar as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização através da incorporação ao solo e a medida mais barata para tal procedimento seria realizá-la pela ação de chuvas. O inibidor da urease retarda a hidrólise da uréia e permite que o fertilizante permaneça por mais tempo na superfície do solo à espera de uma chuva, para posterior incorporação ao solo.

### 2.3. Resposta da Soqueira de Cana-de-Açúcar à Adubação Nitrogenada

A resposta à fertilização nitrogenada reflete em maior vigor das soqueiras, tornando-se necessário manejar a cana-de-açúcar como uma cultura perene. A cana-soca apresenta maiores possibilidades de respostas à adubação nitrogenada, enquanto que a cana-planta normalmente apresenta respostas menos expressiva.

Vários fatores têm sido listados para explicar as baixas respostas a N em cana-planta, entre os quais a mineralização da matéria orgânica do solo e dos restos culturais da própria cana, favorecida pelo revolvimento do solo durante a reforma do canavial. Medições feitas por ARAÚJO et al. (2001) mostraram que o N mineralizado de solos cultivados com cana-de-açúcar foi suficiente para atender a demanda da cana-planta pelo nutriente. O maior vigor do sistema radicular da cana-planta comparado ao da soqueira, a menor demanda inicial por nutrientes da cana-planta, a melhoria da fertilidade do solo associada à calagem e à adubação feitas na reforma do canavial, a fixação biológica de N, as perdas de N fertilizante por lixiviação e a contribuição do N estocado no tolete do colmo-semente constituem outros fatores que justificam a baixa resposta da cana-planta a N (AZEREDO et al., 1986; ORLANDO FILHO et al., 1999).

ZAMBELLO JUNIOR & ORLANDO FILHO (1981) recomendavam a dose média de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N para a soqueira de cana-de-açúcar, independentemente do tipo de solo. Desse modo, em diversas condições, a recomendação de adubação nitrogenada ora era subestimada, ora era superestimada.

No estado de São Paulo, as doses de nitrogênio recomendadas variam de 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup> para a soqueira de cana-de-açúcar colhida com queima da palhada e quanto maior for o potencial de produção de fitomassa, maior é a necessidade de N (RAIJ et al., 1997). ORLANDO FILHO et al. (1999), para as doses de 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup>, obtiveram aumento de 20 e 35%, respectivamente, em relação à testemunha e considerando os valores médios de produtividade de 4 cortes, constataram ainda que em muitos experimentos de campo foram encontradas respostas lineares para doses de até 120 kg ha<sup>-1</sup>, porém com aumentos relativamente pequenos a partir de doses superiores à 100 kg ha<sup>-1</sup>. VITTI (2003), em estudo realizado em solo arenoso (900 g kg<sup>-1</sup> de areia), obteve resposta linear na produtividade de colmos até a dose de 175 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo a produtividade máxima em torno de 80 t ha<sup>-1</sup> de colmos.

TRIVELIN et al. (2002b) observaram que o aumento da dose de N resultou em acúmulo crescente de N na parte subterrânea de plantas de cana, na qual o teor do

nutriente ( $4,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) foi maior do que o da parte aérea ( $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ ). O nitrogênio acumulado na parte subterrânea estimula a brotação e o crescimento das soqueiras, e pode gerar um efeito na adubação nitrogenada do ciclo seguinte (ORLANDO FILHO et al., 1999; VITTI et al., 2002). Entretanto, CHAPMAN et al. (1992) e BASANTA et al. (2002), concluíram que menos de 5 a 8% do N aplicado em um determinado ano estará presente na cana do ano seguinte, em estudo realizado com fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$ , e ressaltam que nem sempre é significativo o efeito da adubação nitrogenada. Porém, em longo prazo, o efeito cumulativo de nitrogênio ao solo é importante para manutenção da matéria orgânica e suprimento de N às plantas (VALLIS & KEATING, 1994).

Uma quantidade de 10 a 20 t  $\text{ha}^{-1}$  de resíduo de matéria seca da cana sem despalha a fogo permanece no solo, com relação C:N superior a 100 (TRIVELIN et al.; 1996; CANTARELLA, 1998). O manejo sem despalha a fogo conserva o nitrogênio no sistema solo-planta, uma vez que apenas 30 a 50% da palhada permanece no solo quando ocorre a queima do canavial (BASANTA et al., 2002) e grande parte do N é perdida por volatilização. Entretanto, a taxa de mineralização desta palhada com alta relação C:N é lenta. FARONI et al. (2003) observaram que após um ano, 40 a 50% de matéria seca da palhada permaneceu no solo, e a relação C:N passou de 85 para 34. O N absorvido pela cana-de-açúcar proveniente da palhada é relativamente baixo e varia entre 5 e 10% do N presente no resíduo de cobertura (GAVA et al., 2003; VITTI, 2003), pois as quantidades de N da palhada liberadas durante o ciclo seguinte da cana são pequenas (3 a 30%). Assim, durante um ciclo agrícola o N da palhada é pouco significativo para a nutrição direta da cana-de-açúcar em relação ao fertilizante que está disponível após sua aplicação (VITTI, 2003).

Os efeitos da palhada sobre a produtividade da cana-de-açúcar são complexos. AUDE et al. (1993) verificaram que a cobertura do solo por palhada de cana-de-açúcar teve efeito negativo sobre a produtividade da cultura. Entretanto, efeito positivo da presença de palhada sobre a produtividade da cana-de-açúcar foi relatado por WOOD (1991) em relação a solos com boa taxa de drenagem, ou em regiões com precipitação pluvial insuficiente ou irregular. ORLANDO FILHO et al. (1994) observaram redução acentuada na produção de colmos ocasionada pela presença da palhada, entretanto, o problema parecia estar ligado à variedade usada. GAVA et al. (2001b) e BASANTA et al. (2003) também encontraram, em áreas de cana sem despalha a fogo, produções menores em relação à cana queimada, em solos argilosos. TRIVELIN et al. (2002a,b)

não encontraram diferenças em produtividade de colmos em áreas com ou sem queima em solo arenosos.

Devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante, a cana-de-açúcar é eficiente em aproveitar o N do solo. Em estudos utilizando adubos marcados com  $^{15}\text{N}$  constatou-se que grande parte do N absorvido pela planta vem do solo, com contribuição relativamente baixa dos fertilizantes nitrogenados em relação ao N total absorvido; alguns autores encontraram valores que variavam entre 10 a 16% (GAVA et al., 2001b, 2003); 12 a 14% (TRIVELIN et al., 1995; AMBROSANO et al., 2005).

Os valores quanto à eficiência de uso do N fertilizante em cana-de-açúcar (porcentagem do N contido no fertilizante aplicado que é absorvida pela cultura) também são relativamente baixos. TRIVELIN et al. (1995) encontraram valores próximos a 40%, enquanto que VITTI (2003) encontrou valores entre 24 e 28%, GAVA et al. (2001b; 2003), valores entre 10 e 22%, e TRIVELIN et al. (2002b) entre 7 a 16%. A falta de resposta à adubação nitrogenada em experimentos conduzidos em campo em soqueira de cana-de-açúcar, tendo em vista diferentes fontes e locais de aplicação do fertilizante nitrogenado, muitas vezes pode ser explicada pela baixa recuperação do N-fertilizante. Dessa forma, aproximadamente 35% do N-fertilizante tem como destino o solo, onde o N é incorporado à matéria orgânica (GAVA et al., 2002b; VITTI, 2003).

Segundo TRIVELIN et al. (1995), em cana-de-açúcar, no sistema solo-planta, uma fração entre 20 e 50% do N fertilizante marcado não é encontrada em experimentos em que se estuda o balanço do N- $^{15}\text{N}$ . O N não recuperado é considerado como perda do sistema solo-planta. Os dados de GAVA et al. (2002) mostram que as perdas do N-fertilizante podem ser significativas e superar a quantidade de N recuperada pela planta.

Perdas por desnitrificação podem explicar o N não recuperado nos estudos envolvendo balanço com traçadores. A presença de palha na superfície do solo aumenta as perdas por desnitrificação (DOBBIE et al., 1999). TRIVELIN et al. (2002a) consideram que a maior parte dos 12% do N perdido em ensaio de cana-planta, no qual a uréia foi incorporada ao solo, ocorreu por desnitrificação. CHAPMAN et al. (1994) atribuíram 41% das perdas do N-uréia à desnitrificação em função da alta umidade do solo, no período de 12 semanas após a adubação.

A lixiviação seria outra possibilidade de perda de N- $\text{NO}_3$ , porém, VITTI (2003) relata que esse tipo de perda é pouco relevante nas condições brasileiras, geralmente inferior a 5% do N aplicado em cana-de-açúcar. Uma explicação para as baixas perdas por lixiviação encontradas no Brasil é que, geralmente, as doses de N usadas em cana-

de-açúcar são relativamente pequenas, entre 100 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, ou menos, em socas e por ocasião da rebrota das soqueiras são aplicadas em épocas de pouca chuva (ESPIRONELO et al., 1996). As perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, quando a uréia é aplicada superficialmente, também contribuem para o N não recuperado nos estudos envolvendo balanço com traçadores, como já discutido no item 2.3.

No Brasil ainda há dúvidas quanto às doses de N que devem ser empregadas nas soqueiras em sistemas de manejo de cana sem despalha a fogo. Relacionar a adubação nitrogenada com o sistema sem despalha a fogo, com o solo e com o rendimento potencial das variedades de cana-de-açúcar, determinará respostas positivas quanto à produtividade da soqueira de cana-de-açúcar.

#### **2.4. Utilização de Nitrogênio Marcado (<sup>15</sup>N)**

Os isótopos de um elemento possuem mesmo número atômico e mesmo número de prótons, sendo elementos de diferentes números de massa. Os isótopos <sup>12</sup>N, <sup>13</sup>N, <sup>16</sup>N e <sup>17</sup>N são artificiais e radioativos. O <sup>14</sup>N e <sup>15</sup>N ocorrem na natureza, são estáveis e de meia vida infinita. O <sup>15</sup>N tem abundância média na atmosfera de 3,6 mg g<sup>-1</sup> e o <sup>14</sup>N 996,34 mg g<sup>-1</sup> (IAEA, 1983).

Os isótopos de um elemento podem ser quantificados por espectrômetros de massa. Na determinação isotópica do <sup>15</sup>N (átomos %), o N presente nas amostras deve ser transformado em gás N<sub>2</sub>. As moléculas de N<sub>2</sub> são ionizadas e os íons formados são separados pela razão carga/ massa, num campo magnético sob vácuo. Em seguida, os íons formados são coletados pelo sistema de detecção do aparelho, sendo possível quantificar a abundância relativa através das correntes formadas nos coletores. Dessa maneira, os íons de massa 28 (<sup>14</sup>N<sup>14</sup>N)<sup>+</sup>, 29 (<sup>14</sup>N<sup>15</sup>N)<sup>+</sup> e 30 (<sup>15</sup>N<sup>15</sup>N)<sup>+</sup> são quantificados para calcular a concentração do <sup>15</sup>N no material analisado (BARRIE & PROSSER, 1996).

A técnica isotópica com <sup>15</sup>N é empregada para quantificar as perdas de nitrogênio no solo por volatilização de amônia, lixiviação de nitrato ou desnitrificação. Permite quantificar o aproveitamento do N proveniente de diferentes adubos pelas plantas cultivadas. Esta técnica também é usada para fornecer ao organismo em estudo uma razão isotópica diferente da natural (<sup>15</sup>N/ <sup>14</sup>N), avaliando em seguida a distribuição do isótopo no sistema em estudo (BENDASSOLLI et al., 2002).

Neste trabalho optou-se pela utilização de fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$ , desta maneira, a avaliação do destino dos nutrientes aplicados nos sistemas agrícolas é feita com maior precisão.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização da Área Experimental e Variedade de Cana-de-Açúcar**

Os experimentos foram instalados dia 29 de setembro e 28 de novembro de 2005, com duração de 1 ano, em terceira soqueira de cana-de-açúcar, nas áreas da Usina São Martinho (Pradópolis - SP) e Usina São Luis (Santa Rita do Passa Quatro - SP). Utilizaram-se as cultivares SP-86155 e SP-83 2847, respectivamente. A soqueira de cana-de-açúcar, nas duas áreas, estava brotando (corte feito cerca de 1 mês antes) e cobertas com a palhada remanescente da soca anterior.

#### **3.2. Amostragem e Análise do Solo**

Foram coletadas amostras das áreas experimentais, na profundidade de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, nas entrelinhas da cana-de-açúcar. As amostras de solo foram levadas ao laboratório, registradas e submetidas à secagem em estufa com temperatura de 45° C. Posteriormente, foram passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura.

Os valores de matéria orgânica (M.O.), pH, H+Al, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), V% e as quantidades de macro e micronutrientes, foram determinados pelos métodos descritos por RAIJ et al. (2001).

O solo da área da Usina São Martinho foi classificado como um Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico (EMBRAPA, 2006) e as características constam nas tabelas 1 e 2:

Tabela 1. Caracterização química do solo. Área experimental de Pradópolis.

Prof. cm	M.O. g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	P -mg dm <sup>-3</sup> -	S	K	Ca	Mg	H+Al	S.B.	C.T.C.	V %
0-20	26	5,3	6	1	0,7	25	9	25	34,7	59	58
20-40	22	5,0	3	1	0,2	17	5	28	22,2	50	44
40-60	17	4,6	2	15	0,2	7	2	28	9,2	37	25

pH: CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 2001); M.O.: Matéria orgânica, método colorimétrico (RAIJ et al., 2001); P: Extração por resina trocadora de íons e determinação por colorimetria (RAIJ et al., 2001), S: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 2001), K: Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria de chama (RAIJ et al., 2001); Ca e Mg: extração por resina trocadora de íons e determinação por espectrometria de absorção atômica (RAIJ et al., 2001); H+Al: Determinação potenciométrica em solução tampão SMP (RAIJ et al., 2001).

Tabela 2. Caracterização química do solo (micronutrientes). Área experimental de Pradópolis.

Prof. cm	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0-20	0,17	0,6	32	2,1	0,5
20-40	0,17	0,5	27	0,6	0,2
40-60	0,12	0,3	16	0,3	0,1

B: BaCl<sub>2</sub> 2H<sub>2</sub>O microondas (10 ml TFSA/ 20 ml BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) (RAIJ et al., 2001).  
Cu, Fe, Mn, Zn: DTPA-TEA pH 7,3 (RAIJ et al., 2001).

O solo da área da usina São Luis foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2006) e as características constam nas Tabelas 3 e 4:

Tabela 3. Caracterização química do solo. Área experimental de Santa Rita do Passa Quatro.

Prof.	M.O.	pH	P	S	K	Ca	Mg	H+Al	S.B.	C.T.C.	V	
cm	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	-mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								%
0-20	18	5,7	25	3	1,0	24	7	16	32	48,4	66	
20-40	15	5,7	5	1	0,4	23	6	16	29	45,8	64	
40-60	14	5,7	4	1	0,3	19	6	16	25	41,7	61	

pH: CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 2001); M.O.: Matéria orgânica, método colorimétrico (RAIJ et al., 2001); P: Extração por resina trocadora de íons e determinação por colorimetria (RAIJ et al., 2001); S: Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 2001); K: Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria de chama (RAIJ et al., 2001); Ca e Mg: extração por resina trocadora de íons e determinação por espectrometria de absorção atômica (RAIJ et al., 2001); H+Al: Determinação potenciométrica em solução tampão SMP (RAIJ et al., 2001).

Tabela 4. Caracterização química do solo (micronutrientes). Área experimental de Santa Rita do Passa Quatro.

Prof.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
cm	-----mg dm <sup>-3</sup> -----				
0-20	0,08	1,2	23	15,7	3,0
20-40	0,08	1,1	20	10,2	2,1
40-60	0,08	1,2	16	10,3	1,0

B: BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O microondas (10 ml TFSA/ 20 ml BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) (RAIJ et al., 2001); Cu, Fe, Mn, Zn: DTPA-TEA pH 7,3 (RAIJ et al., 2001).

### 3.3. Tratamentos

Como fonte de N utilizou-se o sulfato de amônio (SA), usado como referência; uréia comum (UR); e uréia recoberta com NBPT antes da adubação (UR+NBPT, 2 mL de produto comercial Agrotain©, contendo 25% de NBPT por quilograma de uréia, correspondendo a 530 mg de NBPT por quilograma de uréia). As doses empregadas em cobertura foram de 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os fertilizantes foram pesados individualmente e distribuídos manualmente na linha. Os tratamentos foram aplicados somente em cobertura.

Para se manter a uniformidade da quantidade de enxofre na área, as parcelas foram complementadas com gesso, assim, todas as parcelas continham 160 kg ha<sup>-1</sup> de S.

Todas as parcelas receberam uma adubação comum com 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (KCl), equivalente a 380 g de KCl por linha de cana-de-açúcar.

### **3.4. Delineamento Experimental**

Empregou-se o delineamento em blocos completos inteiramente casualizados. O delineamento experimental foi um fatorial com 4 repetições, 3 fontes e 4 doses de nitrogênio.

A área foi dividida em quatro blocos e cada bloco foi constituído por 12 parcelas. Cada parcela experimental constituiu-se de cinco linhas de cana com 1,5 metros de espaçamento e 10 metros de comprimento, totalizando 75 m<sup>2</sup> de área.

### **3.5. Quantificação das Perdas de Amônia por Volatilização**

As perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> foram medidas por meio de câmaras estáticas e semi-abertas, nas parcelas com doses de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e em uma testemunha. As câmaras foram encaixadas sobre bases feitas com PVC, com diâmetro aproximado de 19,5 cm e altura de 20 cm, cravada no solo de modo a deixar aproximadamente 15 cm do tubo acima da superfície do solo. A palhada foi mantida nas bases na mesma proporção presente no campo (8,3 e 12 t ha<sup>-1</sup> nas áreas experimentais das Usinas São Martinho e São Luis, respectivamente) e cada base recebeu a quantidade equivalente a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para cada câmara (4 repetições por tratamento) foram utilizadas 10 bases, instaladas na entrelinha central das soqueiras, com espaçamento entre as bases de aproximadamente 30 cm.

As câmaras foram construídas conforme o modelo desenvolvido por Nommik (1973) e modificado por Cantarella et al. (2003), onde, ao invés de uma base para cada câmara, foram utilizadas dez bases sobre as quais as câmaras foram periodicamente rotacionadas. As câmaras consistiram de tubos de PVC com 20 cm de diâmetro e 40 cm de altura, no interior das quais foram colocados dois discos de espuma de polietileno com 2 cm de espessura, embebidos com uma mistura de ácido fosfórico e glicerina. O primeiro disco, colocado a 10 cm do solo, absorve o NH<sub>3</sub> volatilizado. O segundo disco, colocado acima do primeiro, serve para absorver o NH<sub>3</sub> volatilizado do restante da área,

para evitar a contaminação do primeiro disco. A parte superior da câmara foi coberta com uma tampa de plástico, deixando-se um espaço de 1 cm para a passagem do ar.

A figura 1 mostra a disposição da câmara no campo e a seqüência de bases instaladas na entrelinha da cana-de-açúcar. É possível observar que a quantidade de palhada dentro das câmaras corresponde à quantidade de palhada na área total. A figura 2 apresenta os discos embebidos com ácido fosfórico e glicerina.



Figura 1. Câmara instalada no campo. Seqüência de bases instaladas na entrelinha da cana-de-açúcar, adubadas manualmente, com porcentagem de palhada equivalente a da área total.



Figura 2. Discos embebidos com ácido fosfórico e glicerina, para absorver a  $N-NH_3$ .

Para viabilizar a determinação da amônia volatilizada, por meio dos coletores, buscou-se máxima uniformidade de aplicação das fontes nitrogenadas. Aplicaram-se nas bases dos coletores quantidades previamente pesadas das fontes nitrogenadas, em cobertura. As quantidades aplicadas podem ser observadas na tabela 5.

Tabela 5. Quantidade de fertilizante por câmara (100 kg ha<sup>-1</sup> de N).

Fonte	Fertilizante <sup>(1)</sup> g câmara <sup>-1</sup>	Nitrogênio <sup>(1)</sup> g câmara <sup>-1</sup>
Sulfato de amônio	13,6	2,85
Uréia e Uréia com NBPT	6,2	2,85

<sup>(1)</sup>Quantidades previamente pesadas das fontes nitrogenadas e aplicadas uniformemente nas bases do coletores.

Coletas de espumas foram efetuadas aos 2, 4, 6, 8, 10 12, 15, 18, 21, 24, 28, 32, 36, 40 e 44 dias após a aplicação dos tratamentos na área da Usina São Martinho e aos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17 e 20 dias na área da Usina São Luis. Por ocasião de cada coleta e nos dias posteriores à ocorrência de chuva, as câmaras eram trocadas para as bases seguintes, igualmente adubadas, para reduzir os efeitos do microclima provocados pela câmara sobre o solo. As medidas foram feitas até que as perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> atingissem valores próximos de zero. Pluviômetros foram instalados nas áreas experimentais para medir a quantidade de chuva durante o período em que a volatilização foi avaliada.

Os discos, levados para o laboratório, foram lavados seqüencialmente com 500 mL de solução de KCl (1 mol L<sup>-1</sup>), realizando-se 5 a 6 lavagens consecutivas com a solução, para completa remoção do N-NH<sub>3</sub> retido. O nitrogênio amoniacal extraído foi determinado por destilação a vapor. Uma alíquota de 10 mL foi transferida para balão de destilação ao qual se adicionou NaOH (10 mol L<sup>-1</sup>). O destilado foi recolhido em Erlenmeyer com 10 mL de solução de ácido bórico mais indicador e, posteriormente, titulado com ácido sulfúrico 0,005 mol L<sup>-1</sup>.

Obtidos os valores do volume de ácido sulfúrico gasto na titulação, das provas em branco e das amostras, calculou-se o nitrogênio amoniacal volatilizado pela equação  $N = (V a - V b) \times f$ , de modo que:

$N$  = mg de nitrogênio por câmara;

$V a$  = Volume de ácido gasto na titulação da amostra (mL);

$V b$  = Volume de ácido gasto na titulação do branco (mL);

$f = 0,7$  (fator referente à molaridade do ácido, volume da alíquota e do extrato no balão volumétrico).

### **3.6. Microparcelas com Adubos Marcados**

Na área pertencente à Usina São Martinho, nos tratamentos com 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, foram instaladas nas linhas centrais de cada parcela, microparcelas com 2 metros de comprimento, nas quais foram aplicados adubos marcados em 5% de átomos em excesso de <sup>15</sup>N. Os fertilizantes aplicados foram pesados individualmente e distribuídos manualmente.

Pretendia-se calcular a porcentagem de átomos de <sup>15</sup>N no tecido vegetal, em função dos resultados de N total e de <sup>15</sup>N, e, com a matéria seca, obter a quantidade de N proveniente dos fertilizantes marcados em cada órgão da cana, para assim determinar a eficiência de uso do N marcado, pela relação entre a quantidade de nitrogênio absorvido pela planta e a quantidade de N aplicada no solo via fertilizante marcado.

Entretanto, a área experimental foi colhida no final da semana que antecedeu o dia previsto para a avaliação do ensaio, por acidente, pela turma de colheita da Usina São Martinho.

### **3.7. Amostragem e Análise das Folhas**

Para análise das folhas das microparcelas, coletaram-se, a cada dois meses, as 10 folhas mais altas com aurícula visível (folha +1), mantendo-se a nervura central para a determinação de <sup>15</sup>N e de N-Total. Realizaram-se as amostragens nos dias 21/12/2005, 27/1/2006, 31/3/2006 e 30/5/2006.

No sexto e quarto mês, nas áreas experimentais das Usinas São Martinho e São Luis, respectivamente, coletaram-se amostras de todas as parcelas para análise foliar. Coletou-se o terço médio sem a nervura central da primeira folha com aurícula visível (+1), sendo que uma amostra de cada parcela foi composta por 15 folhas.

As folhas amostradas foram armazenadas em sacos de papel identificados e levadas para o laboratório, onde foram lavadas com água destilada e uma pequena quantidade de detergente, enxaguadas em água destilada até a remoção total do detergente e, em seguida, secas em papel absorvente. Então, as amostras foram encaminhadas para estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 65° C e moídas com moinho do tipo Wiley com peneira de 1 mm de abertura. Depois, foram armazenadas em recipientes herméticos de vidro, até análise.

O N foi extraído por uma mistura digestora (sulfato de potássio + sulfato de cobre + selênio) e ácido sulfúrico. P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, e Zn foram extraídos por digestão nítrico-perclórica e o B foi extraído por meio de calcinação. As determinações analíticas foram realizadas de acordo com metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983). A determinação do N enriquecido foi feita por espectrometria de massa (HAUCK, 1982), no laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP, em Piracicaba-SP.

### **3.8. Colheita do Experimento e Análise Tecnológica**

Na colheita do experimento da área experimental na Usina São Luis, realizada dia 2 de novembro de 2006, pesaram-se os colmos de todas as linhas das parcelas, para obtenção da produção de colmos por hectare, representada por TCH (tonelada de colmos por hectare).

Os gastos com fertilizantes nitrogenados foram calculados em função do preço da uréia, uréia + NBPT, sulfato de amônio e gesso em dezembro de 2006. Os preços foram, respectivamente, R\$ 765,00, R\$ 857,00, R\$ 485,00 e R\$65,00 por tonelada de fertilizante. O preço pago pela tonelada de cana-de-açúcar correspondia a R\$52,85 (CONAB, 2006).

Em algumas parcelas do experimento instalado na Usina São Luis, colmos foram amostrados para a extração do caldo por prensa hidráulica. Foram obtidos o bagaço fibroso e o caldo, e nestes foram feitas às determinações dos parâmetros tecnológicos (°Brix, pol, açúcares redutores e fibra) conforme definido em SCHNEIDER (1979). As análises tecnológicas de teor de sólidos solúveis (°Brix), Pol do caldo (%), Pol da cana (%) e açúcar total recuperável (ATR) foram realizadas no laboratório da Usina São Luis, Pirassunga-SP.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Perdas de N-NH<sub>3</sub> por Volatilização

As figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização contabilizadas no momento da coleta, após a aplicação superficial dos fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar, no experimento instalado na Usina São Martinho e São Luis, respectivamente e apresentam a quantidade de chuva no período correspondente.

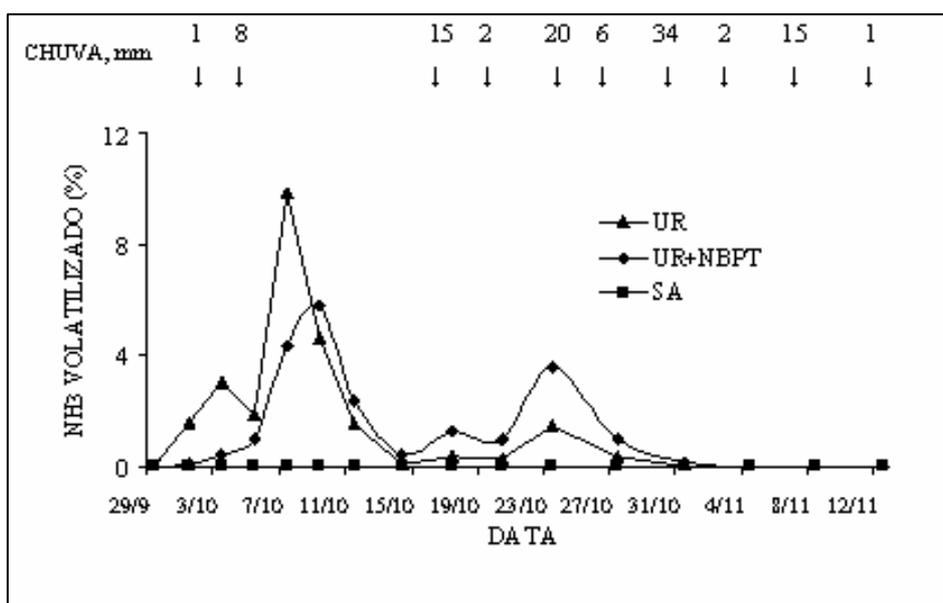


Figura 3. Perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização contabilizadas no momento da coleta, iniciada após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Martinho. Valores correspondem à média de quatro repetições. Barras verticais indicam a quantidade de chuva (mm) no período correspondente.

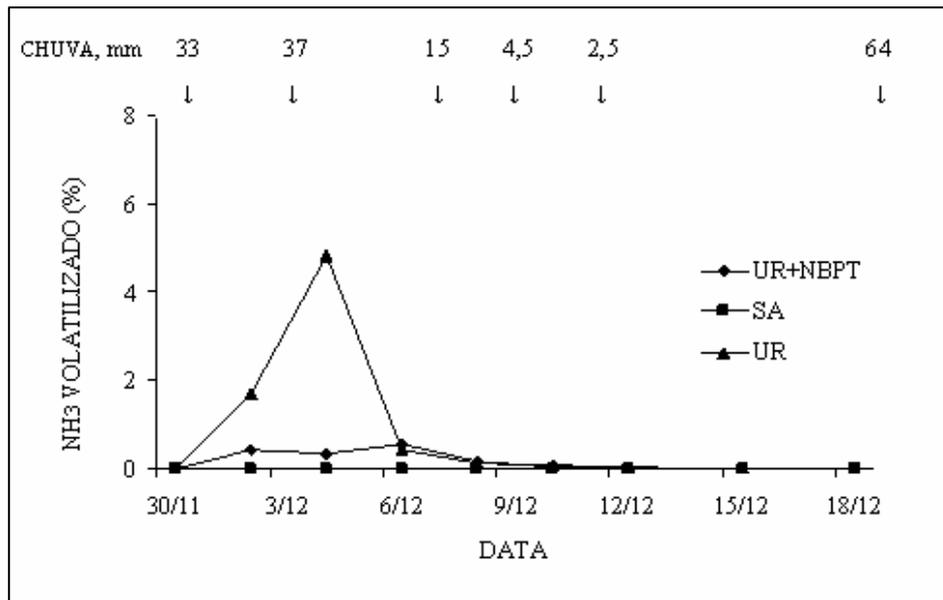


Figura 4. Perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização contabilizadas no momento da coleta, iniciada após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Luis. Valores correspondem à média de quatro repetições. Barras verticais indicam a quantidade de chuva (mm) no período correspondente.

As figuras 5 e 6 mostram as perdas cumulativas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização após a aplicação superficial dos fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar, no experimento instalado na Usina São Martinho e São Luis, respectivamente, e apresentam a quantidade de chuva (mm) no período correspondente.

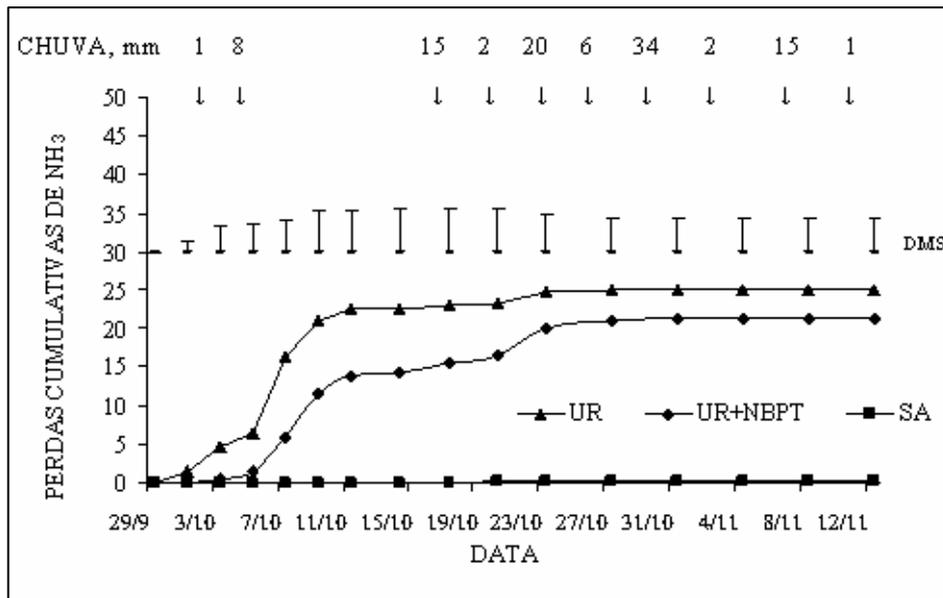


Figura 5. Perdas cumulativas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Martinho. Valores correspondem à média de quatro repetições. DMS: diferença mínima significativa entre as médias das fontes de nitrogênio, pelo teste de Tukey a 5% (barras verticais no centro). Barras verticais acima indicam a quantidade de chuva (mm) no período correspondente.

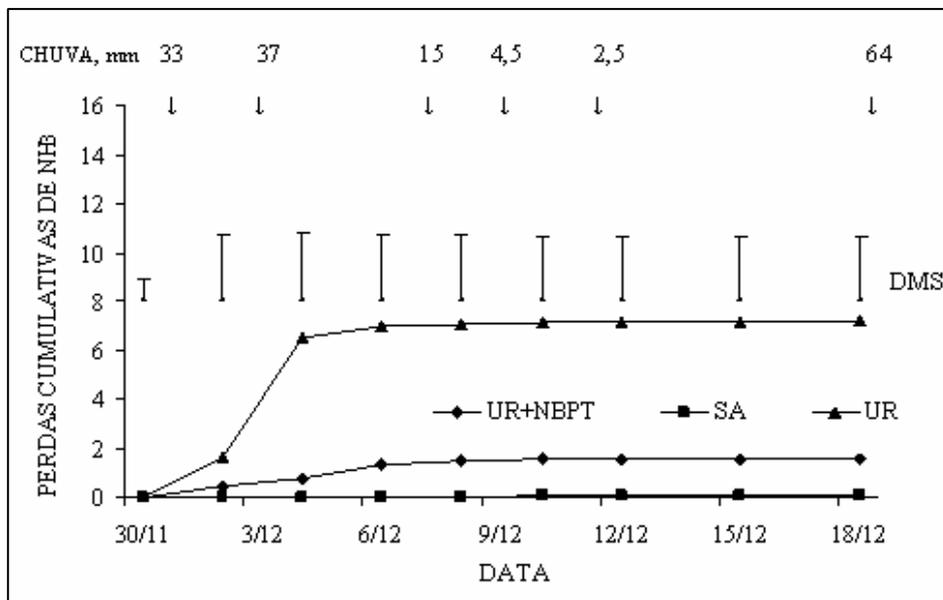


Figura 6. Perdas cumulativas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização após a aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados (UR, UR+NBPT, SA) em cana-de-açúcar e a quantidade de chuva no período correspondente, medidas em intervalos de 2 a 4 dias, no experimento instalado na Usina São Luis. Valores correspondem à média de quatro repetições. DMS: diferença mínima significativa entre as médias das fontes de nitrogênio, pelo teste de Tukey a 5% (barras verticais no centro). Barras verticais acima indicam a quantidade de chuva (mm) no período correspondente.

Os tratamentos fertilizados com sulfato de amônio ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e testemunhas (parcela sem aplicação de N), tanto no experimento instalado na Usina São Martinho quanto no experimento instalado na Usina São Luis, não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram perdas de  $\text{N-NH}_3$  por volatilização próxima de zero (Figuras 5, 6 e Anexos 5, 6). A baixa volatilização encontrada no tratamento adubado com sulfato de amônio pode ser explicada pelo fato deste não ser uma fonte de N sujeita a perda por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  quando aplicados em solos com pH inferior a 7 (CANTARELLA, 1998).

Perdas de  $\text{NH}_3$  em condições de solo úmido e altas temperaturas, típicas do verão brasileiro, geralmente apresentam pico no segundo ou terceiro dia após a adubação nitrogenada (CANTARELLA et al., 2003). Porém, condição de solo muito seco antes da instalação do experimento na Usina São Martinho resultou em baixas perdas até o 5º dia, após o que ocorreram chuvas de pequena intensidade (1 e 8 mm), as quais provavelmente não foram suficientes para incorporar a uréia ao solo, mas foram suficientes para estimular a hidrólise da uréia e aumentar as perdas de  $\text{NH}_3$ , obtendo-se o pico de perda no 8º dia. Em função de um novo período sem chuvas, a taxa de volatilização voltou a decrescer. A ocorrência de chuvas (15 e 2 mm) próximas ao 21º dia possibilitou um novo pico de perda, porém, menos acentuado. Observou-se que o inibidor reduziu a velocidade de volatilização de  $\text{NH}_3$ , uma vez que o tratamento UR+NBPT teve o pico de perda significativamente menor e retardado por 2 dias quando comparado à UR (Figura 3).

As perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização aumentaram gradativamente; no 8º dia, as parcelas tratadas com UR apresentaram perdas cumulativas de 16% do total de N aplicado, enquanto que para a UR+NBPT as perdas foram de 5,9%. Os resultados de perdas entre estes tratamentos diferiram estatisticamente somente até o 21º dia (23,3 e 16,6%; respectivamente); ao final do experimento (43º dia) as perdas entre UR e UR+NBPT foram de 25,1 e 21,3%, respectivamente (Figura 5). Embora o inibidor da urease tenha causado uma redução efetiva nas perdas de  $\text{NH}_3$  até o 4º ou 6º dia após a adubação (Figura 3) provavelmente por controlar a hidrólise da uréia, a baixa ocorrência de chuvas no início do experimento (9 mm) não foi suficiente para a incorporação dos fertilizantes ao solo (Figura 5).

Na área experimental da Usina São Luis o pico de perda de  $\text{NH}_3$  para UR ocorreu no 4º dia e foi mais acentuado quando comparado à UR+NBPT (Figura 4). Entretanto, as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização da UR foram pequenas. Ocorrências de

chuvas de 33 e 37 mm no 1<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> dias após a instalação do experimento provavelmente possibilitaram a incorporação das fontes amídicas ao solo, e por conseqüência menores perdas de NH<sub>3</sub> por volatilização. O volume de chuva foi suficiente para incorporar a UR+NBPT no período de efetiva inibição, por isso as perdas de NH<sub>3</sub> foram insignificantes. No 6<sup>o</sup> dia, as perdas cumulativas de NH<sub>3</sub> para UR e UR+NBPT foram de 6,9% e 1,4% e, ao final do experimento (20<sup>o</sup> dia) de 7,2 e 1,6%, respectivamente (Figura 6).

A maior ocorrência de chuvas na área da Usina São Luis em relação à Usina São Martinho explica a diferença de perda de NH<sub>3</sub> entre as mesmas fontes de N. A UR apresentou perdas totais de NH<sub>3</sub> por volatilização de 7,2 e 25,1% ao final dos experimentos, nas áreas experimentais da Usina São Luis e São Martinho, respectivamente, e perdas de 1,6 e 21,3% para UR+NBPT (Figuras 5 e 6).

A camada de palha sobre a superfície do solo em áreas colhidas sem a queima prévia favorece as perdas de NH<sub>3</sub> por volatilização, pois, além de promover a atividade ureolítica, funciona como uma barreira entre o solo e o N-fertilizante quando a aplicação é feita superficialmente. O NH<sub>3</sub> produzido pela hidrólise da uréia permanece junto aos restos vegetais, que, segundo PRAMMANEE et al. (1989), apresentam baixa capacidade de retenção da amônia.

A adição de água tem influência direta sobre a hidrólise, promove o aumento da difusão da uréia e conseqüentemente maior contato com a urease do solo (SAVANT et al., 1987). CANTARELLA et al. (1999) relataram que a uréia aplicada sobre a palha de cana-de-açúcar em condições de campo, nas doses 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentaram perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> de 12 e 30 %, respectivamente, concluindo que quando as chuvas não eram suficientes para incorporar a uréia ao solo, as taxas de volatilização eram mais acentuadas. OLIVEIRA et al. (1999) verificaram que a uréia aplicada sobre a palha de cana-de-açúcar apresentou perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização próxima a 40 % e COSTA et al. (2003) obtiveram perdas de 35% de N-NH<sub>3</sub> volatilizado. A maior parte da perda ocorreu nos seis primeiros dias após a instalação do experimento. Os autores concluíram que uma chuva de 58 mm ocorrida 3 dias antes da instalação do experimento e outra chuva de 22 mm ocorrida 2 dias antes da instalação do experimento fizeram com que a palha e o solo apresentassem considerável umidade, contribuindo para aumento nas perdas de N-NH<sub>3</sub>.

Outro fator que favorece as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização é a camada de palha sobre a superfície do solo, em áreas colhidas sem a queima prévia, pois, além de

promover a atividade ureolítica, funciona como uma barreira entre o solo e o N-fertilizante quando a aplicação é feita superficialmente. Dessa forma, o N-NH<sub>3</sub> produzido pela hidrólise da uréia permanece junto aos restos vegetais, que, segundo PRAMMANEE et al. (1989), apresentam baixa capacidade de retenção da amônia.

A uréia aplicada ao solo é rapidamente hidrolisada em 2 ou 3 dias e a taxa de hidrólise depende da temperatura do solo, umidade, quantidade e forma pela qual a uréia é aplicada. A vantagem em aplicar uréia com o inibidor da urease é que o inibidor possibilita o atraso da hidrólise da uréia. Ele ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima, retarda o início e reduz a velocidade de volatilização de N-NH<sub>3</sub> (BYRES, 2000). Assim, o fertilizante pode permanecer mais tempo no solo à espera de uma chuva, por exemplo, para que possa ser deslocado para horizontes mais profundos do solo. Uma das condições que mais favorece a eficiência do NBPT é a ocorrência de chuvas suficientes para incorporar a uréia ao solo em um intervalo de 3 a 7 dias após a adubação, reduzindo as perdas por volatilização de NH<sub>3</sub>.

Na Usina São Martinho, chuvas insuficientes para incorporar a uréia estimularam as perdas de NH<sub>3</sub> por fornecer a umidade necessária à hidrólise (FRENEY et al., 1992). Na Usina São Luis, a ocorrência de chuvas suficientes para incorporar a uréia ao solo retardou as perdas por volatilização. Nos dois experimentos instalados observou-se que o inibidor da urease foi eficiente em retardar a hidrólise da uréia, tanto na ausência quanto em condição de chuva, quando aplicados em cobertura.

## 4.2. Análise Foliar de Nitrogênio

A análise foliar realizada no quarto mês após a instalação do experimento na Usina São Luis, em Santa Rita do Passa Quarto, referente aos macronutrientes, encontra-se na tabela 6.

Tabela 6. Teores foliares referentes ao experimento instalado na Usina São Luis.

Tratamento	Dose	N	K	P	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup> de N	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
Uréia	0	16,6	10,0	1,7	4,1	1,6
	50	14,4	11,0	1,9	4,5	1,9
	100	17,3	11,0	1,8	4,1	1,8
	150	16,8	10,2	1,7	4,2	1,8
Uréia + NBPT	0	15,2	10,0	1,6	4,1	1,6
	50	17,4	10,6	1,7	4,2	1,7
	100	18,7	10,2	1,8	4,4	1,9
	150	18,3	11,0	1,8	4,5	1,7
Sulfato de amônio	0	16,3	10,0	1,6	4,1	1,6
	50	16,5	10,2	1,7	3,7	1,6
	100	18,1	9,9	1,7	4,2	1,9
	150	16,8	10,2	1,7	4,1	1,8
Pr>F (fonte)		0,39	0,40	0,22	0,24	0,78
Pr>F (dose)		0,11	0,46	0,15	0,67	0,12
Pr>F (fonte*dose)		0,60	0,73	0,80	0,45	0,57
C.V.(%)		13	9	7	11	12
Média		16,9	10,4	1,7	4,2	1,7

Valores correspondem às médias de quatro repetições. C.V.: coeficiente de variação. Coletou-se o terço médio sem a nervura central da primeira folha com aurícula visível (+1) e uma amostra de cada parcela era composta por 15 folhas. A amostragem das folhas foi realizada no quarto mês após a instalação do experimento. Determinações analíticas realizadas de acordo com metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).

A tabela 7 apresenta os resultados da análise foliar dos macronutrientes realizada na soqueira de cana-de-açúcar no sexto mês após a instalação do experimento, os resultados referem-se ao experimento instalado na Usina São Martinho (Pradópolis).

Tabela 7. Teores foliares referentes ao experimento instalado na Usina São Martinho.

Tratamento	Dose	N	K	P	Ca	Mg	S
	kg ha <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
Uréia	0	19,5	11,5	1,7	3,0	1,6	1,4
	50	16,7	12,4	1,7	2,9	1,5	1,4
	100	16,9	12,0	1,7	2,8	1,6	1,6
	150	18,9	11,6	1,6	2,9	1,5	1,5
Uréia + NBPT	0	17,4	12,2	1,8	2,9	1,5	1,6
	50	16,5	11,1	1,7	3,0	1,7	1,5
	100	15,3	11,1	1,6	3,4	1,7	1,4
	150	16,0	11,9	1,7	3,0	1,6	1,5
Sulfato de amônio	0	17,0	11,7	1,7	2,7	1,5	1,5
	50	16,4	12,1	1,7	3,2	1,6	1,5
	100	16,5	11,6	1,6	2,7	1,5	1,4
	150	17,8	12,6	1,8	2,7	1,5	1,5
Pr>F (fonte)		0,48	0,35	0,99	0,13	0,56	0,80
Pr>F (dose)		0,50	0,62	0,18	0,73	0,57	0,55
Pr>F (fonte*dose)		0,75	0,19	0,20	0,15	0,28	0,17
C.V.(%)		13	7	7	11	9	9
Média		17,2	11,8	1,7	3,0	1,6	1,5

Valores correspondem às médias de quatro repetições; C.V.: coeficiente de variação; coletou-se o terço médio sem a nervura central da primeira folha com aurícula visível (+1) e uma amostra de cada parcela era composta por 15 folhas. A amostragem das folhas foi realizada no sexto mês após a instalação do experimento. Determinações analíticas realizadas de acordo com metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).

As análises de variância, apresentadas nas tabelas 6 e 7, mostraram que nos dois experimentos instalados não houve interação significativa entre fontes e doses, bem como o efeito de fonte ou dose sobre os teores foliares dos macronutrientes. Os teores de macronutrientes resultantes da análise do tecido foliar estão dentro dos valores considerados adequados, com exceção para o cálcio, que, no experimento instalado na Usina São Luis, encontra-se abaixo de  $4 \text{ g kg}^{-1}$ , valor considerado inadequado por MALAVOLTA et al. (1997).

A tabela 8 mostra as médias dos teores foliares de N-total e a tabela 9 mostra as médias da abundância isotópica do nitrogênio marcado ( $^{15}\text{N}$ ) nas folhas das microparcelas e a porcentagem de N na planta derivada do fertilizante (NPPF), calculada pela porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso na planta e pela porcentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso no fertilizante.

Tabela 8. Teores foliares de N-total nas microparcelas, nas diferentes épocas amostradas. Experimento instalado na Usina São Martinho (dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N).

Tratamento	Data da coleta			
	21/12/2005	27/1/2006	31/3/2006	30/5/2006
	-----g kg <sup>-1</sup> de N-----			
Testemunha	10,6a	14,3a	16,6a	11,7ab
Uréia	12,3a	14,4a	14,0a	11,8ab
Uréia + NBPT	11,5a	13,8a	13,5a	11,1b
Sulfato de amônio	12,5a	14,2a	13,7a	12,2a
Valor F	2	1	1	4
C.V. (%)	9	8	5	4
D.M.S.	2,08	2,17	1,44	0,93

Médias de quatro repetições contidas em colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (nível de significância de 10 %);

C.V.: coeficiente de variação;

DMS: diferença mínima significativa entre as médias das fontes de nitrogênio. Coletaram-se as 10 folhas mais altas com colarinho visível (folha +1) de cada microparcela, mantendo-se a nervura central, para realização da análise foliar de nitrogênio;

Determinações analíticas realizadas de acordo com metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).

Tabela 9. Abundância em  $^{15}\text{N}$  nas folhas das microparcelas e porcentagem de  $^{15}\text{N}$  na planta derivada do fertilizante, nas diferentes épocas amostradas (dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). Experimento instalado na Usina São Martinho.

Tratamento	Data da coleta			
	21/12/2005	27/1/2006	31/3/2006	30/5/2006
	-----% $^{15}\text{N}$ -----			
Testemunha	0,42c	0,43c	0,37c	0,38c
Uréia	1,96b	1,48b	1,31b	1,04b
Uréia+NBPT	2,07b	1,55b	1,36b	1,13ab
Sulfato de amônio	2,72a	2,25a	1,92a	1,45a
C.V. (%)	17	20	17	19
	-----% NPPF-----			
Uréia	33,6b	23,5b	20,3b	14,2b
Uréia+NBPT	35,9b	25,9b	21,7b	16,1b
Sulfato de amônio	50,3a	29,8a	33,5a	23,2a
C.V. (%)	19	18	20	25

Médias de quatro repetições contidas em colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (nível de significância de 10 %).

% NPPF: ( $\% \text{ de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso na planta} / \% \text{ de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso no fertilizante}$ )x100.

C.V.: coeficiente de variação.

Coletaram-se as 10 folhas mais altas com colarinho visível (folha +1) de cada microparcela, mantendo-se a nervura central, para realização da análise foliar de nitrogênio.

Determinação do N enriquecido feita por espectrometria de massa (HAUCK, 1982).

Os resultados obtidos nas tabelas 8 e 9 mostram que os teores de nitrogênio foram praticamente iguais durante os primeiros meses entre as fontes uréia e uréia + NBPT. Na tabela 9, os mesmos valores obtidos entre os tratamentos fertilizados com uréia e uréia + NBPT podem ser explicados pela baixa ocorrência de chuva no início do experimento e pela cultura da cana-de-açúcar utilizar grande parte do N proveniente do solo. O SA apresentou maior %NPPF (% de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante), em comparação às fontes UR e UR+NBPT.

O inibidor da urease, ao prevenir a rápida hidrólise, aumenta as chances de que chuvas incorporem a uréia ao solo. Também reduzem o pico de alcalinização, permitindo mais tempo para a interação do  $\text{N-NH}_3$  com o solo e a redução das perdas gasosas, dessa forma, existe uma tendência do inibidor da urease auxiliar o aumento dos teores de nitrogênio nas folhas.

O inibidor foi eficiente em retardar a hidrólise da uréia, mas não houve incorporação do fertilizante por causa da baixa ocorrência de chuvas no início da instalação do experimento da Usina São Martinho. As perdas cumulativas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização diferiram até o 21<sup>o</sup> dia, mas não diferiram ao final do experimento (Figura 5) e os teores foliares de N foram próximos (Tabela 8). A ausência de diferenças significativas para o teor de N foliar entre as fontes testadas pode ser explicada pelo fato da cultura da cana-de-açúcar utilizar grande parte do N proveniente do solo. A eficiência de uso do N fertilizante em cana-de-açúcar, expressa em termos da porcentagem do N contido no fertilizante aplicado que é absorvida pela cultura, é relativamente baixa, de 28 a 40% (TRIVELIN et al., 1995; VITTI, 2003). A baixa recuperação do N fertilizante pode tornar a análise foliar pouco sensível aos estudos que visam comparar fontes e modos de aplicação de N em cana-de-açúcar (HAAG et al., 1987).

TRIVELIN et al. (1996) e GAVA et al. (2001) verificaram que existe boa correlação entre a porcentagem de <sup>15</sup>N nas folhas com o enriquecimento na planta toda. Assim, é possível considerar que os dados da tabela 9, calculados a partir da análise das folhas, refletem a contribuição do N do fertilizante para o N contido em toda planta. O decréscimo, com o tempo, do N na planta proveniente do fertilizante (Tabela 9) está de acordo com os dados obtidos por TRIVELIN et al. (1996) e por GAVA et al. (2001), os quais verificaram que do 4<sup>o</sup> ao 9<sup>o</sup> mês após a adubação, houve tendência de menor acúmulo de N na planta derivado do fertilizante, mostrando que a absorção do N-fertilizante em cana-de-açúcar é maior no início do ciclo e que posteriormente predomina a absorção do N do solo, em função da imobilização microbiológica do N do fertilizante aplicado e do longo período em que a cultura se desenvolve.

Os dados de enriquecimento isotópico (<sup>15</sup>N) nas folhas de cana coletadas de dezembro de 2005 a maio de 2006 (Tabela 9) são compatíveis com os dados de perdas por volatilização (Figura 5), havendo correlação negativa entre a porcentagem de N-NH<sub>3</sub> volatilizado e abundância de <sup>15</sup>N nas folhas (Anexos 1 a 4). No início do experimento o tratamento UR+NBPT resultou em menores perdas de NH<sub>3</sub> por volatilização, as quais posteriormente tenderam a se igualar às da UR. O enriquecimento de <sup>15</sup>N nas plantas tratadas com UR+NBPT (2,07, 1,55, 1,36, 1,13%, da 1<sup>a</sup> à 4<sup>a</sup> coleta, respectivamente) foi numericamente superior ao das plantas que receberam UR (1,96, 1,48, 1,31, 1,04%, da 1<sup>a</sup> à 4<sup>a</sup> coleta, respectivamente) em todas as amostragens, bem como os valores de % NPPF, mas as diferenças não foram significativas

estatisticamente (Tabela 9). Fertilizantes nitrogenados contendo N amoniacal estão poucos sujeitos a perda por volatilização de  $\text{NH}_3$  quando aplicados na superfície de solos de reação ácida. Tal fato explica os maiores valores de abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$  (2,72, 2,25, 1,92, 1,45%, da 1ª à 4ª coleta, respectivamente) e %NPPF para o SA.

Existe um potencial de fornecimento de nitrogênio do solo para a cultura da cana-de-açúcar, uma vez que o teor foliar de N da parcela testemunha não diferiu dos demais tratamentos (Tabela 8). A cana-de-açúcar, devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante, é uma planta eficiente em aproveitar o N do solo. TRIVELIN et al. (1995) e VITTI (2003), em estudos com fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$ , relataram que os fertilizantes nitrogenados contribuem com 20 a 40% do nitrogênio absorvido pela planta e concluíram que a maior parte do N absorvido pela planta vem do solo. Dessa forma, o destino de grande parte do fertilizante nitrogenado é o solo, onde o nutriente se incorpora ao estoque de N da matéria orgânica.

### 4.3. Produção de Colmos

A tabela 10, referente ao experimento instalado na Usina São Luis, expressa os valores das doses de N e produção de colmos de cana-de-açúcar por hectare.

Tabela 10. Resposta de cana-de-açúcar à aplicação de N em cobertura, 3 fontes e 4 doses. Experimento instalado na Usina São Luis.

Tratamento	Dose	Produção
	kg ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>
Uréia	0	89
	50	109
	100	113
	150	112
Uréia +	0	104
NBPT	50	103
	100	104
	150	110
Sulfato de amônio	0	97
	50	100
	100	122
	150	104
Pr>F (fonte)		0,35
Pr>F (dose)		0,02
Pr>F (fonte*dose)		0,54
C.V.(%)		14
Pr>F Regr. do 1º grau		0,33
C.V.(%)		16
Pr>F Regr. do 2º grau		0,42
C.V.(%)		17
Média		106

C.V.(%): coeficiente de variação.

Conforme a tabela 10, a análise de variância não mostrou diferença no rendimento da soqueira de cana-de-açúcar em função dos fertilizantes nitrogenados empregados, ou seja, a cana-de-açúcar respondeu da mesma forma quando se aplicou

sulfato de amônio, uréia e uréia + NBPT como fontes de nitrogênio, aplicados em cobertura.

A falta de resposta às diferentes fontes de N utilizadas (Tabela 10) pode ser explicada pelo fato da cana-de-açúcar apresentar uma baixa recuperação do N-fertilizante, porém, com a aplicação do fertilizante houve aumento do nitrogênio proveniente do fertilizante na folha e observou-se resposta significativa na produção de colmos com aumento das doses dos fertilizantes nitrogenados. Os dados referentes à eficiência aparente do N-fertilizante em função da dose empregada estão expressos na tabela 11.

Tabela 11. Produção média de colmos em quatro doses de N, incremento de produção e eficiência aparente do N-fertilizante. Experimento instalado na Usina São Luis.

Dose de N	Produção média <sup>(1)</sup>	Incremento de produção <sup>(2)</sup>	E.A.F. <sup>(3)</sup>
kg ha <sup>-1</sup>	-----t ha <sup>-1</sup> -----	-----	(kg kg <sup>-1</sup> )
0	97	---	---
50	104	7	140
100	113	16	160
150	109	12	80

<sup>(1)</sup> Média dos tratamentos uréia, uréia + NBPT e sulfato de amônio, nas respectivas doses.

<sup>(2)</sup> Incremento de produção em relação ao tratamento testemunha (sem N).

<sup>(3)</sup> E.A.F.: eficiência aparente do fertilizante (incremento da produção de colmo em kg por kg de N aplicado).

Utilizou-se o índice de eficiência aparente do fertilizante para avaliar a eficiência da soqueira de cana-de-açúcar em transformar o N em produção de colmos. Esse índice relaciona o incremento da produção de colmo em kg ha<sup>-1</sup> de N aplicado, em relação N aplicado em kg ha<sup>-1</sup>. Assim, quanto maior for o índice, maior a eficiência em transformar o N em produção (Tabela 11).

A aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N incrementou a produção de colmos em 7 t ha<sup>-1</sup>, em relação às parcelas não adubadas. Para as doses de 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> houve incremento de 16 e 12 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Obtiveram-se valores de eficiência aparente do N fertilizante de 140, 160 e 80 kg kg<sup>-1</sup> respectivamente, para as doses 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N. A maior eficiência aparente do N fertilizante foi obtida com a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 11).

Ajustaram-se os valores da tabela 11 à equação do primeiro grau, referente à resposta linear, obtendo-se a equação: TCH = 0,09x + 98,85, R<sup>2</sup>= 0,70 (TCH: tonelada

de colmos por hectare). Encontrou-se resposta linear até a dose máxima utilizada (150 kg ha<sup>-1</sup>), entretanto, os ganhos em produção a partir da dose 100 kg ha<sup>-1</sup> foram baixos. Quanto maior o potencial de produção de fitomassa do cultivar, maior a necessidade de N. ORLANDO FILHO et al. (1999) encontraram respostas lineares até 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em vários experimentos de campo, porém, a partir de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N os aumentos de rendimentos são relativamente pequenos (ESPIRONELO et al., 1987).

A curva de produção de colmos de cana-de-açúcar em função da dose de fertilizante nitrogenado aplicado é expressa na figura 7. Construiu-se a curva de resposta com a equação do polinômio de 2º grau para representar o efeito do fertilizante nitrogenado sobre a produção de colmos. O modelo polinomial de segundo grau proporcionou melhor ajuste.

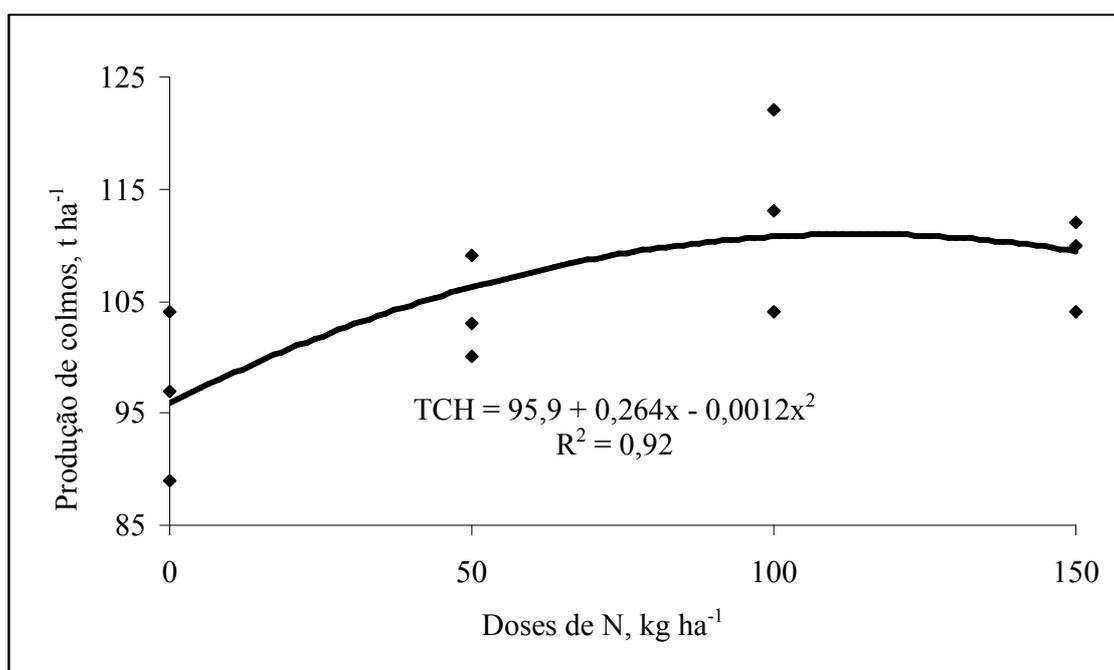


Figura 7. Produção de colmos (t ha<sup>-1</sup>) em relação às doses crescentes de N. Experimento realizado na Usina São Luis. TCH: toneladas de colmos por hectare.

Pela primeira derivada da equação quadrática da curva ( $TCH = 95,9 + 0,264x - 0,0012x^2$ ) foi possível calcular os valores das doses de N aplicado para a máxima eficiência física e econômica. A equação derivada correspondente é a seguinte:  $dy/dx = 0,264 + 2 \cdot 0,0012x$ . Igualou-se a equação a zero e obteve-se a dose de N para máxima eficiência física: 110 kg ha<sup>-1</sup> de N.

O valor de máxima eficiência econômica (M.E.E.) foi calculado considerando o preço dos fertilizantes nitrogenados (uréia: R\$ 765,00; uréia + NBPT: R\$ 857,00, sulfato de amônio: R\$ 485,00 e gesso: R\$ 65,00 tonelada do fertilizante) e o valor da tonelada de cana-de-açúcar, R\$ 52,85 em dezembro de 2006 (CONAB, 2006), como constam na tabela 12.

Tabela 12. Preço da tonelada dos fertilizantes nitrogenados, quilo do N, relação de preços e máxima eficiência econômica, de acordo com o preço da tonelada da cana-de-açúcar. Experimento instalado na Usina São Luis.

Fertilizantes	R\$ t <sup>-1</sup>	R\$ kg <sup>-1</sup> de N	Relação dos preços	M.E.E. (kg ha <sup>-1</sup> )
(Uréia) + gesso	765,00 + 65,00	1,80	0,0340	96
(Uréia+NBPT) + gesso	857,00 + 65,00	2,00	0,0378	94
Sulfato de amônio	485,00	2,31	0,0437	92
Cana-de-açúcar	52,85			

Preços referentes a dezembro de 2006.  
 Relação dos preços: R\$ kg<sup>-1</sup> de N/ R\$ t<sup>-1</sup> de cana.  
 M.E.E.: máxima eficiência econômica.

Como o quilo de N da uréia + gesso era equivalente a R\$ 1,80, utilizaram-se os valores da equação derivada para encontrar a máxima eficiência econômica:

$$\text{M.E.E.}_{\text{uréia}}: 0,264 - 2 \cdot 0,0012x = 0,0340$$

Encontrou-se, para a uréia, valor de máxima eficiência econômica igual a 96 kg ha<sup>-1</sup> de N. O mesmo cálculo foi realizado para se encontrar o valor da máxima eficiência econômica no emprego do sulfato de amônio, sendo o quilo do N equivalente a R\$ 2,31 (Tabela 12):

$$\text{M.E.E.}_{\text{SA}}: 0,264 - 2 \cdot 0,0012x = 0,0437$$

Encontrou-se, para o SA, máxima eficiência econômica igual a 92 kg ha<sup>-1</sup> de N e para a uréia + NBPT, 94 kg ha<sup>-1</sup> de N, com o preço do quilo de N equivalente a R\$ 2,00. Os valores encontrados para as diferentes fontes de N foram muito próximos, ressaltando os mesmos resultados obtidos em produção quando se utilizou diferentes fertilizantes nitrogenados (Tabela 12). O SA, por ser a fonte de N mais cara, obteve menor valor para dose para máxima eficiência econômica.

Foram altos os valores de produção de colmos, apesar de o estudo ter sido realizado com a terceira soqueira de cana-de-açúcar (Tabela 10). A alta produtividade da cultura da cana-de-açúcar pode ser atribuída a cultivar utilizada, bem como fatores do clima, do solo, das práticas de manejo aplicadas e principalmente pela utilização do nitrogênio do solo pela cana-de-açúcar, pelas chuvas abundantes durante o ano e pelo abastecimento do reservatório de N do solo através da fertilização nitrogenada.

Em estudos utilizando-se adubos marcados com  $^{15}\text{N}$ , GAVA et al. (2003) encontraram valores de recuperação do N-fertilizante entre 13 e 22% e TRIVELIN et al. (1995) de 40%. A cana-de-açúcar é eficiente em aproveitar o N do solo devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante. Isso explicaria a alta produtividade da terceira soqueira. Alguns autores constataram que grande parte do N absorvido pela planta é proveniente do solo, sendo baixa a contribuição dos fertilizantes nitrogenados em relação ao N total absorvido. Assim, segundo GAVA et al. (2003) e VITTI (2003), 32 a 37% do N-fertilizante tem como destino o solo, onde o N é incorporado à matéria orgânica.

A presença da palha na superfície do solo, em soqueiras manejadas sem despalha a fogo, contribui para a menor recuperação do N-fertilizante pela cana-de-açúcar. Aparentemente a palhada faz aumentar o volume de chuva necessário para a efetiva incorporação do fertilizante. A explicação pela maior necessidade de água para incorporar a uréia ao solo, em sistemas com muita palha, é que a água desce por canais preferenciais formados pela estruturação espacial dos materiais grosseiramente picados e não consegue dissolver e arrastar eficazmente toda a uréia para o solo, pois parte desta fica protegida sob a palha (FRENEY et al., 1994). As chuvas ocorridas na primeira semana após a instalação do experimento na Usina São Luis totalizaram aproximadamente 85 mm, suficientes para incorporar os fertilizantes nitrogenados ao solo e reduzir as perdas por volatilização a valores próximos de 8% e 1%, para uréia e uréia + NBPT, respectivamente.

O manejo sem despalha a fogo pode contribuir, em longo prazo, para a manutenção do estoque de N no solo, conservando o nitrogênio no sistema solo-planta. Os resíduos de ponteiros e folhas secas variam de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca e têm relação C:N superior a 100, com conteúdo de N entre 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup>, porém a taxa de mineralização desta palhada depositada ao solo é lenta. FARONI et al. (2003) observaram que a quantidade de matéria seca que permanecia no solo após um ano era de 40 a 50%, mas, com uma relação C:N mais estreita, sendo de 85 a C:N inicial e 34 a

C:N final. É relativamente baixa a quantidade de N fornecida pela palhada durante um ciclo agrícola, de 3 a 30% (FARONI et al., 2003; BASANTA et al., 2002; VITTI, 2003) e o N proveniente da palhada absorvido pela cana-de-açúcar normalmente varia entre 5 e 10% (CHAPMAN et al, 1992; GAVA et al., 2003, VITTI, 2003). Dessa forma, segundo VITTI (2003), o N da palha durante um ciclo agrícola é pouco significativo para a nutrição direta da cana-de-açúcar em relação ao fertilizante que está disponível após sua aplicação, pois a maior parte do N da palhada abastece o estoque do solo.

Em longo prazo, o solo pode acumular N orgânico quando a cana é manejada sem despalha a fogo, mas, em curto prazo, o aporte de resíduos com alta relação C:N pode aumentar a demanda por N mineral. Também pode ocorrer, temporariamente, imobilização do N-fertilizante pela palhada. Os dados da tabela 11 mostram que a soqueira de cana-de-açúcar respondeu positivamente a adubação nitrogenada, observa-se um aumento de 16% na produção de colmos quando se aplicou 100 kg ha<sup>-1</sup>.

A importância da adubação nitrogenada pode ser ressaltada em trabalho realizado por CARDOSO (2002). O autor relata que no ano agrícola de 1998/99 houve uma redução na adubação nitrogenada da terceira soca, por motivos econômicos (100 para 30 kg ha<sup>-1</sup> de N), resultando numa queda de 30% na produção, representando 40 t ha<sup>-1</sup> em relação à segunda soca. No ano de 1999/00, ao retornar a adubação para 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, ocorreu um aumento na produtividade de 20 t ha<sup>-1</sup> do colmo em relação ao ano anterior.

A diminuição das reservas de N do solo ao longo dos ciclos e o tempo necessário para a formação do reservatório de N fazem com que a soqueira de cana-de-açúcar seja dependente da adubação nitrogenada. Assim, se em determinado ano não for realizada a adubação da soqueira de cana-de-açúcar com nitrogênio, não será apenas a produtividade daquela safra afetada, mas o efeito ocorreria nos anos seguintes, com reflexo na sua longevidade.

Como não houve diferença entre as fontes nitrogenadas empregadas (Tabela 10), para as condições do experimento instalado na Usina São Luis, no final do mês de novembro, onde foi alta a ocorrência de chuva, o ideal seria empregar a fonte de N com menor preço (Tabela 12), no caso, a uréia.

A ocorrência de chuvas suficientes para incorporar a uréia ao solo em um intervalo de 3 a 7 dias após a adubação é a condição que mais favorece a eficiência do NBPT em reduzir as perdas por volatilização de NH<sub>3</sub>. As chuvas ocorridas durante os primeiros 3 dias após a instalação do experimento da Usina São Luis (33 e 37 mm) e

durante todo o experimento foram suficientes para incorporar tanto a UR+NBPT quanto a UR, mantendo baixas as perdas cumulativas de  $\text{NH}_3$ , que foram de 1,6 e 7,2% para UR+NBPT e UR, respectivamente, não havendo diferença entre estas fontes quanto à produtividade, por isso, para as condições deste ensaio, seria ideal a utilização da fonte UR.

O lucro bruto devido à adubação nitrogenada (valor do aumento de rendimento de colmos estimado pela equação de curva de resposta à N menos o custo dos fertilizantes em suas doses de maior retorno) variou de R\$ 582  $\text{ha}^{-1}$  para a UR, R\$ 563  $\text{ha}^{-1}$  para UR+NBPT e R\$ 534  $\text{ha}^{-1}$  para o SA. O custo do NBPT foi de aproximadamente R\$ 19  $\text{ha}^{-1}$ . Deve-se considerar que, no caso do presente ensaio, as perdas por volatilização com o uso da UR foram pequenas em função das condições climáticas, e inferiores às geralmente relatadas na literatura. O uso do NBPT pode se tornar economicamente viável em situações em que as perdas de N com a aplicação de uréia sejam altas e as condições climáticas favoreçam a redução das perdas pelo inibidor.

#### 4.4. Produção de Sacarose

Em algumas parcelas do experimento instalado na Usina São Luis, colmos foram amostrados para a extração do caldo por prensa hidráulica. A tabela 13 apresenta a análise tecnológica dos colmos amostrados das parcelas. Os dados foram fornecidos pelo laboratório da Usina São Luis.

Tabela 13. Análise tecnológica da cana-de-açúcar. Experimento instalado na Usina São Luis.

Tratamento	Dose kg ha <sup>-1</sup> de N	°Brix	Pol caldo	Pol cana	ATR	
		------(%)-----	-----	-----	kg t <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>
Uréia	0	20,0	18,5	15,6	148	13,2
	50	20,0	18,7	15,7	148	16,1
	100	19,1	17,5	5,0	143	16,2
	150	20,5	18,8	16,1	153	17,1
Uréia +	0	20,0	18,5	15,7	148	15,4
	50	19,3	17,9	15,1	143	14,7
NBPT	100	19,7	18,1	15,4	146	15,2
	150	19,6	18,9	16,1	152	16,7
Sulfato de	0	20,5	19,1	16,2	153	14,8
	50	20,0	18,6	15,7	149	14,9
amônio	100	19,7	17,9	15,4	142	17,3
	150	19,9	18,3	15,6	148	15,4

Brix: porcentagem de sólidos solúveis do caldo; Pol: teor de sacarose; ATR: açúcar total recuperável (kg t<sup>-1</sup> de cana).

Média de 2 repetições de cada tratamento, não se realizou a análise estatística.

A qualidade da matéria-prima expressa em kg de ATR por tonelada de cana-de-açúcar, oscilou entre 143 kg a 153 kg. Verifica-se que os valores estão acima de 121,97, valor mínimo para se atribuir ágio ou deságio no pagamento do colmo de cana-de-açúcar. CAMPANHÃO (2003), ao estudar o manejo da soqueira da cana-de-açúcar, verificou que o ATR do caldo foi maior no tratamento com cana colhida sem queima e

não observou diferença significativa desta variável em relação ao cultivo do solo. MANECHINI (1997) verificou que os valores de ATR foram, na maioria dos casos, semelhantes aos da cana queimada colhida manualmente.

Em 15 experimentos realizados na região Nordeste, SOBRAL & LIRA (1983) não verificaram efeito da adubação nitrogenada sobre o teor de sacarose aplicando dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N. AZEREDO et al. (1986) aplicaram doses de 0, 60, 120, e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N e notaram que a adubação nitrogenada não alterou o teor de sacarose da cana. ORLANDO FILHO & RODELLA (1996), também concluíram que a qualidade do caldo não foi influenciada pela adubação nitrogenada. Os valores de produção de açúcar por hectare estão presentes na figura 7.

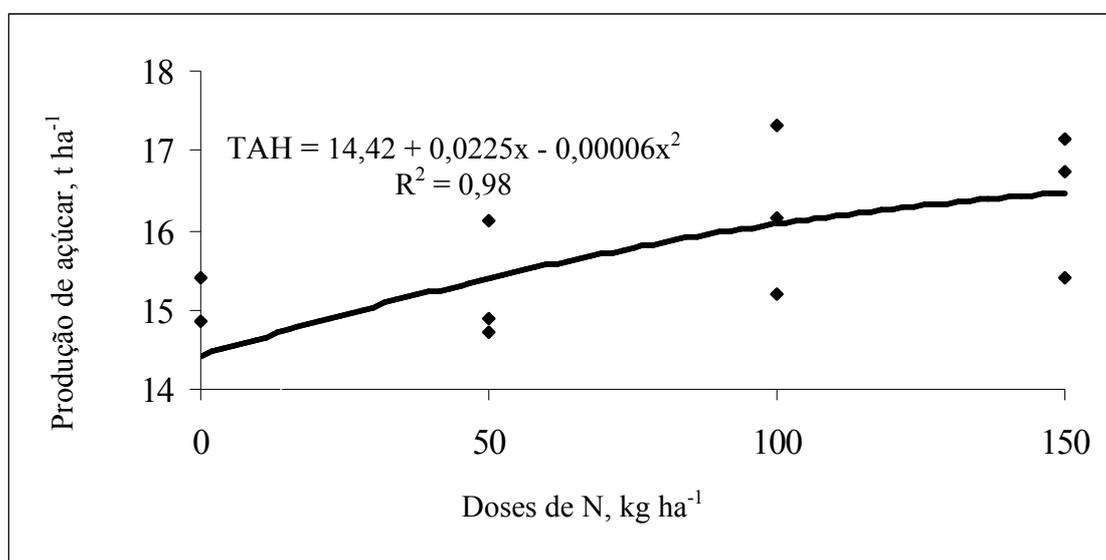


Figura 8. Produção de açúcar (t ha<sup>-1</sup>) em relação às doses crescentes de N. Experimento realizado na Usina São Luis. TAH: toneladas de açúcar por hectare.

AZEREDO et al. (1986) relatou que há muita variabilidade nos resultados de pesquisas da influência do N na qualidade do caldo da cana, tendo observado ausência do efeito, efeito positivo e efeito depressivo, principalmente com doses elevadas de N.

Aparentemente, na área experimental da Usina São Luis, o aumento das doses de nitrogênio contribuiu para o aumento da quantidade de açúcar por hectare, estando de acordo com os valores obtidos por KORNDORFER & MARTINS (1992), que verificaram, em vários experimentos conduzidos no Brasil, diminuição no teor de sacarose (pol %), mas a quantidade de açúcar produzido por hectare foi maior quando se aplicou N.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- a) A adição de NBPT à uréia provocou o retardamento do início da volatilização de  $\text{NH}_3$  e a redução da quantidade de N perdida no período de mais intensa volatilização.
- b) As perdas cumulativas de  $\text{NH}_3$  em cerca de 40 dias de avaliação só diferiram entre a UR e a UR+NBPT quando houve chuva suficiente para incorporar o fertilizante ao solo.
- c) As doses de N para máxima eficiência econômica para a cana-de-açúcar variaram de 92 a 96  $\text{kg ha}^{-1}$  de N.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSANO, E.A.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G.M.B.; SCHAMMASS, E.A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P.C.D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, p.534-542, 2005.

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

AUDE, M. I. S.; MARCHEZAN, E.; DARIVA, T.; PIGNATARO, I. H. B. Manejo do palhço da cana-de-açúcar: 1. Efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agrônômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 281-286, 1993.

AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, M.; VIEIRA, J. R. Nitrogênio em cana planta, doses e fracionamento. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, p. 26-32, 1986.

BANERJEE, M. R.; BURTON, D.J.; GRANT, C.A. Influence of urea fertilization and urease inhibitors on the size and activity of soil microbial biomass under conventional and zero tillage at two sites. **Canadian Journal of Soil Science**. v.79, p. 255-263, 1999.

BARRIE, A. & PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope mass spectrometry. In: BOUTTON, W.T.; YAMASAKI, S. (ed). Mass spectrometry of soils. New York, Marcel Dekker, p. 1-47, 1996.

BASANTA, M.V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M. ; TRIVELIN, P. C. O. ; TIMM, L. C.; TOMINAGA, T. T.; CORRECHEL, V.; CASSARO, F. A. M. Eficiência no uso do nitrogênio em relação ao manejo dos resíduos da cana de açúcar. In: Cong. Nac. da Soc. dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8., Recife, Anais: STAB, p. 665-676, 2002.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônômico, Campinas. 48 p. (Boletim Técnico, 78), 1983.

BENDASSOLLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O.; IGNOTO, R.F. Produção de amônia anidra e aquamônia enriquecida em  $^{15}\text{N}$  a partir de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 9, n.3, p.595-603, 2002.

BEYROUTY, C.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. **Soil Science Society of America Journal**. v. 52, p.1173-1178, 1988.

BREMNER, J. M. & CHAY, H. S. Evaluation of N-butyl phosphorotic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.35, p.191-199, 1986.

BRONSON, K.F.; TOUCHTON, J.T.; HILTBOLD, A.E.; HENDRICKSON, L.L. Control of ammonia volatilization with N- (n-butyl) thiofosphoric triamide in loamy sands. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 20, p.1439-1459, 1989.

BYRNES, B.H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: International Fertilizer Development Center, Fertilizer manual, Kluwer Academic, Alabama, p.20-44, 2000.

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

CAMPANHÃO, J.L. Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida à queima acidental da palhada remanescente da colheita mecanizada. 2003. Dissertação (de Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2003.

CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada em sistema de cana crua. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.16, p.21-22, 1998.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: Congresso Nacional da STAB, 7., Londrina, p.82-87, 1999.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; BOLONHEZI, D; ROSSETO, R., BORTOLETTO, N.; PEREIRA, J. C.; VILA, N. A. Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) tiophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions. Technical report, Campinas, Instituto Agrônômico e Fundag, 2002.

CANTARELLA, H; MATTOS JR, D. de; QUAGGIO, J. A.; RIGOLIN, A. T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 67, n. 3, p. 205-213, 2003.

CARDOSO, F. P. Plantio direto em cana-de-açúcar. **Direto do Cerrado**, v.7, n.26, p.4, 2002.

CARMONA G., CHRISTIANSON C.B., BYRNES B.H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor *N-n*-butyl thiophosphoric triamide (NBPT) on ammonia volatilization from urea. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 7, p. 933-937, 1990.

CARNAÚBA, B.A.A. Eficiência de utilização e efeito residual da uréia - <sup>15</sup>N em cana-de-açúcar (*Saccharum* pp.), em condições de campo. Dissertação (de Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1989.

CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C.; SAFFIGNA, P.G. N cycling in cane fields from <sup>15</sup>N labelled trash and residual fertiliser. In: Australian Society Of Sugar Cane Technologists, 14., Proceedings, Brisbane, p.85-89, 1992.

CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C.; SAFFIGNA, P.G. The recovery of <sup>15</sup>N from labeled urea fertilizer in crop components of sugarcane and in soil profiles. **Australian Journal of Agricultural Research**. v.45, p.1577-1585, 1994.

CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**. v. 26, p. 21-27, 1990.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE J. C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R., Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB83-5486 e SP81-3250. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n.5, p. 32-36, 2006.

CONAB– COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2\\_levantamento\\_cana\\_safra\\_2006\\_07.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2_levantamento_cana_safra_2006_07.pdf) (dezembro de 2006).

COSTA, M. C. G., VITTI, G. C. e CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p.631-637, 2003.

DILLEWIJN, C. Botany of sugarcane. Waltham, The Chronica Botanica, v.1, p.53-58, 1952.

DOBBIE, K.E.; MCTAGGART, I.P.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**. v.104, n. 21, p. 26891-26899, 1999.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solo, Rio de Janeiro, 2ª edição, 306 p., 2006,

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. Nutrição Mineral de plantas: princípios e perspectivas. Trad. M.E.T. Nunes. Londrina: Editora Planta, 403p., 2006.

ESPIRONELLO, A.; CAMARGO, A. P.; NAGAI, V.; LEPSCH, I. F. Efeito de nitrogênio e fósforo como complementação de vinhaça em soca de cana-de-açúcar. In: Cong. Nac. da Soc. dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2., Rio de Janeiro. Anais: STAB, p. 128-139, 1981.

ESPIRONELO, A.; COSTA, A. A.; LANDELL, M. G. A; PEREIRA, J.C.V.A.; IGUE, T.; CAMARGO, A. P.; RAMOS, M. T. B. Adubação em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n.2, p. 247-268, 1987.

ESPIRONELLO, A; RAIJ, B. Van, PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Boletim 100, Fundação IAC, Campinas, p. 237-239, 1996.

FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; MANZONI, C.S.; PENATTI, C.P.; TRIVELIN, P.C.O. Degradação da palha (<sup>15</sup>N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos (Compact disc). In: Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 29., 2003, Ribeirão Preto. Resumos. CD-Rom.

FRENEY, J.R.; DEANMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HURNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 31, p. 341-349, 1992.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G. Ammonia loss following urea addition to sugar cane trash blankets. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**. p. 114-121, 1994.

GAVA, G.J.C. Utilização do nitrogênio da uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e da palhada ( $^{15}\text{N}$ ) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo. Dissertação (de Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; Perdas de amônia proveniente da mistura de vinhaça e uréia aplicada ao solo com e sem cobertura de palha de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.19, n.3. p. 40-42, 2001a.

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**, Brasília, v.36, n.11, p. 1347-1354, 2001b.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Balanço do nitrogênio da uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e da palhada ( $^{15}\text{N}$ ) no sistema solo-cana-de-açúcar (cana-soca). In: Cong. Nac. da Soc. dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8., Recife. Anais: STAB, p.245-251, 2002.

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

GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L. V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**. v.36, n.2, p. 129-135, 2002.

HARGROVE, W.L.; KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of urea in the field and laboratory. **Soil Science Society of America Journal**. v. 43, p.359-363, 1979.

HAAG, H.P.; DECHEN, A.R. & CARMELLO, Q.A.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. coord. Cana-de-açúcar cultivo e utilização. Campinas, Fundação Cargill, p. 88-162, 1987.

HAUCK, R.D. Nitrogen - Isotope ratio analysis. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D. R. *Methods of Soil Analysis* (2 ed.). Madison, ASA. p. 735- 802, 1982.

HENDRICKSON, L.L. Corn yield response to the urease inhibitor NBPT: five year summary. **Journal of Production Agriculture**. v. 5, p. 131-137, 1992.

HUMBERT, R.P. Planting of sugar cane. In: HUMBET, R.P. *The growing of sugar cane*. Amsterdam, Elsevier, p.103-130, 1968.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. A guide to the use of nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition: calculations and interpretation of data. IAEA, Vienna, Áustria, 1983.

KIEHL, J. C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 75-80, 1989.

KOŁODZIEJ, A.F. The chemistry of nickel-containing enzymes. **Progress in inorganic chemistry**. v. 41, p. 493-598, 1994.

KORNDORFER, G. H.; MARTINS, M. Importância da Adubação na Qualidade da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, n. 3, p. 26-31, 1992.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 2ª edição, 319 p., 1997.

MANECHINI, C. Manejo agrônômico da cana crua. In: Seminário de Tecnologia Agrônômica Copersucar, 7., 1997, Piracicaba, Anais: Centro de Tecnologia Copersucar., p.309-327, 1997.

MOBLEY, H.L.T.; HAUSINGER, R. P. Microbial ureases: Significant, regulation, and molecular characterization. **Microbiology Reviews**. v. 53, p. 85-108, 1989.

NOMMIK, H. Assessment of volatilization loss of ammonia from surface-applied urea on forest soil by N<sup>15</sup> recovery. **Plant and Soil**, v.38, p.589-603, 1973.

OLIVEIRA, M. W. Dinâmica do nitrogênio da uréia (<sup>15</sup>N) no sistema solo-cana-de-açúcar com ou sem queima da palhada. Tese (de Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

ORLANDO FILHO, J.; Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. In.: Coleção Planalsucar, 2., Iaa/ Planalsucar, Rio de Janeiro, 368 p.,1983.

ORLANDO FILHO, J.; CARMELLO, Q.A.C.; PEXE, C.A.; GLORIA, A.N. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.12, n. 4, p. 7-11, 1994.

ORLANDO FILHO, J. & RODELLA, A. A. Doses e fracionamento de nitrogênio e potássio em cana-planta em solo arenoso sob primeiro cultivo. In: Anais Congresso Nacional da STAB, 6., Maceió, p. 517-520, 1996.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n.4, p.39-41, 1999.

OVERREIN, L.N. & MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.31, p. 57-61, 1967.

PRAMMANEE, P.; SAFFIGNA, P.G., WOOD, A.W. Loss of nitrogen from urea and ammonium sulfate applied to sugar cane crop residues. In: Australian Society Of Sugarcane Technologists, 11, Proceedings. Mackay, Watson Ferguson, p.76-84, 1989.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Potafos/Ceres, 285 p.,1991.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2<sup>a</sup>. ed., Campinas, Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 285 p., 1997.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 285 p., 2001.

RAWLUK, C. D. L.; GRANT, A. C.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 81, p 239-246, 2001.

ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Research**. v. 48, p.11-25, 1996.

SAVANT, N.K.; JAMES, A.F.; McCLEAN, G.H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 11, p. 231-243, 1987.

SCHLEGEL, A.J.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. **Agronomy Journal**. v. 78, p. 1007-1012, 1986.

SCHNEIDER, F. Sugar analysis methods. Peterborough: ICUMSA, 256 p.,1979.

SILVA, C. A.; VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461-2471, 2000.

SOBRAL, A. F.; LIRA, L.J.A. Adubação nitrogenada em cana-planta no Nordeste do Brasil. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.1, p. 29-34, 1983.

TERMAN, G.L. Yield and protein content of wheat grain as affected by cultivar, N, and environmental growth factors. **Agronomy Journal**. v. 71, p. 437-440, 1979.

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-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1375-1385, 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-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte I: Estabilidade química da mistura. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.16, n.2, p.26-29, 1997.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W.; MURAOKA, T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte II. Perdas por volatilização de amônia e recuperação do <sup>15</sup>N aplicado ao solo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 3, p. 23-26, 1998.

TRIVELIN, P. C. O. Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com uso do traçador <sup>15</sup>N. . Tese (de Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p.637-646, 2002b.

VALLIS, I.; KEATING, B.A. Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, Conferência, p. 105-113, 1994.

VITTI, G.C.; TAVARES, J.E.; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L.; COSTA, M.C.G. Influencia da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p.663-671, 2002.

VITTI, A. C. Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem prévia: manejo e efeito na produtividade. Tese (de Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados sobre a palha. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 5, p. 30-35, 2005.

VITTORI ANTISARI, L.; MARZADORI, C.; GIOACCHINI, P.; RICCI, S.; GESSA, C. Effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) phosphorothioic triamide in low concentrations on ammonia volatilization and evolution of mineral nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**. v. 22, p. 196-201,1996.

WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J.; ALLEN, M.B.D.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 26, p. 1165-1171, 1994.

WATSON, C.J.; POLAND, P.; ALLEN, M.B.D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperature grassland. **Grass and forage science**. v. 53, p. 137-145, 1998.

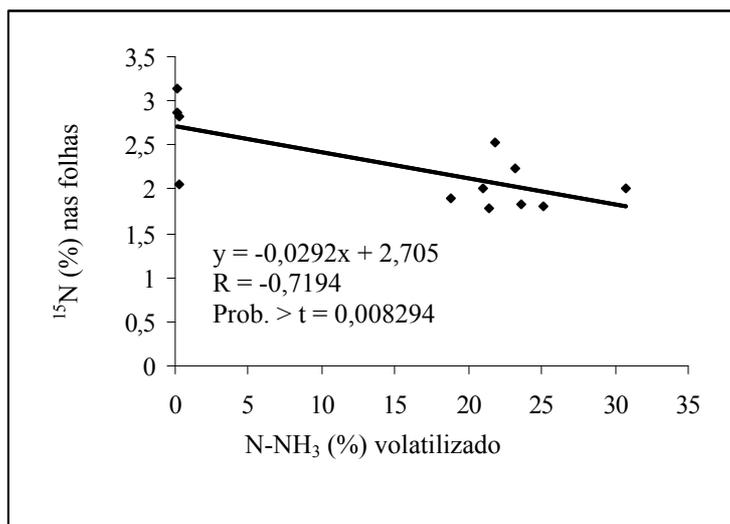
WATSON, C.J. Urease activity and inhibition – Principles and practice. In: The International Fertilizer Society Meeting, London, The International Fertilizer Society, Proceedings, n. 454, 39 p., 2000.

WENG, T.; CHAN, Y.; LI, S.W. Effects of various forms of nitrogen fertilizers and application methods on sugarcane yield and nitrogen uptake. **Taiwan Sugar**, v. 38, n.6, p. 22-24, 1991.

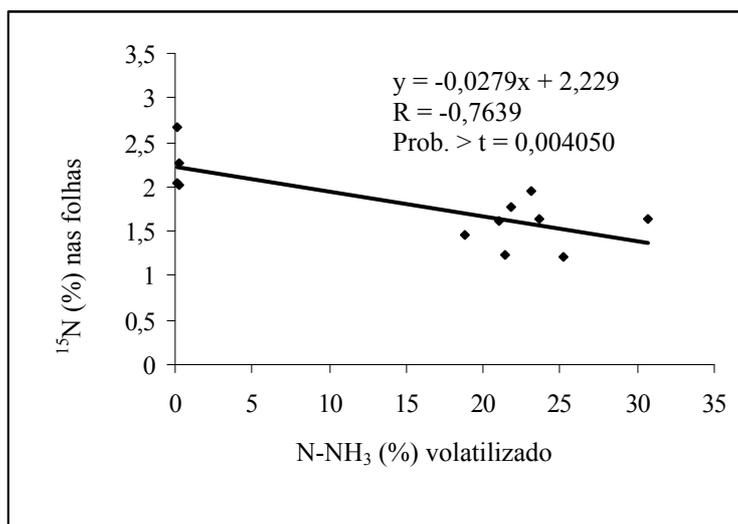
WOOD, A. W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in North Queensland. **Soil and Tillage Research**. v. 20, p. 69-85, 1991.

ZAMBELLO JR. E.; ORLANDO FILHO, J. A adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v.3, n.3, 1981.

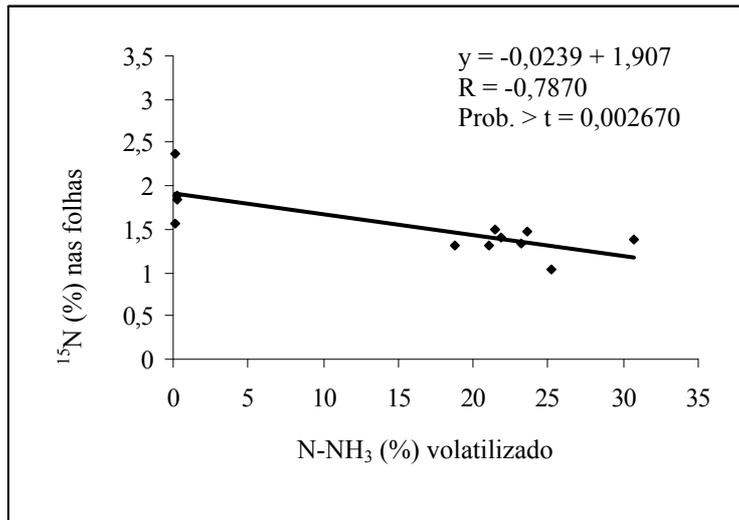
## ANEXOS



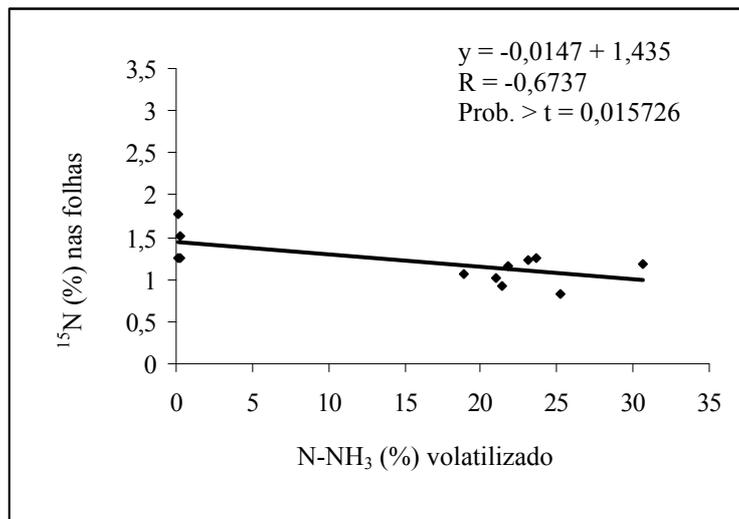
**Anexo 1.** Correlação negativa entre N-NH<sub>3</sub> (%) volatilizada e abundância de <sup>15</sup>N (%) nas folhas. Primeira coleta (12/2005). Usina São Martinho. Coletaram-se as 10 folhas mais altas com colarinho visível (folha +1) de cada microparcela, mantendo-se a nervura central. Determinação do N enriquecido feita por espectrometria de massa (HAUCK, 1982).



**Anexo 2.** Correlação negativa entre N-NH<sub>3</sub> (%) volatilizada e abundância de <sup>15</sup>N (%) nas folhas. Segunda coleta (1/2006). Usina São Martinho. Coletaram-se as 10 folhas mais altas com colarinho visível (folha +1) de cada microparcela, mantendo-se a nervura central. Determinação do N enriquecido feita por espectrometria de massa (HAUCK, 1982).



**Anexo 3.** Correlação negativa entre N-NH<sub>3</sub> (%) volatilizada e abundancia de <sup>15</sup>N (%) nas folhas. Terceira coleta (3/2006). Usina São Martinho. Coletaram-se as 10 folhas mais altas com colarinho visível (folha +1) de cada microparcela, mantendo-se a nervura central. Determinação do N enriquecido feita por espectrometria de massa (HAUCK, 1982).



**Anexo 4.** Correlação negativa entre N-NH<sub>3</sub> (%) volatilizada e abundancia de <sup>15</sup>N (%) nas folhas. Quarta coleta (5/2006). Usina São Martinho. Coletaram-se as 10 folhas mais altas com colarinho visível (folha +1) de cada microparcela, mantendo-se a nervura central. Determinação do N enriquecido feita por espectrometria de massa (HAUCK, 1982).

**Anexo 5.** Perdas cumulativas de N-NH<sub>3</sub> e precipitação (mm) referentes ao experimento instalado na Usina São Martinho (Pradópolis), nas parcelas fertilizadas com dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Tratamento	Data da coleta															
	29/9	1/10	3/10	5/10	7/10	9/10	11/10	14/10	17/10	20/10	23/10	27/10	31/10	4/11	8/11	12/11
	-----N-NH <sub>3</sub> (%)-----															
Uréia + NBPT Sulfato de amônio	-	0,05b	0,50b	1,48b	5,85b	11,61b	13,93b	14,38b	15,60b	16,59b	20,16a	21,15a	21,30a	21,30a	21,30a	21,32a
Uréia	-	1,58a	4,65a	6,54a	16,40a	21,02a	22,55a	22,61a	22,98a	23,26a	24,72a	25,06a	25,08a	25,09a	25,09a	25,12a
Testemunha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chuva (mm)	-	-	1,2	8	-	-	-	-	15	2,1	20	5,7	34,1	1,9	15,3	1,1
Valor F		3,13	4,90	7,50	34,85	36,16	42,63	42,07	44,11	46,17	71,91	94,61	93,63	94,05	94,23	94,47
C.V.(%)		1,65	1,18	0,82	0,33	0,29	0,26	0,26	0,25	0,24	0,19	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
D.M.S.		1,53	3,44	3,76	4,23	5,47	5,5	5,58	5,61	5,61	4,95	4,42	4,44	4,44	4,44	4,44

Médias de quatro repetições contidas em colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (nível de significância de 5 %). C.V.: coeficiente de variação. D.M.S.: Diferença Mínima Significativa.

**Anexo 6.** Perdas cumulativas de N-NH<sub>3</sub> e precipitação (mm) referentes ao experimento instalado na Usina Luis (Santa Rita do Passa Quatro), nas parcelas fertilizadas com dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Tratamento	Data da coleta									
	29/12	1/12	3/12	5/12	7/12	9/12	11/12	13/12	16/12	19/12
	-----N-NH <sub>3</sub> (%)-----									
Uréia + NBPT	-	0,44b	0,78b	1,35b	1,51b	1,54b	1,58b	1,58b	1,59b	1,59b
Sulfato de amônio	-	0,01b	0,02b	0,04b	0,04b	0,05b	0,07b	0,06b	0,07b	0,07b
Uréia	-	1,68a	6,52a	6,94a	7,06a	7,13a	7,17a	7,17a	7,19a	7,20a
Testemunha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chuva (mm)	-	33,1	36,9	-	15,3	4,5	2,5	-	-	63,7
Valor F		1,16	0,96	0,85	0,99	1,02	1,05	1,05	1,04	1,05
C.V.(%)		83,19	67,56	62,29	58,14	56,64	55,53	55,42	55,21	54,09
D.M.S.		0,97	2,72	2,86	2,76	2,72	2,70	2,70	2,70	2,68

Médias de quatro repetições contidas em colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (nível de significância de 5 %). C.V.: coeficiente de variação. D.M.S.: Diferença Mínima Significativa.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)