

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem
queima**

Carlos Antonio Costa do Nascimento

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2012**

Carlos Antonio Costa do Nascimento
Engenheiro Agrônomo

Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **GODOFREDO CESAR VITTI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Nascimento, Carlos Antonio Costa do

Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima /
Carlos Antonio Costa do Nascimento. - - versão revisada de acordo com a resolução
CoPGr 6018 de 2011. -- Piracicaba, 2012.

71 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Adubação 2. Cana-de-açúcar 3. Fertilizantes nitrogenados 4. Nutrição vegetal 5.
Uréia I. Título

CDD 633.61
N244u

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico,

Aos meus pais,

João do Nascimento e Maria das Graças Costa do Nascimento, pelo amor incondicional, pelos princípios passados, pela paixão pela minha vida e principalmente, por não desistirem de mim. Tudo que faço é para honrar vocês!

Aos meus irmãos,

Alison e Everson Costa do Nascimento, pela credibilidade, pelo companheirismo, sobre tudo, por serem ótimos filhos aos meus pais.

Ao meu complemento,

Marília Souza Ferreira, que é muito mais que noiva... É compreensão, calma, dedicação, cumplicidade, amor muito além do que mereço. Te amo!

Ofereço,

A Deus.

À Sociedade, principalmente às crianças de hoje e às que vão nascer!

AGRADECIMENTOS

*Ao meu Senhor e Amigo, **Jesus Cristo**, por transformar a minha vida, permitindo que O conhecesse. Por me fazer feliz de verdade, me dar liberdade e me mostrar que nada é impossível ao que crê! Tudo é dEle, por Ele e para Ele, para sempre! Sei que sem a comunhão com a **Trindade Santa**, esta conquista não seria possível. **Espírito Santo**, obrigado por sempre falar ao meu coração!*

*Ao orientador e amigo, **Prof. Vitti**, pelo estímulo, pelos conhecimentos passados e, principalmente, me fazer acreditar que é possível ter sucesso sem deixar de ser humano!*

*À **Evinha** (Letícia), amizade para toda a vida, com toda a certeza, Deus preparou nossa amizade! Não existem palavras para explicar você e seu cuidado!*

*Ao meu irmão, **Max**, pelo cuidado, sinceridade, confiança, enfim, por ser muito mais que um amigo. Ganhaste um irmão para toda vida!*

*Ao cara com o coração do tamanho do mundo, **Dudú** (Eduardo Zavaschi), por se torna um irmão e por me passar sua sabedoria!*

*Ao **Ba-t-ria** (Thiago) por ser, além de amigo, entusiasta, e acreditar em mim!*

*Aos amigos, **Cintia, Diego, Edson, Elaine**, por serem companheiros em todos os momentos, vocês são demais!*

*À **Fernanda Latanze**, pela amizade, apoio e paciência! Sem você não seria possível finalizar este trabalho!*

*À **Silvia Helena**, pela amizade, paciência e carinho!*

*Ao chef, **Conan**, pelo companheirismo e amizade. E por fazer refeições dignas de reis.*

*Ao **Marcos**, pelo companheirismo e amizade. E por me fazer rir, com suas frases inusitadas.*

*Às minhas maninhas, **Thalita e Roberta**, pelo carinho, amizade, sobre tudo, pela confiança!*

*Aos companheiros **Roque, Marújo, Adilson e Jaedson**, pelo acolhimento e por me ter proporcionado os 15 melhores dias da minha vida em Piracicaba!*

*A **Aline Zampar, Carol Brandani, Lúciola, Ellen Viegas, Mariana Durigan e Simone Magalhães** pelo carinho e respeito!*

*Ao **GAPE**, por todo apoio, com certeza a realização deste trabalho seria muito mais difícil sem vocês. Vocês são incríveis!*

*Aos **Vencedores em Cristo**, por me receberem tão bem e me ajudarem a manter a fé!*

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - **CNPq**, pela bolsa de estudos concedida.*

*À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo – **FAPESP**, pelo apoio financeiro (processo 2010/06962-0).*

*A **Fertilizantes Heringer** e a **Raízen**, pelo apoio técnico.*

*À **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP**, ao departamento de **Ciência do Solo** e ao **Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição Plantas**, pela infra-estrutura e oportunidade concedida.*

*A todos os **amigos e familiares** que participaram ou participam da minha viagem por esta estrada chamada vida!*

Deus abençoe a todos!

***“Bom é o sal, mas, se ele degenerar, com
que se adubará?”
(Lc. 14:34)***

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar.....	17
2.2 Nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar	18
2.3 Fertilizantes nitrogenados e suas perdas em sistemas com palha sobre o solo	21
2.4 Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Local e variedade.....	28
3.2 Características químicas e físicas do solo.....	29
3.3 Caracterização das fontes nitrogenadas e adubação da soqueira.....	30
3.4 Características químicas da palhada	30
3.5 Quantificação das perdas de N-NH ₃ por volatilização	30
3.6 Determinação de N-NO ₃ ⁻ , N-NH ₄ ⁺ e S-SO ₄ ⁻² no solo.....	33
3.7 Determinação da concentração de nutriente na diagnose foliar	34
3.8 Determinação dos atributos produtivos e tecnológicos	34
3.9 Determinação de exportação de nutrientes	34
3.10 Análises estatísticas	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Perdas de N-NH ₃ por volatilização	36
4.2 N-NO ₃ ⁻ e N-NH ₄ ⁺ no solo.....	43
4.3 Teores de nutrientes na diagnose foliar em função das fontes de nitrogênio	48
4.4 Exportação de nutrientes na forma de colmo	52
4.5 Produtividade e parâmetros tecnológicos	55
5 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59

RESUMO

Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima

A adubação nitrogenada é um dos principais componentes na formação do custo de produção, devido ao elevado preço dos fertilizantes juntamente com a baixa eficiência dos mesmos, que no caso da ureia, é resultante principalmente das perdas por volatilização, que se intensifica em sistemas de cultivo com preservação de restos culturais sobre o solo. Assim, objetivou-se avaliar a influência de diferentes fontes de nitrogênio, nas perdas de N-NH₃, nos teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo, no estado nutricional, no acúmulo de nutrientes no colmo, na produção e atributos tecnológicos da primeira soqueira da cana-de-açúcar, variedade SP83-2847, colhida sem queima prévia da palhada, conduzida entre setembro de 2010 e agosto de 2011, na região canavieira do município de Piracicaba-SP. O experimento foi composto por cinco fontes e um controle, em blocos ao acaso, analisados estatisticamente através de contrastes ortogonais. As fontes estudadas para fornecer dose de N igual a 120 kg ha⁻¹ foram: ureia, ureia revestida com enxofre, ureia revestida com ácido bórico e sulfato de cobre, nitrato e sulfato de amônio. A avaliação da volatilização de NH₃ foi realizada até os 22 dias após a adubação. Os teores de amônio e nitrato no solo foram avaliados em 4 épocas e 3 profundidades diferentes. A diagnose foliar da folha +1 foi realizada 4 meses após a adubação. O acúmulo de nutrientes no colmo, a produção e os atributos tecnológicos foram determinados por ocasião da colheita. A agregação de novas tecnologias à uréia resulta na redução das perdas de nitrogênio por volatilização de amônia. Contudo, as menores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia são encontradas com uso de nitrato e sulfato de amônio. A adição de substância prontamente acidificante (ácido bórico) à ureia é mais eficiente na redução das perdas por volatilização e na exportação de nutriente pela cana-de-açúcar, em relação à adição de substância com ação gradual de acidificação (enxofre elementar). O fornecimento de nitrogênio via fertilizantes convencionais, bem como pela ureia com tecnologia agregada, promoveu elevação dos teores de amônio e nitrato no solo, sendo que as amplitudes desses teores variaram de acordo com a fonte de nitrogênio. A adubação nitrogenada promove melhor estado nutricional para a cana-de-açúcar, independente da fonte utilizada. O estado nutricional da cultura, avaliado pela técnica de diagnose foliar, revelou teores de nutrientes dentro da faixa de suficiência, em todos os tratamentos, inclusive sem a aplicação de nitrogênio.

Palavras-chave: Amônio; Nitrato; Enxofre elementar; Acido bórico; Sulfato de cobre

ABSTRACT

Coated urea with S °, Cu and B in ratoon sugarcane harvested without burning

Nitrogen fertilization is one of the major components in the formation of production costs, due to the high prices of fertilizers along with their low efficiency, which in the case of urea comes mainly from the losses by volatilization, which are intensified in crop systems preserving crop residues over the soil surface. The objective of this work was to evaluate the influence of different nitrogen sources over the N-NH₃ losses, the NH₄⁺ and NO₃⁻ soil contents, the nutritional status, the nutrients accumulation in the stem, the yield and the technological attributes of the first sugarcane ratoon, SP83-2847 variety, harvested without prior burning of the stubble, was conducted between September 2010 and August 2011, in the sugarcane region of Piracicaba-SP. The experiment was composed by five nitrogen sources and one control treatment, in randomized blocks, statistically analyzed by orthogonal contrasts, using Tukey and Scott-Knot tests. The studied nitrogen sources, all providing 120 kg ha⁻¹ of N, were: urea, sulfur coated urea, urea coated by boric acid and copper sulfate, ammonium nitrate and ammonium sulfate. The NH₃ volatilization was evaluated until 22 days after the fertilization. Ammonium and nitrate contents in soil were evaluated in 4 periods and 3 depths. The leaf analysis in the Leaf +1 was held 4 months after fertilization. The accumulation of nutrients in the stem, the yield and technological attributes were determined at the harvest. The addition of new technologies to the urea, in this study, led to a reduction in the nitrogen losses by ammonia volatilization. The lower nitrogen losses by ammonia volatilization were found in the use of ammonium nitrate and ammonium sulfate. The addition of new technologies to the urea leads to a reduction in nitrogen losses by ammonia volatilization. However, the lowest nitrogen losses by ammonia volatilization are found using ammonium nitrate and ammonium sulfate. The addition of a readily acidifying substance (boric acid) to the urea is more efficient in the reduction of nitrogen losses by volatilization and in the nutrient exportation by the sugarcane, compared to the addition of a gradual acidifying action substance (elemental sulfur). Nitrogen supply through regular fertilizers or urea with added technology caused an increase in ammonia and nitrate contents in the soil, and their amplitudes vary according to the nitrogen source. Nitrogen fertilization provides a better nutritional status to the sugarcane, regardless of the nitrogen source used. The crop nutritional status, evaluated by leaf analysis, revealed that the nutrient levels are within the sufficiency range, in all treatments, even with no nitrogen application.

Keywords: Ammonium; Nitrate; Elemental sulfur; Boric acid; Copper sulphate

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar é uma das atividades mais importantes para o agronegócio brasileiro, sendo esta uma das principais matérias primas para a produção de açúcar e etanol. O açúcar é alimento de consumo básico e, portanto, demandado na dieta da maior parte da população mundial, exercendo assim grande influência na balança comercial. A produção de etanol ratifica sua importância, tornando a cana-de-açúcar, uma das culturas com maior área cultivada no Brasil.

No território brasileiro, a área plantada com cana-de-açúcar vem crescendo desde os tempos de Brasil colônia, entretanto, este crescimento se intensificou com a criação do Programa Nacional de Álcool – Pró-Álcool, quando o etanol deixou de ser considerado subproduto da produção de açúcar utilizado somente nos veículos das usinas e passou a ser considerado alternativa frente aos combustíveis fósseis. A entrada dos veículos flex em meados de 2003 no mercado, e o conseqüente aumento da demanda pelo etanol juntamente com a pressão da comunidade ambientalista mundial por combustíveis menos agressivos ao ambiente, fizeram com que os produtores investissem ainda mais na cultura.

Para atender a demanda mundial pelos produtos da indústria sucroenergética, que tende a crescer nos próximos anos, é necessário aumentar a produção de cana-de-açúcar, seja pela ampliação das áreas cultivadas ou pelo aumento da produtividade, sendo esse último a melhor opção, pois, a expansão dos canaviais, além de ser custosa, sofre retaliação tanto por parte da ordem mundial de preservação ambiental, quanto da demanda de áreas cultivadas com outras culturas.

Uma das principais práticas agrícolas para obter altas produtividades é a nutrição mineral das culturas sendo indispensável o fornecimento em quantidade, fonte e época adequada de todos os nutrientes necessários. A influência de cada nutriente na produtividade varia de cultura para cultura, sendo que para a cana-de-açúcar, o nitrogênio é o segundo nutriente que mais limita a produtividade, uma vez que esta cultura apresenta elevado acúmulo de matéria seca. Esse acúmulo é promovido pelo processo de fotossíntese onde se destaca a clorofila da qual o nitrogênio é componente do seu anel central.

O nitrogênio é utilizado pela cana-de-açúcar no processo fotossintético e para formação dos diversos compostos nitrogenados inerentes a ela. É fornecido quase em sua totalidade pelo solo, sendo parte oriunda da mineralização da matéria orgânica, parte da fixação biológica de nitrogênio e outra parte da adubação nitrogenada, tendo a ureia como o fertilizante mais utilizado. A adubação é um dos principais componentes na formação do

custo de produção, devido ao elevado preço dos fertilizantes juntamente com a baixa eficiência dos mesmos, que no caso da ureia, é resultante principalmente das perdas por volatilização, que se intensifica em sistemas de cultivo com preservação de restos culturais sobre o solo.

Com a finalidade de aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, tendo como foco a ureia, pelo seu menor custo por unidade de N, várias práticas têm sido adotadas, principalmente, o enterrio das mesmas. Entretanto, ações de manejo como essas são parcialmente, quando não totalmente, inaplicáveis dependendo da situação, restando como solução agregar tecnologia à ureia com a finalidade de gerar fertilizantes diferenciados que a superem, principalmente no quesito eficiência, e como bônus fornecer às culturas outros nutrientes como o enxofre, boro e cobre.

Objetivou-se avaliar a influência de diferentes fontes de nitrogênio, sobre as perdas de N-NH₃, nos teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ do solo, no estado nutricional, no acúmulo de nutrientes no colmo, na produção e atributos tecnológicos da primeira soqueira da cana-de-açúcar.

Com base nos argumentos anteriores formularam-se as seguintes hipóteses:

H 1: A agregação de tecnologia à ureia, ou a utilização de outras fontes de nitrogênio proporciona menores perdas do nutriente para o sistema, melhor estado nutricional da cultura, e conseqüentemente, eleva a produtividade.

H 2: O aproveitamento de nitrogênio pela soqueira é favorecido pelo uso de fontes amídicas revestidas, em relação ao uso de fontes amoniacais.

H 3: O efeito do revestimento da ureia com enxofre elementar é similar ao proporcionado pelo ácido bórico e sulfato de cobre, na dinâmica do N em soqueira sem despalha à fogo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância econômica da cana-de-açúcar

O Brasil é referência para outros países no setor sucroenergético, dominando o ciclo completo de produção de etanol. Líder mundial na produção de etanol oriundo da cana de açúcar, o país também é o principal produtor e exportador de açúcar do mundo, tendo os embarques desse produto, aumentado 50% em 2010. O País é responsável por 61,8% das exportações de açúcar proveniente da cana no mundo (BRASIL, 2011).

A área brasileira plantada de cana-de-açúcar em 2009 foi de 8,36 milhões de hectares produzindo mais de 680 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e mais de 33 milhões de toneladas de açúcar na safra 2009/2010, exportando aproximadamente 24 milhões de toneladas batendo recordes com mais de 9 bilhões de dólares em exportações com preços médios de US\$ 376 m⁻³ de açúcar. Segundo a previsão feita pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, a produção de açúcar passará dos 38 milhões de toneladas na safra 2010/2011. Para safra 2009/2010 mais de 25 milhões de m³ de etanol, rendendo mais de 1 bilhão de dólares só com a exportação (BRASIL, 2011).

A comercialização da energia excedente, gerada pela queima do bagaço, tem se tornado grande alavanca que ratifica a importância do setor sucroenergético para o agronegócio brasileiro, visto que a energia elétrica gerada nesse processo, na safra 2009/2010, já correspondia a mais de 5% da demanda nacional, podendo chegar a 9%, considerando a produção de bagaço da safra citada. A tendência da demanda por produtos do setor é aumentar, conseqüentemente, haverá aumento da produção de cana-de-açúcar, elevando assim a produção de bagaço, possibilitando maior geração e comercialização de energia (CONAB, 2011a).

Na safra 2010/2011, estima-se que mais de 8,4 milhões de hectares cultivados com cana-de-açúcar serão colhidos e destinados a indústria sucroenergética. O estado de São Paulo é o principal produtor com 52,6% da área cultivada, percentagem esta menor em relação às safras passadas, o que demonstra que o cultivo da cana-de-açúcar também está crescendo nas demais regiões do país, uma vez que a área nacional destinada à cultura aumentou, sendo que o total da área de expansão em todo país deve ficar em 621.505,5 ha para a safra 2011/2012 (CONAB, 2011b). Estimativas apontam que na safra 2015/2016 a área cultivada deverá atingir

12,2 milhões de hectares para atender a demanda por etanol e açúcar, que só tende a crescer (TORQUATO, 2006).

2.2 Nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar

O nitrogênio é o constituinte mais abundante dos cloroplastos. A maior parte do nitrogênio foliar está localizada nas proteínas solúveis do ciclo de Calvin e dos tilacóides, nos quais se localizam as clorofilas, os fotossistemas transportadores de elétrons e cofatores. Somente a enzima ribulose-bi-fosfatocarboxilaseoxigenase (Rubisco), que cataliza a fixação de carbono na ribulose-bifosfato, constitui entre 30 e 50% de todo o nitrogênio foliar, e forma aproximadamente 50% de toda proteína solúvel das plantas (LAWLOR, 1994).

Em condições de deficiência, o nitrogênio decresce o teor de umidade da planta, com consequente redução da qualidade do caldo, incrementa o teor de fibra, diminuindo a concentração de sacarose do colmo e há acúmulo de sacarose nas folhas. Em plantas com excesso de N, há acúmulo desse nutriente no colmo, decréscimo na qualidade do caldo e atraso na maturação (VITTI et al., 2008a). Resende e colaboradores (2006) verificaram que a aplicação de N afetou negativamente as características tecnológicas da cana-de-açúcar, entretanto, como acarretou ganho de produtividade de colmos, favoreceu a produção de açúcar, o que justifica sua utilização nas condições de estudo.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais extraídos pelas culturas, chegando, a cana-açúcar, extrair 112 a 280 kg ha⁻¹, provocando a ocorrência de interações não específicas com outros nutrientes, embora a relação mais comum seja com potássio, o N interage com outros nutrientes como o fósforo (P) e enxofre (S). A interação N e S deve ser levada em conta, pois, a utilização de fórmulas de fertilizantes concentradas sem S, tem muitas vezes, como consequência menor aproveitamento da adubação nitrogenada (CANTARELLA, 2007).

Franco e colaboradores (2007) verificaram o aumento linear significativo na produção de colmos em função das quantidades de N e S presentes na parte subterrânea (sistema radicular) da cultura no início do ciclo. As quantidades desses nutrientes foram diretamente relacionadas às doses de N aplicadas no ciclo anterior, e provocou efeito sinérgico do nitrogênio no acúmulo dos demais macronutrientes, em especial na parte subterrânea da cana-de-açúcar. Enfatizando a importância desse acúmulo, promove maior longevidade da lavoura canavieira, aliada a ganhos significativos em produtividade de colmos nas rebrotas subsequentes. No entanto, a cana tem mostrado que a eficiência da fertilização nitrogenada depende de uma série de fatores, tais como tipo de solo, cultura, fonte de N e clima. Da mesma forma, a fertilização da soca, segunda colheita, por exemplo, dependerá de quanto foi

aplicado e o saldo de N mineral no final da primeira soca (WEIDENFELD, 1997). Em revisão, Muchovej e Newman (2004), mostram que doses recomendadas de fertilizante nitrogenado, a produção de cana-de-açúcar varia entre 45 a 300 kg ha⁻¹ de N. Os referidos autores afirmam que a resposta à adubação nitrogenada ocorra mais em cana-soca do que na cana-planta, sendo que a dose adequada de N fertilizante para a cana em muitas áreas, varia de 100 a 200 kg ha⁻¹ de N.

As doses de N recomendada no estado de São Paulo para cana-soca variam entre 60 a 120 kg ha⁻¹ de N dependendo da produtividade esperada (RAIJ et al., 1997), pois a necessidade deste nutriente cresce com o potencial de produção de fitomassa. Vitti (2003) obteve resposta linear na produtividade de colmos para doses de N até 75 kg ha⁻¹ de N quando avaliou a produtividade da cana-soca colhida sem prévia queima da palhada. Contudo, o estudo em questão foi conduzido em solo com 90% de areia obtendo-se produtividade máxima aproximada de 80 t ha⁻¹ de colmo.

A adubação nitrogenada promove aumento da produtividade em cana-planta, como também é importante para a longevidade das soqueiras de cana-de-açúcar (KORNDÖRFER et al., 2002). Prado e Pancelli (2008), conduzindo a segunda soqueira de cana-de-açúcar, verificaram resposta linear da produção de colmos à adubação nitrogenada. Orlando Filho e colaboradores (1999) afirmam que devido ao maior vigor das soqueiras que leva ao aumento de produtividade refletido pela fertilização nitrogenada, torna-se necessário manejar a cana-de-açúcar como cultura perene, ratificando a importância da adubação nitrogenada para a cultura.

No estado de São Paulo apesar da Lei nº 11.941/02 estabelecer prazos para erradicação da prática da queima em áreas mecanizáveis até 2021 e em áreas não mecanizáveis até 2031, no ano de 2007 as Secretarias de Meio Ambiente, Agricultura e Abastecimento e a União da Indústria da Cana-de-açúcar (UNICA) firmaram o Protocolo Agroambiental reduzindo esses prazos para 2014 e 2017, respectivamente (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA, 2007).

Segundo Gava e colaboradores (2003), quando se adota o sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem a queima, as folhas, bainhas, ponteiro e quantidades variáveis de pedaços de colmo, são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal. Essa cobertura aumenta a infiltração de água no solo, diminui a erosão e a evaporação, melhora a estrutura do solo e aumenta sua CTC. Os efeitos benéficos da palhada são ratificados por Franco e Saraiva Neto (2007), que afirmam

que também há fornecimento de nutrientes à cultura ao longo do seu ciclo devido a processo de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais.

Segundo Vitti e colaboradores (2007) a colheita mecanizada sem queima da cana-de-açúcar deixa sobre o solo uma cobertura de 10 a 20 t ha⁻¹ de resíduos culturais, que provocará mudanças significativas no manejo da cultura, com influência direta nas práticas de adubação das soqueiras. O nitrogênio é um dos nutrientes mais presentes nos resíduos culturais da cana, pois seu acúmulo pela cultura é muito significativo (TRIVELIN et al., 2002b; FRANCO et al., 2007; VITTI et al., 2011).

A quantidade de palhada depositada na superfície do solo depende da cultivar, produtividade, época de corte, entre outros, e pode conter de 80 a 200 kg ha⁻¹ de N (FRANCO et al., 2007). As quantidades de N liberadas desses resíduos durante o ciclo seguinte da cultura de cana-de-açúcar podem variar de 3 a 30% (VITTI et al., 2008b).

Em estudos com isótopo ¹⁵N, Gava e colaboradores (2001, 2003, 2005) observaram que maior parte do N total acumulado pela cultura da cana-de-açúcar provia de outras fontes e não dos fertilizantes nitrogenados. Franco e colaboradores (2011) observaram que na cana-soca a participação do N proveniente dos fertilizantes aplicados no ano corrente, varia entre 10 e 30%, sendo que na cana planta esta quantidade é ainda menor.

O N disponível no solo pode ser proveniente de diversas fontes incluindo os fertilizantes, restos culturais e resíduos orgânicos, porém, de modo geral, parte fundamental do N disponível é oriunda da mineralização da própria matéria orgânica do solo (CANTARELLA et al., 2008). Acredita-se que 2 a 5% do reservatório de N do solo mineralize por ano (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A não redução dos teores de N nos solos após cultivos com a cana-de-açúcar vem evidenciando que a cultura obtém o nutriente por outros meios. Estudos que visam selecionar variedades eficientes na fixação de N₂ através da associação com microorganismos do solo, têm apontado a fixação biológica de nitrogênio (FBN) como uma via importante de obtenção do nutriente pela cana-de-açúcar (XAVIER, 2000; URQUIAGA et al., 2003). Em busca de variedades eficientes em FBN, Urquiaga e colaboradores (2003) verificaram que algumas variedades comerciais apresentaram maior eficiência para FBN para a primeira soca e outras, para a segunda soca, e que existem variedades que confirmam seu potencial para FBN em vários experimentos.

Gava e colaboradores (2001) afirmam que as principais fontes de nitrogênio para as soqueiras são a mineralização da matéria orgânica nativa e dos restos vegetais e fixação biológica do N atmosférico por microrganismos fixadores. Contudo, Vitti et al. (2007b)

observaram que a adubação nitrogenada aumentou a velocidade de mineralização da palha. Resultados obtidos por Trivelin et al. (2002b) e Franco et al. (2010, 2011) mostraram acúmulo de biomassa pela cana-de-açúcar em resposta a adubação nitrogenada.

2.3 Fertilizantes nitrogenados e suas perdas em sistemas com palha sobre o solo

As leis ambientais vêm incentivando a adoção da cana colhida sem queima prévia da palhada, interferindo no manejo da adubação nitrogenada não só às doses, mas também as fontes e modo de aplicação. Normalmente, os adubos mais utilizados em cana-de-açúcar são solúveis em água e conseqüentemente, prontamente disponíveis à cultura, entre os mais comumente utilizados são a ureia, o sulfato e nitrato de amônio e também algumas soluções como Uram e Aquamônia e Ajifer (CANTARELLA et al., 2007; VITTI et al., 2008a).

Por ser um elemento muito dinâmico no solo, o nitrogênio pode sofrer perdas por um ou diversos processos, como a volatilização de amônia, lixiviação, desnitrificação, escoamento superficial e pela remoção das culturas (DE DATTA, 1981).

O sulfato de amônio apresenta 20% de N e 24% de S, na forma amoniacal (MALAVOLTA, 2006). Uma das vantagens desta fonte é que ela não sofre perdas por volatilização, mesmo quando aplicada sobre solo com pH maior que 7 (VOLK, 1959). O teor de S torna tal fonte interessante, em especial para aplicação em solos carentes desse nutriente, característica típica de muitas regiões do Brasil.

A participação do sulfato de amônio na matriz nitrogenada do mundo se situa em torno de 4% e não houve grande variação de consumo ao longo das últimas décadas. No Brasil, sua participação é maior, em torno de 16% em 2006, sendo muito usado em diversas culturas, como na cana-de-açúcar, devido à carência de S nos solos brasileiros (FRANCO; SARAIVA NETO, 2007). Contudo, o maior preço por unidade N em relação à ureia e ao nitrato de amônio e a baixa disponibilidade do adubo na forma granulada reduzem seu uso (CANTARELLA, 2007).

O nitrato de amônio possui 33% de N, metade em forma nítrica e metade na forma amoniacal. É o fertilizante mais utilizado em diversos países do norte europeu e o segundo na agricultura brasileira, porém seu potencial para uso na fabricação de explosivo tem feito crescer as restrições quanto ao seu uso em todo o mundo. No Brasil, a sua produção, transporte e estocagem são controlados pelo governo. Nos Estados Unidos da América as restrições são ainda maiores, de modo que algumas empresas de fertilizantes não utilizam mais este adubo, pouco provável que novas fabricas desse fertilizante sejam construídas o que

acarretará na participação cada vez menor do nitrato de amônio no mercado de fertilizantes (MALAVOLTA, 2006; CANTARELLA, 2007).

As perdas por volatilização de N oriundas do nitrato de amônio são insignificantes. Cantarella et al. (2003) e Vitti et al. (2007b) observaram perdas por volatilização de N-NH₃ menores que 5% do total aplicado, mesmo quando aplicado sobre a palhada. Contudo, de acordo com Cantarella (2007) fertilizantes que contêm o ânion NO₃⁻ são teoricamente mais susceptíveis a perdas por lixiviação, embora não o torne menor que os fertilizantes que possuem N na forma amoniacal, uma vez que no solo, em situação aeróbicas o NH₄⁺ é, dentro de 15 a 30 dias, oxidado a NO₃⁻.

A ureia é um dos fertilizantes nitrogenados mais utilizados devido a sua alta concentração de N (44 a 46%), alta solubilidade e menor custo por unidade de N. A utilização de fertilizantes nitrogenados com o N na forma amoniacal pode levar a perdas do nutriente por volatilização para o sistema quando esta ação é feita sobre solos com pH maior que 7, pois há conversão do N-amônio para N-amônia, contudo no Brasil, são raros solos nestas condições. Entretanto, a aplicação da ureia, N-amídico, na superfície do solo poderá ocorrer perdas significativas de N por volatilização, uma vez que a reação de hidrólise da ureia libera hidroxilas responsáveis pela elevação do pH do solo (CANTARELLA, 2007; CANTARELLA et al., 2007).

O processo de volatilização de amônia com a aplicação de ureia envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, resultando na formação de carbonato de amônio. A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, de origem em restos vegetais (REYNOLDS et al., 1987).

Depois de aplicada em superfície, a uréia é rapidamente hidrolisada no prazo de 1 a 2 dias pela urease para NH₄⁺, hidroxila (OH⁻) e carbonato (CO₃⁻²), proporcionando aumento do pH e altas concentrações de NH₄⁺ em torno do grânulo de uréia. Esse aumento no pH do solo em torno do grânulo aumenta a probabilidade de perdas de NH₃ para a atmosfera. Quantidades significativas de perdas de NH₃, variando de 1,7 a 56% do N aplicado, foram relatadas, que foram influenciadas pela temperatura do solo, umidade e pH, velocidade do vento, matéria orgânica do solo (relação C/N) e tipo de fertilizante (LARA CABEZAS et al., 1999; GIOACCHINI et al., 2002; ZAMAN et al., 2007).

A permanência da palha sobre a superfície do solo no sistema “cana-crua” facilita as perdas de NH₃ por volatilização de fontes amídico-amoniacais não incorporadas ao solo (TRIVELIN et al., 1998). Segundo Cantarella et al. (1999), a uréia aplicada sobre a palha de cana nas doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N apresentou perdas por volatilização de N-NH₃ de 12 e

30%, respectivamente. Costa et al. (2003) e Vitti et al. (2007a) verificaram perdas superiores a 30% do N aplicado sobre a palhada da cana.

Solos com camada superficial rica em matéria orgânica também contribuem para a volatilização de NH_3 , pois além de possuir pH alto, a sua presença na superfície do solo pode impedir que o NH_4^+ produzido pela hidrólise da uréia seja adsorvido. Por outro lado, a matéria orgânica do solo aumenta a capacidade de troca de cátions, reduzindo a volatilização, pois diminui a concentração de NH_4^+ disponível para a conversão a NH_3 na solução do solo (ALVES, 2009).

Da Ros et al. (2005) concluíram que em condições semelhantes de umidade do solo, a volatilização de amônia é maior na presença de resíduos culturais, quando a aplicação da uréia é realizada logo após a chuva, corroborando com Oliveira et al. (1997), quando a ureia for aplicada superficialmente em solos cobertos por palha, as perdas por volatilização serão elevadas, atingindo níveis entre 50 e 94%. Quando ocorre chuva imediatamente após a aplicação da uréia, a volatilização de amônia é semelhante na presença, ou na ausência de resíduos culturais.

Cantarella et al. (1999) observaram que a ocorrência de chuvas manteve baixo o nível de volatilização, e concluíram que as taxas de perda eram mais acentuadas, quando as chuvas não eram suficientes para incorporar a uréia ao solo. Cantarella (2007) e Varsa et al. (1995), afirmam que em solos com restos culturais, tende a apresentar maior atividade da urease e maiores perdas de NH_3 do que em solos descobertos.

Existe grande volume de dados na literatura que apontam a menor eficiência da uréia em relação a outras fontes não sujeitas a volatilização de NH_3 quando aplicadas na superfície do solo, principalmente quando o solo esta coberto com resíduos culturais e não há chuva o suficiente para incorporá-la ao solo (CANTARELLA, 2007).

Quando a concentração de NH_3 na planta é maior que na atmosfera ocorrem perdas de amônia pelas folhas. Vários estudos relataram o acúmulo máximo de N na planta muito antes do fim do ciclo, entretanto, as evidências dessas perdas de amônia pela superfície foliar são indiretas, pois o N que sai nas folhas perdidas pela planta não é incluído nos cálculos de acúmulo, além disso também pode haver translocação de N para o solo via sistema radicular (CANTARELLA, 2007).

A lixiviação de nitrato é caracterizada pela movimentação do ânion NO_3^- para camadas profundas do solo abaixo da zona radicular das culturas, podendo atingir o lençol freático. A presença de nitrogênio mineral na solução do solo e o movimento de água no perfil são fatores preponderantes para que ocorram perdas por lixiviação. A descida é favorecida

pela baixa energia de adsorção do ânion com as partículas do solo, que o torna extremamente móvel e seu movimento ligado ao fluxo de água, ao contrário do amônio (NH_4^+) que pode ser adsorvido ao complexo de troca do solo (NIELSEN et al., 1982). Por isso, especificamente no caso do nitrato, as perdas de nitrogênio em fluxos subsuperficiais são um dos principais caminhos de perda (OWENS et al., 1994).

O nitrato é repellido por sítios de troca do solo por causa de sua carga negativa e é propenso a perdas por lixiviação e emissões gasosas para a atmosfera como N_2O via desnitrificação (ZAMAN et al., 2007). O ânion nitrato tem baixa interação química com os minerais do solo. A predominância de cargas negativas no solo, ou pelo menos nas camadas superficiais nos solos tropicais e a baixa interação química do NO_3^- com os minerais do solo fazem com que ele esteja sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas (CANTARELLA, 2007). De acordo com Carpenter et al. (1998) do total de fertilizantes nitrogenados aplicados em ecossistemas agrícolas, de 10 a 40% em solos argilosos e de 25 a 80% em solos arenosos, são carregados com o movimento da água para subsuperfície.

Boddy e Baker (1990) e Schreiber e Cullum (1992) relataram maiores perdas de N-NO_3^- sob sistemas de cultivos que preservam a palha sobre o solo, enquanto Elmi et al. (2003) verificaram que estes sistemas não tiveram efeito sobre as perdas de NO_3^- . Paul e Clark (1989b) sugeriram que as boas práticas de conservação do solo, como o plantio direto, poderia reduzir as perdas de N-NO_3^- no escoamento superficial, contudo, resultam em aumento de perda de NO_3^- por lixiviação.

Ghiberto et al. (2009) aplicaram 120 kg ha^{-1} de N como ureia marcada com ^{15}N em solo franco-argiloso cultivado com cana-planta, e verificaram movimento de N para 0,9 m de profundidade, usando tensiômetros e extratores de solução do solo com cápsulas porosas. Trivellin et al. (1988) trabalharam com ureia e aquamônia marcadas com ^{15}N , encontraram perdas totais de 72,1 e 58,8 kg ha^{-1} de N que incluíam 7,0 e 35,0 kg ha^{-1} de N como perdas por lixiviação, respectivamente.

Bologna-Campebell et al. (2006) afirmam que as perdas de nitrogênio por lixiviação podem levar a problemas de queda da fertilidade do solo e até mesmo a contaminação do lençol freático. Contudo, baixas quantidades de N lixiviado foram encontrados por Fernandes et al. (2006) em solo com 86% de areia, cultivado por dois ciclos de milho, adubados com 120 kg ha^{-1} de N na forma de sulfato de amônio marcado com ^{15}N , sendo encontrada perdas de 22 e 6 kg ha^{-1} no primeiro e segundo ciclo, respectivamente, sendo que apenas 0,3 kg ha^{-1} era oriundo fertilizante no primeiro ciclo.

Perdas de N por lixiviação podem ser controladas através da divisão da aplicação de fertilizantes nitrogenados, especialmente durante períodos de alta precipitação. Além disso, a manutenção do solo coberto com resíduos vegetais é importante, pois plantas constituem a única maneira segura de reciclagem de nitratos. Em estudos sobre adubação nitrogenada (20 e 200 kg N) no milho com dois tipos de manejo (resíduos de colheita ou resíduos devolvidos) foi verificado que, durante trinta anos de simulação computacional, as perdas por lixiviação de nitrato foram maiores nas parcelas onde os resíduos foram retirados do solo, quando comparado com parcelas onde os resíduos foram devolvidos ao solo (GOLLANY et al., 2004). No entanto, não apresentou diferença estatística significativa entre sistemas de cultivo, ou entre o parcelamento do fertilizante nitrogenado, para a quantidade de nitrato encontrado abaixo de 1,2 m, durante dois anos de experimentação (AL-KAISI; LICHT, 2004). Todavia, segundo Kiehl (1987) a quantidade de N perdido por lixiviação varia significativamente dependendo da dose de N, do método de aplicação de fertilizantes, quantidade de chuva e propriedade do solo.

2.4 Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada

O crescimento das plantas e sua qualidade são, principalmente, função da quantidade de água e fertilizante. Por isso é muito importante melhorar a utilização dos recursos hídricos e dos nutrientes de fertilizantes. No entanto, cerca de 40 a 70% de nitrogênio, 80 a 90% de fósforo, e 50 a 70% de potássio do fertilizante aplicado normalmente é perdida para o ambiente, e não pode ser absorvido pelas plantas, provocando grandes perdas econômicas e de recursos, além da poluição ambiental (LARA CABEZAS et al., 1999; TRIVELIN et al., 2002a; COSTA et al., 2003; WU; LIU, 2008).

A eficiência de uso ou a percentagem de recuperação, pelas plantas, do N provenientes dos fertilizantes nitrogenados é estimada com a utilização de adubos marcados com o isótopo ^{15}N , ou pelo método que mede a diferença entre a quantidade de N absorvido por plantas não adubadas em comparação com aquelas que receberam N (YADAV, 2004, DOBERMANN, 2005; CANTARELLA, 2007). Ambos os métodos apresentam resultados ligeiramente distintos, entretanto, nenhum pode ser considerado superior ao outro (CANTARELLA, 2007).

A aplicação de uréia resulta em menor eficiência na utilização de N em muitas culturas e sistemas de pastagem em comparação com outros fertilizantes nitrogenados. Isso significa que grande porcentagem do fertilizante nitrogenado aplicado não está sendo usado para fins produtivos e é essencialmente perdido (BLENNERHASSETT et al., 2007). Pelas vantagens na utilização de ureia com fonte de N, acima descritas, e pelas perdas que esta fonte está

sujeita a sofrer, vários estudos com a finalidade de aumentar a eficiência deste fertilizante vem sendo desenvolvidos (LARA CABEZAS; TRIVELIN 1990; LARA CABEZAS et al., 1997a, 1997b ; CANTARELLA et al., 2003; DU et al., 2008; TANG et al., 2009; MACHADO et al., 2011).

O uso de fertilizantes de eficiência aumentada é nova tendência para manter o consumo de fertilizantes e minimizar a poluição ambiental (DU et al., 2008; TANG et al., 2009; MACHADO et al., 2011). Estes fertilizantes têm como característica, a agregação de tecnologias com a finalidade de reduzir as perdas de nutrientes para o sistema solo-atmosfera, e conseqüentemente aumentar o aproveitamento destes pelas culturas. São conhecidos, de modo geral, como fertilizantes de liberação lenta ou controlada e fertilizantes estabilizados (CANTARELLA, 2007).

Fertilizantes de liberação lenta são definidos como aqueles que contêm nutriente numa forma que atrasa a sua disponibilidade para absorção e uso pelas plantas após a aplicação, ou que estende a sua disponibilidade para a planta significativamente mais do que convencionais, como o nitrato de amônio, uréia, fosfato de amônio ou cloreto de potássio. O atraso na disponibilidade inicial ou tempo prolongado de disponibilidade pode ocorrer pela: (a) variedade de mecanismos que incluem solubilidade controlada do material em água através dos revestimentos com materiais de proteína semipermeáveis ou outras formas químicas; (b) por hidrólise lenta de compostos hidrossolúveis de baixo peso molecular; (c) ou, por outros meios desconhecidos. Os fertilizantes estabilizados são definidos como aqueles que contenham mecanismo estabilizador que mantém o nutriente na forma em que foi aplicado (TRENKEL, 2010).

Não há diferenciação oficial entre fertilizantes de liberação controlada e liberação lenta. Embora os produtos de degradação microbiana, como ureia-formaldeído e ureia-aldeídos, são comercialmente designados como fertilizantes de liberação lenta. Os revestidos por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa são designados de fertilizantes de liberação controlada (TRENKEL, 1997).

De acordo com Shaviv (2005), o termo “fertilizante de liberação controlada” é aceitável quando os fatores dominantes da taxa, padrão e a duração da liberação são bem conhecidos e controláveis durante a preparação do fertilizante. Já os fertilizantes de liberação lenta envolvem a liberação do nutriente em ritmo mais lento do que é habitual, mas o padrão, a taxa e duração da liberação não estão bem definidos.

Segundo Trivelin et al. (2002a) para reduzir as perdas da uréia por volatilização e conseqüentemente, aumentar a eficiência da uréia é necessário apenas que ela seja

incorporada ao solo. Contudo, Cantarella (2007) enfatiza o fato de que a incorporação acrescenta custo adicional à adubação, principalmente, em sistemas de manejo que preservam resíduo cultural sobre o solo. Outro agravante é que o sulco aberto para incorporação do fertilizante pode estimular a germinação de sementes de plantas invasoras.

Com o objetivo de aumentar a eficiência de uso da ureia, foram conduzidos vários estudos sobre a utilização de diversos polímeros com diferentes princípios de ação, inibidores da urease e de nitrificação (CANTARELLA et al., 2008b; BHATIA et al., 2010), pó de rochas e compostos orgânicos (GIOACCHINI et al., 2006; KAOOSI, 2007), micronutrientes e alguns metais (GROHS et al., 2011; CANTARRELA, 2007) e enxofre (GIRARDI; MOURÃO FILHO, 2004; SHAVIV, 2005).

A aplicação de inibidor da urease em fertilizantes contendo ureia impedirá ou retardará de 7 a 14 dias a transformação do N-amida para N-amônia. Esses mecanismos são benéficos em solos onde: (a) as perdas de amônia da uréia aplicada são grandes; (b) a incorporação da uréia no solo é difícil ou impossível; (c) a uréia não é lavada no solo devido à seca; (d) o cultivo do solo é mínimo ou nulo (plantio direto); (e) em consequência, há acúmulo da matéria orgânica no solo. (WATSON, 2005).

A utilização de ácido bórico e sulfato de cobre para reduzir as perdas por volatilização é possível devido ao efeito da inibição competitiva da uréase pelos cátions bivalentes, entre os quais se destaca o cobre. O boro, muito provavelmente, funciona como inibidor não competitivo da urease, ‘fixando’ o N (WATSON, 2000). Grohs et al. (2011) verificaram redução da perda por volatilização da ureia recoberta com estes compostos em relação a ureia tradicional.

O uso de enxofre elementar (S⁰) no recobrimento da ureia com a finalidade de retardar a liberação do N é estudado há mais de 40 anos (FURUTA et al., 1967) e produzidos em escala comercial há pelo menos 30 anos (SHAVIV, 2005). Estes constituem um dos mais empregados e estudados fertilizantes de liberação lenta (CHITOLINA, 1994).

A fabricação de URS (ureia revestidas com enxofre) consiste de pré-aquecimento de grânulos de uréia com temperatura entre 71 a 82 °C que são pulverizadas com enxofre fundido a 143 °C em tambor rotativo de revestimento de para revestir cada grânulo. Quaisquer poros e fissuras no revestimento são selados pela adição de selante ou cera polimérica de 2 a 3% do peso total. Finalmente, um condicionador é aplicado para obter produto de fluxo livre e isento de pó, com boas características de movimentação e armazenamento. Os produtos atualmente fabricados contêm 30-42% N e 6-30% S, além de vários selantes e condicionadores (TRENKEL, 2010).

A liberação de nutrientes a partir de partículas URS é diretamente afetada pela espessura e qualidade do revestimento. A dissolução da ureia em solução do solo segue a degradação hidrolítica e microbiana do revestimento de proteção de enxofre, e a presença de micropóros e imperfeições, rachaduras e cobertura incompleta, uma vez que ureia esta fora da proteção do enxofre fica sujeita as mesmas perdas. Normalmente, existem três tipos de revestimentos: revestimento danificado com rachaduras, revestimento danificado com rachaduras selado com cera, e revestimento perfeito. As URS podem conter mais de um terço de grânulos com revestimento danificado e cerca de um terço dos grânulos perfeitamente revestidos (SHAVIV, 2005; CANTARELLA, 2007; TRENKEL, 2010).

Os principais fatores que favorecem a combinação do enxofre com a ureia são: (a) as possíveis reduções de perdas de ureia; (b) alta concentração de N nas URS; (c) baixo ponto de fusão do enxofre; (d) a importância do enxofre para as culturas e, (e) sua aplicação cada vez mais importante porque as regulamentações ambientais estão diminuindo emissões de enxofre para a atmosfera (TRENKEL, 2010). Além disso, as URS são os fertilizantes de liberação lenta mais baratos do mercado, apenas de duas a três vezes maior que o preço da ureia (CANTARELA, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e variedade

O experimento foi conduzido na Usina Costa Pinto pertencente ao grupo Raízen, na

região canavieira do município de Piracicaba-SP, Latitude Sul: 22° 40'; Longitude Oeste: 47° 53'. Conduziu-se a primeira soqueira da variedade SP83-2847, indicada para ambientes rústicos, colhida sem queima prévia da palhada no período de setembro de 2010 a agosto de 2011 (Figura 1). Cada parcela experimental foi composta por seis linhas de cana-de-açúcar espaçadas em 1,4 m por 15 m de comprimento, com carregadores de 2 m entre as parcelas, perfazendo área total de 3495 m². Todas as avaliações foram realizadas nas quatro linhas centrais de cada parcela.



Figura 1 – Vista lateral da área experimental com coletores de amônia instalados.

3.2 Características químicas e físicas do solo

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2006) com as características químicas de rotina determinadas conforme Raij et al. (2001) e S (VITTI, 1989) e físicas (CAMARGO; MONIZ; VALADARES, 1986) descritas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Características químicas do solo antes da instalação do experimento

Prof.	pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	Al ⁺³	H+Al	CTC	V	m
cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	-mg dm ⁻³ -		-----mmoldm ⁻³ -----						---%---	
0-10	4,7	13	6	9	1,0	10	5	3	31	47,4	34	16
10-20	5,0	16	6	9	0,7	9	5	8	1	50,9	17	6
20-40	4,1	11	5	10	0,7	5	3	8	42	50,9	17	50

Tabela 2 - Características físicas do solo

Profundidade cm	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	Classe textural	Densidade g cm ⁻³
0 - 20	849	25	125	Arenosa	1,56
20 - 40	833	16	151	Média-Arenosa	1,58

3.3 Caracterização das fontes nitrogenadas e adubação da soqueira

A dose de N aplicada em cada tratamento foi de 120 kg ha⁻¹, conforme recomendação para a cana-soca, para alta produtividade no estado de São Paulo (ROSSETO et al., 2008). As fontes de nitrogênio utilizadas foram ureia (46% de N), sulfato de amônio (21% de N e 24% de S), nitrato de amônio (33% de N), ureia revestida com enxofre (36% de N e 16% S) e ureia revestida com ácido bórico e sulfato de cobre (44,6% de N, 0,4% de B e 0,15% Cu). Aplicou-se 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de super fosfato triplo. A adubação foi realizada de forma localizada logo após brotação da soqueira.

3.4 Características químicas da palhada

A colheita do primeiro cultivo foi feita com máquina, sem a queima prévia da palha, deixando-se os resíduos vegetais sobre o solo. Após a colheita, realizou amostragem, lançado quadrado de 0,0625 m² aleatoriamente sobre solo por seis vezes, para determinar a quantidade e as características químicas da palhada. A palha contida na área do quadrado foi pesada e seca a 65° C por 72 horas, triturada e determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A estimativa da massa de palhada sobre o solo foi de 8.3 t ha⁻¹ e as características químicas estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Características químicas da palhada sobre o solo determinado na base seca 65°C

N	P	K	Ca	Mg	S	Relação C/N
-----kg t ⁻¹ -----						
42,4	7,5	21,6	59,9	10,8	5,8	95/1

3.5 Quantificação das perdas de N-NH₃ por volatilização

As perdas de N-NH₃ por volatilização foram contabilizadas aos 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20 e 22 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados. Realizou-se a estimativa das perdas de nitrogênio, por volatilização de amônia do solo proveniente da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, pelo método direto com coletor semi-aberto (NÖNMIK, 1973),

usado de modo dinâmico, ou seja, com a troca dos coletores para as bases subsequentes, e com uso de fatores de correção descritos por Lara Cabezas et al. (1999). Em cada base foi aplicada 15g de N nas formas dos fertilizantes estudadas, quantidade essa, proporcional ao diâmetro do coletor (15 cm) (Figura 2).



Figura 2- Coletor semi -aberto adaptado de NÖNMIK, 1973.

Cada coletor semi-aberto apresenta suportes no seu interior para sustentar duas espumas (densidade $0,02 \text{ g cm}^{-3}$), que antes de serem instaladas, foram embebidas com 50mL de solução de ácido fosfórico (0,5 N) e glicerina (3% v/v), com objetivo de absorver a amônia. A espuma superior foi posicionada a 31 cm do solo permitindo a coleta da amônia da atmosfera, e isolando a espuma inferior, posicionada a 15,5 cm do solo, responsável pela captação do N-NH_3 volatilizado da superfície do solo (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990). A cada período de amostragem utilizou novas espumas embebidas em ácido fosfórico.

As espumas superiores foram descartadas e as inferiores foram mantidas sob refrigeração (5°C) até o momento da análise. Cada espuma foi colocada sobre funil de porcelana e coberto com um saco plástico coma finalidade de aumentar a pressão e consequentemente aumentar a quantidade de solução extraída (Figura 3), com o auxílio da bomba de vácuo, lavou-se a espuma, com aproximadamente, 400 mL de água deionizada.



Figura 3- Extração de solução das espumas com o auxílio de funil de porcelana e saco plástico.

A partir da solução extraída de cada espuma foi retirada alíquota de 50 mL para destilação de N-NH₃ e determinação pelo método Kjeldahl. No momento da aplicação dos fertilizantes e instalação dos coletores, as umidades do solo (SU%) e da palhada (PU%) eram de 6 e 20%, respectivamente. Durante o período de avaliação das perdas de N por volatilização de NH₃ foi quantificada a precipitação, a umidade do solo e da palhada (Figura 4).

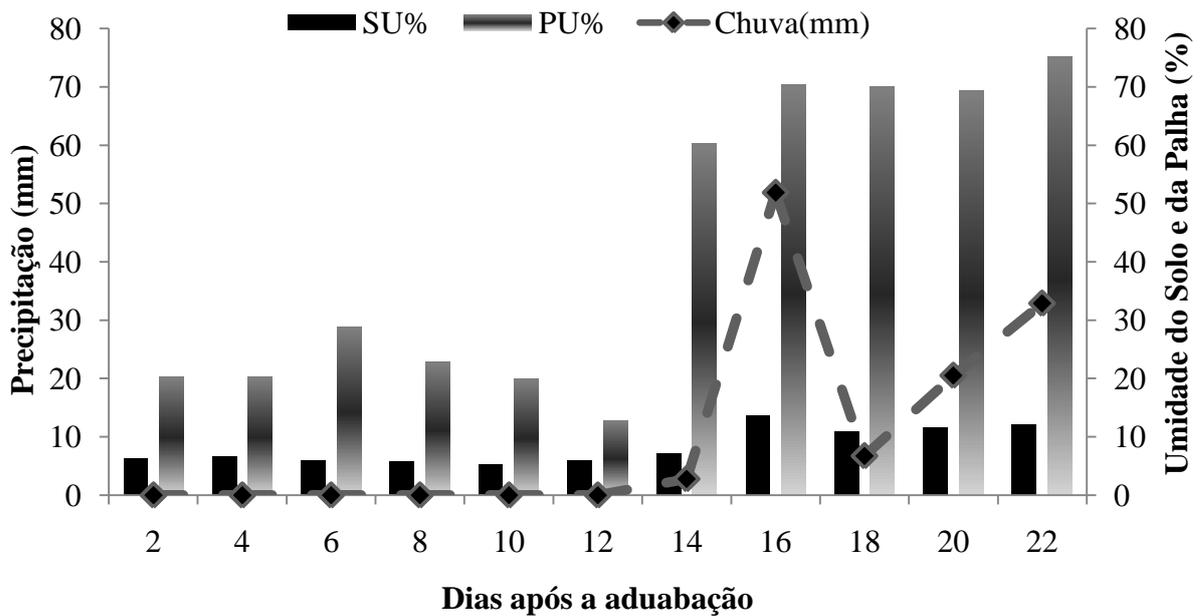


Figura 4 - Precipitação, umidade do solo (SU%) e umidade da palha (PU%) na área experimental durante o período de avaliação das perdas de N por volatilização de NH_3

O N amoniacal volatilizado foi calculado com os valores dos volumes de ácido sulfúrico gasto na titulação, nos testes em branco e nas amostras, conforme eq.(1).

$$N = (V_s - V_b) \times f \quad (1)$$

Onde N = nitrogênio capturado por câmara; V_s = volume de ácido gasto na titulação da amostra; V_b = volume de ácido gasto na titulação do branco; e $f = 0,7$ (fator relativo a molaridade de ácido, o volume da alíquota e o extrato do balão volumétrico). Posteriormente, os resultados foram corrigidos de acordo com as equações propostas por Lara Cabezas et. (1999). Assim, obteve-se a taxa de volatilização diária e a taxa de volatilização acumulada, calculada como a soma das perdas diárias.

3.6 Determinação de N-NO_3^- , N-NH_4^+ e S-SO_4^{2-} no solo

Antes da aplicação dos fertilizantes sobre o solo foram retiradas amostras de solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm para verificar os teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ nas três camadas e S-SO_4^{2-} e somente na camada 0-10 cm. Procedeu-se amostragens nas mesmas camadas aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos fertilizantes. Cada amostra composta foi formada por três amostras simples por parcela para cada camada estudada.

As amostras de solo foram acondicionadas em caixa térmica contendo gelo e encaminhadas ao laboratório, e armazenadas em congelador para determinação de N na forma amoniacal e nítrica. Para a extração utilizou-se 15 g de amostra úmida na qual foram

adicionadas 50 ml de solução de KCl 2 mol L⁻¹ agitadas por 1 hora (170 RPM), filtradas e congeladas novamente até a determinação de NH₄⁺ (KAMOGAWA; TEIXEIRA, 2009) e NO₃⁻ (SU et al., 1998) pelo método de análise de injeção em fluxo (FIA – Flow injection analysis).

Para quantificar o nitrogênio nas formas de NH₄⁺ e NO₃⁻ por hectare em solo seco, determinou-se a umidade do solo para cada dia e profundidade amostrada. Pesaram-se as amostras extras, acondicionadas em caixa térmicas, secas em estufa de circulação forçada a 105°C durante 72h, aferiu-se novamente a massa e, por diferença, obteve-se umidades. Determinou-se a densidade do solo através de amostragem indeformada, para estimar a quantidade das formas de N estudadas no volume total de solo.

3.7 Determinação da concentração de nutriente na diagnose foliar

Determinaram-se os teores de macronutrientes conforme Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) em cada amostra composta, formada por oito amostras por parcela da folha +1, quatro meses após a aplicação dos fertilizantes. Para avaliar os efeitos dos tratamentos sobre o solo foram feitas amostragens nas diversas profundidades (item 3.6), quatro meses após a brotação das soqueiras para determinação dos teores de macro e micronutrientes segundo Raij et al. (1997), enxofre (VITTI, 1989). A amostragem de solo foi realizada próxima a linha da cultura (faixa de adubação), a partir de 6 pontos aleatórios distribuídos nas seis linhas centrais da parcela.

3.8 Determinação dos atributos produtivos e tecnológicos

Para quantificar a produção de colmo por hectare foram colhidas mecanicamente as quatro linhas centrais de cada parcela que foram pesadas com o auxílio do caminhão instrumentado. Momentos antes da entrada da colhedora na área experimental, foram retiradas 5 canas de cada parcela, colhidas seguidas na linha, para posterior estimativa dos parâmetros tecnológicos, tais como: Brix, Pureza, Pol do caldo, Pol da cana, Açúcares redutores (AR) e Açúcar Total Recuperável (ATR), percentual de fibra, segundo metodologia descrita por Fernandes (2003).

3.9 Determinação de exportação de nutrientes

Antes da entrada da colhedora foram retiradas 10 canas de cada parcela, estas tiveram a parte aérea retiradas e os colmos foram triturados; do material triturado, foram retiradas amostra de 400g de material úmido. As amostras trituradas foram secas em estufa de

circulação forçado a 65° C durante 72 horas, depois tiveram suas massas secas determinadas com a finalidade de determinação da porcentagem de massa seca. Após, foram determinados o teores de macro e micronutrientes de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O percentual de material seca, teores de macro e micronutrientes encontrados, foram utilizados para calculo da quantidade de nutrientes exportados por 100 toneladas colmo por cada tratamento, conforme eq.(2).

$$QNE = [NC] \times MS \times 100 \quad (2)$$

Onde, QNE é a quantidade de nutrientes exportado em 100 toneladas de colmo (TC), em kg TC⁻¹ha⁻¹ para macros e em g TC⁻¹ha⁻¹ para os micronutrientes, [NC] é o teor do nutrientes, em kg TC⁻¹ e g 100TC⁻¹ e MS é porcentagem de matéria seca do colmo.

3.10 Análises estatísticas

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. O efeito dos tratamentos, cinco fontes e um controle, foi testado através de contrastes ortogonais e o nível de significância analisado através do teste F e quando necessário, as médias foram comparadas entre si pelo teste Scott-Knota 5% de probabilidade. Cada contraste gerou uma hipótese a ser discutida. As análises estatísticas foram realizados com o auxílio do pacote estatístico SAS 9.1 – “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas de N-NH₃ por volatilização

As perdas de N por volatilização de amônia durante os 22 dias de avaliação não ultrapassaram 10% do N aplicada, independente da fonte utilizada. Isto deve-se elevada precipitação (>50mm) ocorrida após o início da hidrólise dos fertilizantes que foi ativada pela precipitação de 2,6 mm que ocorrera entre o 12^o e 14^o dia após a aplicação dos fertilizantes (Figuras 5). Segundo Lara Cabezas et al. (1997a) se a água for suficiente para diluir a concentração de oxidrilas (OH⁻), ao redor dos grânulos de ureia, que foram produzidos na reação de hidrólise, além de proporcionar a incorporação da ureia no solo há diminuição da volatilização da amônia. Segundo Cantarella et al. (1999) a incorporação da ureia a profundidade igual ou maior que 5 cm é suficiente para controlar as perdas de NH₃.

Cantarella et al. (1999) observaram que a ocorrência de chuvas manteve baixo o nível de volatilização e concluíram que as taxas de perda eram mais acentuadas, quando as chuvas não eram suficientes para incorporar a ureia ao solo. Costa et al. (2003) e Zavaschi (2010) também observaram redução das taxa de perdas de N-NH₃ após ocorrência de precipitação.

O pico das perdas ocorreu no entre 15 e 16 dias após a aplicação dos fertilizantes, devido a ausência de umidade para hidrolisar da ureia. Segundo Cantarella (2007), o pico de perdas pode ocorrer até mesmo no primeiro dia quando se tem solo com resíduos vegetais. Contudo, este período varia entre os encontrados na literatura, assim Gava (1999) observou as maiores perdas no 11^o dia, já Costa et al. (2003), Pereira et al. (2009) e Tasca et al. (2011) observaram o pico nos primeiros 6 dias, esta variação ocorre devido aos diversos fatores que influenciam as perdas por volatilização, dos quais se destaca a umidade (DA ROS et al., 2005).

As perdas de N por volatilização de amônia foram estatisticamente superiores onde se utilizou ureia sem recobrimento (UR). O recobrimento na ureia provoca redução com significância estatística das perdas N-NH₃ em relação à UR, sendo que a ureia revestida com enxofre (US) apresentou perdas superiores a ureia revestida com ácido bórico e sulfato de cobre (UB). As reduções nas perdas de nitrogênio por volatilização ocorreram na ordem 50% quando a ureia foi recoberta com enxofre elementar e 75% quando a mesma foi recoberta com ácido bórico e sulfato de cobre, isso em relação a ureia não recoberta. Contudo, o revestimento da ureia independentemente da substância utilizada, não foi capaz de reduzir as perdas por volatilização, ao ponto que a igualasse as perdas quantificadas com a utilização de nitrato (NA) e sulfato de amônio (SA), como fontes de nitrogênio (Tabela 4). Desta forma as

perdas de N-NH₃ sofridas pelas fontes no período de avaliação podem ser assim equacionadas: UR>US>UB>NA=SA.

Tabela 4 – Perdas médias acumuladas de nitrogênio por volatilização de NH₃

	US	NA	UB	SA	UR
*kg ha ⁻¹ de N-NH ₃	4,567b	0,190d	2,190c	0,105d	9,090 ^a

US= ureia revestida com enxofre; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; SA= sulfato de amônio; UR= ureia convencional. *Médias com letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knot a 5% de probabilidade.

As maiores perdas sofridas pela ureia convencional (UR) em relação às outras fontes, são devidas à ação da uréase, uma vez que a ureia se encontrava em condições favoráveis à ação da enzima presente no solo, microrganismo e resíduos vegetais, e exerce maior influência sobre as perdas por volatilização, quando a ureia é aplicada sobre a superfície do solo coberto com resíduos vegetais, em ambientes com umidade insuficiente para incorporá-la (Figura 5).

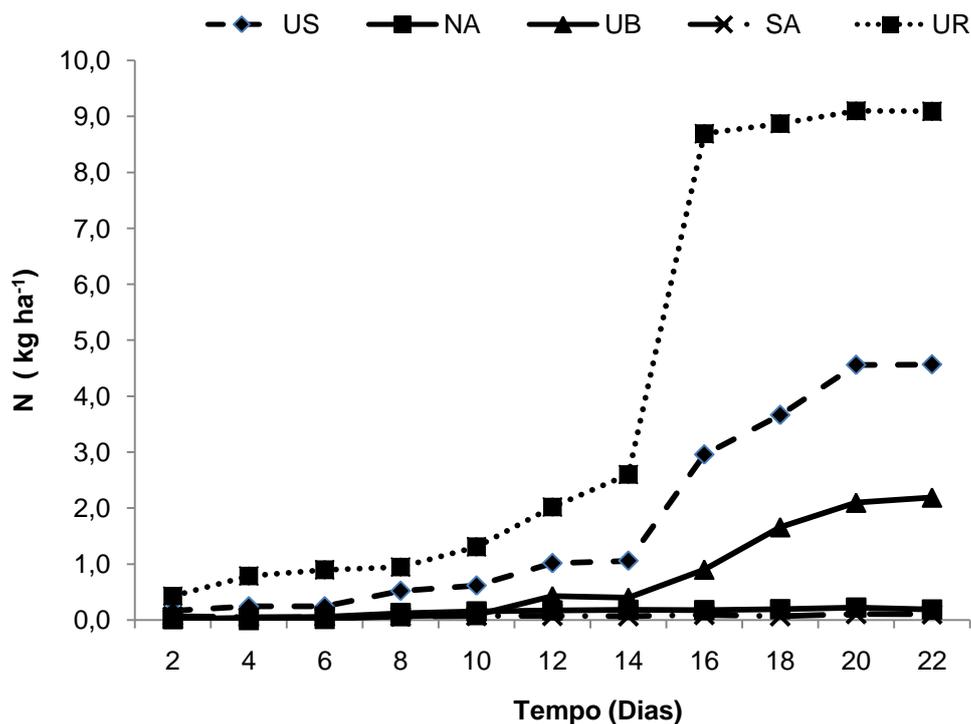


Figura 5 - Taxa de N-NH₃ volatilizado acumulada (kg ha⁻¹) a cada coleta após a aplicação dos fertilizantes. UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre

A permanência da palha sobre a superfície do solo no sistema “cana-crua” facilita as perdas de NH₃ por volatilização de fontes amídico-amoniacais não incorporadas ao solo (TRIVELIN et al., 1998). Segundo Cantarella et al. (1999), a ureia aplicada sobre a palha de

cana nas doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N apresentou perdas por volatilização de N-NH₃ de 12 e 30%, respectivamente. Costa et al. (2003) e Vitti et al. (2007a) verificaram perdas superiores a 30% do N aplicado sobre a palhada da cana.

Com a utilização de ureia revestida com enxofre (US) obteve-se 50% de redução nas perdas de N-NH₃ em relação ureia convencional (UR), devido a proteção física conferida pela capa de enxofre elementar presente na US, uma vez que a volatilização começou a se acentuar após precipitação de apenas 2,6 mm (Figura 6), provavelmente, esta precipitação não foi suficiente para solubilizar a cobertura de enxofre elementar. Cantarella et al. (2008b), em estudo com ureia tratada com inibidor de uréase, verificaram o início da volatilização após precipitação de 2,6 mm, em experimento com cana colhida sem queima prévia da palhada.

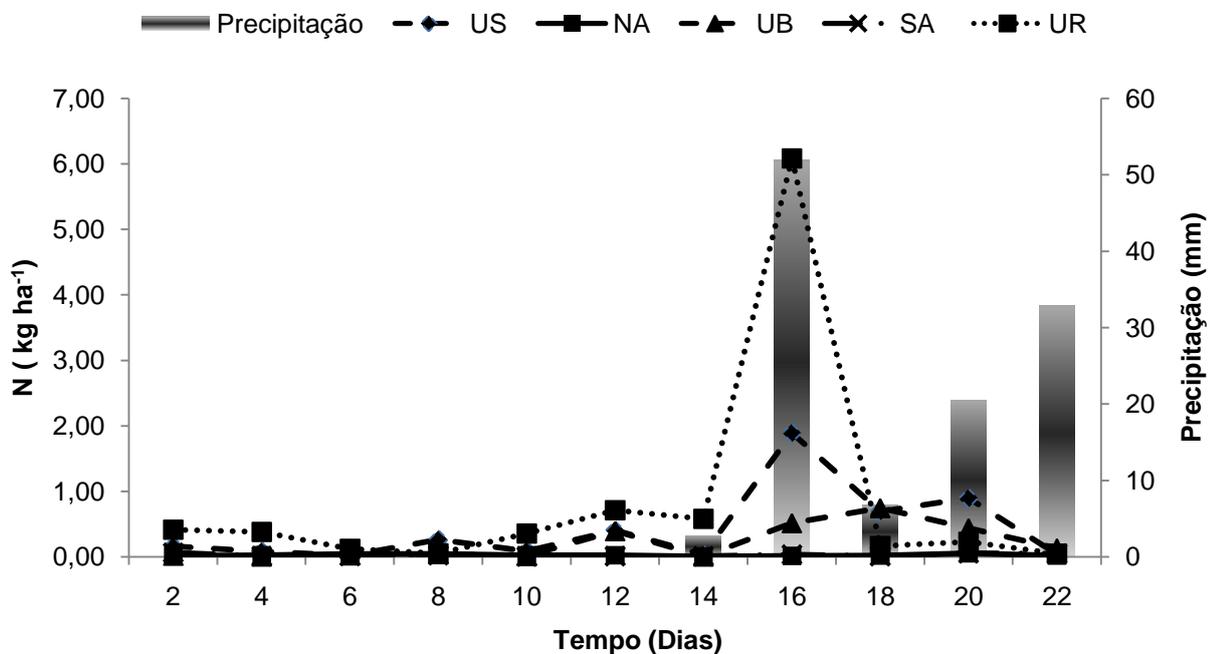


Figura 6 – Precipitação diária e perdas por volatilização de N-NH₃ em função dos dias após a adubação nitrogenada. CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre

O recobrimento com enxofre elementar também pode ter agido com barreira contra a ação ureolítica da palhada sobre o solo. Vitti et al. (2007b) salientaram que a palhada sobre o solo aumenta as perdas de N por volatilização, quando se utiliza ureia como fonte de nitrogênio, pois a palha além de contribuir com a quantidade de uréase, constitui barreira física que impede o contato da ureia com solo, reduzindo assim, a adsorção de NH₄⁺ nos colóides do solo. Segundo Silva et al. (2005), o aumento do contato entre o fertilizante e as partículas de solo, tem como consequência o incremento da adsorção de NH₄⁺ às cargas

negativas do solo, o que dificulta sua transformação a NH_3 , forma na qual o N é perdido por volatilização.

Embora as perdas por volatilização de UR e US sejam estatisticamente diferentes, após o início da volatilização houve precipitação superior a 50 mm, que fez com que as perdas por volatilização fossem quase nulas, logo, não se pode inferir que o recobrimento da ureia com S° tenha o mesmo efeito quando a US é submetida a condições propícias à perdas durante maior período de tempo (Figura 4). A dissolução da ureia na solução do solo segue a degradação hidrolítica e microbiana do revestimento de proteção de enxofre, pois há presença de microporos e imperfeições, rachaduras e cobertura incompleta, e a ureia que esta fora da proteção do enxofre, fica sujeita as mesmas perdas (SHAVIV, 2005; CANTARELLA, 2007; TRENKEL, 2010).

Nas parcelas onde a fonte de nitrogênio foi a ureia revestida com ácido bórico e cobre (UB) as perdas por volatilização de N-NH_3 se apresentaram em média 75 e 52% menores que as perdas encontradas quando se utilizou UR e UB, respectivamente. Isto se deve ao efeito do ácido bórico em reduzir o pH em torno do grânulo de ureia reduzindo assim a transformação de NH_4^+ para NH_3 , além do efeito na acidificação do meio, o boro atua como inibidor competitivo da uréase, devido a sua similaridade estrutura como a ureia, deslocando assim, a atividade da uréase para si, já o cobre atua como inibidor não competitivo devido a sua troca com o níquel na composição da uréase. Segundo Cantarella (2007), a reação de hidrólise da ureia consome prótons H^+ , e provoca a elevação do pH em torno das partículas, havendo assim déficit de H^+ para permanência do N na forma de NH_4^+ . Contudo na hidrólise da UB, há fornecimento de prótons oriundas da dissociação do H_3BO_3 , atendendo assim a demanda de H^+ para a manutenção do nitrogênio na sua forma reduzida (-3).

A redução das perdas de N por volatilização, através da acidificação do meio, vem sendo estudada a muitos anos, principalmente, com a mistura da ureia com outras fontes nitrogenadas acidificantes (LARA CABEZAS et al., 1997a; COSTA et al., 2003; LARA CABEZAS, 2008a). Contudo, devido o sulfato de amônio ser higroscópico, a sua mistura com a ureia tem a tendência de reduzir a umidade crítica e escoabilidade da mistura, e dependendo do tempo de exposição da mistura no campo, pode comprometer a sua aplicação (VITTI et al., 2002). Além disso, o preço por unidade de N vai aumentar com a mistura de as fontes, devido a concentração de N no sulfato de amônio ser menor do que na ureia.

Desta forma, é mais viável a utilização de compostos como ácido bórico como agentes acidificantes da região em torno do grânulo, pois este sendo um ácido tem por característica liberar H^+ quando em contato com água. Seria necessário três vezes mais massa de sulfato de

amônio para equivaler a mesma quantidade de prótons fornecida pelo H_3BO_3 ao sistema. Entretanto, o sulfato é menos eficiente devido à necessidade da conversão do SO_4^{-2} a H_2SO_4 para posterior doação de prótons do sistema.

Outra explicação para a menor volatilização de N encontrada com a utilização da UB é a toxidez causada por metais pesados como Cu, Zn e Ag à atividade da uréase no solo. Chaperon e Sauvé (2007) demonstraram redução da atividade da uréase no solo em função do aumento da concentração de metais no solo, inclusive o cobre.

Stuczynski, McCarty e Siebielec (2003) verificaram efeito inibitório do Zn sobre a atividade de um grupo de enzimas do solo, sobre tudo a uréase. Tabatabai (1977) verificou o efeito inibitório do Cu^{+2} sobre a atividade da uréase no solo, e que este efeito só era inferior ao da Ag^+ e Hg^+ . Grohset al. (2011) obtiveram com a aplicação de UB, redução de aproximadamente 50% da volatilização de amônia em relação a UR, em situação de plantio direto.

A quase nulidade das perdas por volatilização de $N-NH_3$ encontradas nas parcelas onde as fontes de nitrogênio foram o nitrato de amônio (NA) e sulfato de amônio (SA) é devida as espécies químicas nas quais o nutriente foi fornecido à cultura. Resultados semelhantes foram obtidos por Cantarella et al. (2003), Vitti et al. (2005) e Lara Cabezas e Souza (2008).

Para haver perdas por volatilização o nitrogênio precisa estar na forma de NH_3 que, em condições normais de temperatura e pressão, se encontra em forma gasosa devido a seu baixo ponto de ebulição ($-38^\circ C$). Só há formação de amônia quando o pH do meio é alto, devido a retirada de prótons H^+ do amônio; esta situação só ocorre quando os fertilizantes são lançados sobre solo com pH básico (caso raro nos solos tropicais) ou quando a dissolução da fonte nitrogenada em questão favorece o aumento de OH^- em torno do grânulo (CANTARELLA, 2007).

Quando o NH_4^+ nas formas de NA ou SA é aplicado sobre o solo arejado, tende a ser rapidamente oxidado a nitrato em solo com baixa disponibilidade de C, incorporados a biomassa microbiana, com é o caso de solo onde se cultiva cana colhida sem queima prévia da palhada, ou absorvido pelas plantas. O NO_3^- é reduzido, incorporado a biomassa do solo ou absorvido pelas plantas (CANTARELLA, 2007). É válido salientar, que nas cadeias de transformação do nitrogênio quando aplicado sob ambas as fontes nos solo tropicais a formação de amônia é insignificante, ao contrário do ocorre quando se aplica ureia (VITTI et al., 2005; LARA CABEZAS; SOUZA, 2008).

Para o teor de S no solo a interação entre tempo e tratamento não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$), e devido a isso, a interação não foi desdobrada (Figura 7). Independente do tempo, não foi encontrada diferença estatística quando se contrastou o controle (CR) contra todas as fontes estudadas, nem quando se contrastou a UR com as demais fontes estudadas. Contudo, quando se comparou grupo das ureias revestidas (US+UB) com o grupo das fontes amoniacais (NA+SA), diferiram estatisticamente ($p < 0,001$), onde o grupo das fontes amoniacais, apresentou teor do S no solo foi $3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ superior a US+UB.

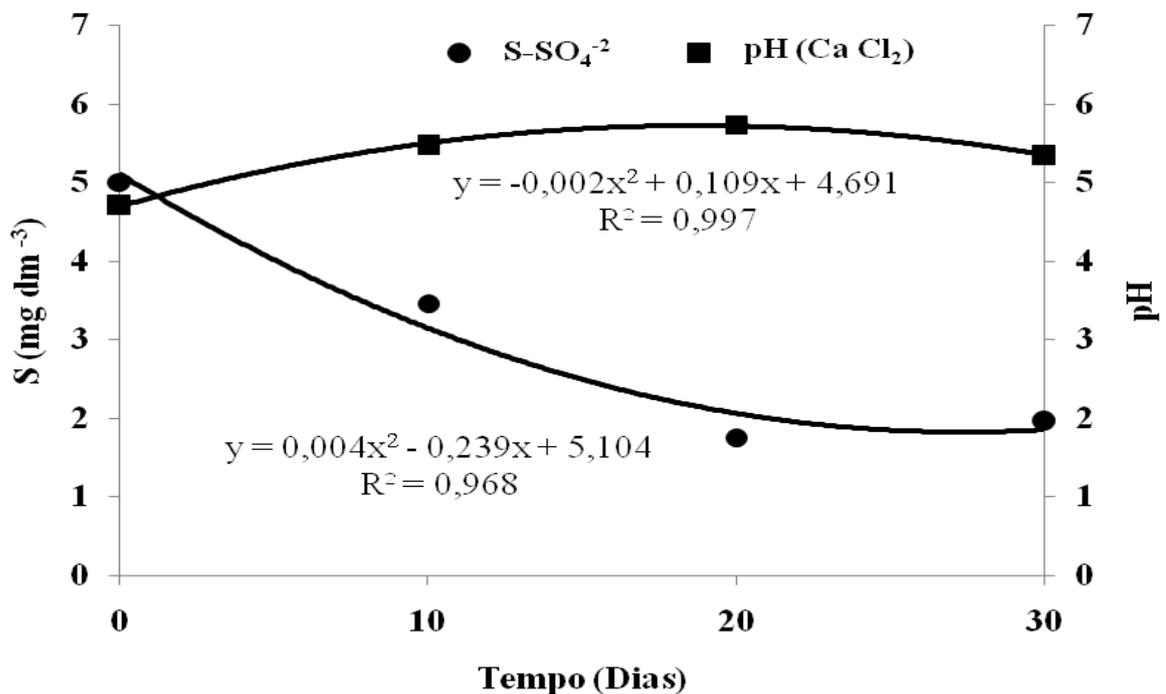


Figura 7 – Teor médio de enxofre e pH médio do solo em função do tempo, dos solos das parcelas estudadas, independente da aplicação de fertilizante nitrogenado.

Não houve diferença significativa entre US e UB nos teores de S no solo, mesmo a US possuindo 16% de S. Isto se deve, provavelmente, ao enxofre se encontrar na forma de enxofre elementar (S^0) nesta fonte, que de acordo com Janzen e Bettany (1987), precisa ser oxidado a sulfato, para só assim estar disponível à absorção pelas plantas ou à detecção pelos métodos de análise química que determina este nutriente na forma de SO_4^{2-} (VITTI, 1989). O período de avaliação (0,10,20 e 30 dias) provavelmente não foi suficiente para quantificar o aumento dos teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo. Horowitz e Meurer (2007) verificaram incrementos significativos de $S-SO_4^{2-}$ após o 22º dia após a aplicação do $S-S^0$, contudo, Germida e Janzen (1993) afirmam que a oxidação do S^0 no solo depende de inúmeros fatores, além do tempo.

Houve diferença significativa ($p < 0,001$) entre NA e SA onde o teor de $S-SO_4^{-2}$ no solo em SA foi $1,66 \text{ mg dm}^{-3}$ superior ao encontrado quando se utilizou NA. Resultado já esperado devido aos 24% de S presente no sulfato de amônio (ALVAREZ et al., 2007).

O fator tempo influenciou significativamente ($p < 0,001$) nos teores de $S-SO_4^{-2}$, independente do tratamento, passando em média de 5 mg dm^{-3} no dia da aplicação dos fertilizantes para 2 mg dm^{-3} , aos 30 dias após a aplicação dos fertilizantes. Isto pode ter ocorrido devido à absorção pelas plantas, ou mais provavelmente, pelas perdas por lixiviação, visto que no período de avaliação houve significativa precipitação (Figura 4).

O elevado potencial de lixiviação do SO_4^{-2} foi demonstrado por Riley, Zhao e MacGrath (2002), onde foi encontrada lixiviação de SO_4^{-2} superior a 80 kg ha^{-1} . A redução no teor de $S-SO_4^{-2}$ no solo deve-se também a sua imobilização pelos microrganismos, pois de acordo com Moreira e Siqueira (2002) a presença de resíduos com relação C:S superiores a 400:1, há imobilização temporária de $S-SO_4^{-2}$ pela microbiota decompositora, e no caso deste experimento a palhada possui relação muito superior a citada pelo autores (694:1).

A influência do tempo e dos tratamentos foi estatisticamente significativa sobre o pH do solo, $p < 0,001$ e $p < 0,05$, respectivamente. Contudo, a interação tempo e tratamento não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$), ou seja, todos os tratamentos comportaram-se da mesma maneira ao longo do tempo (Figura 7).

Quando analisou o contraste SA+NA e US+UB, os grupos diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$), onde o grupo das ureias revestidas apresentou pH do solo em média 0,45 vezes maior que as fontes amoniacais. Costa et al. (2003) e Lara Cabezas et al. (2008a) relataram o potencial acidificante dos fertilizantes amoniacais. Isto ocorre devido à oxidação do NH_4^+ . Cantarella (2007) afirma que para cada 1 mol de amônio oxidado a liberação de 2 mols de H^+ , e que esta reação apresenta importante contribuição para acidificação dos solos agrícolas.

Não houve diferença significativa entre SA e NA, o que se deve a ambos apresentarem a forma amoniacal do nitrogênio, mesmo sendo maior o potencial de acidificação do sulfato (CANTARELLA, 2007). Os valores de pH do solo em US e UB diferiram significativamente entre si ($p < 0,05$), sendo que o solo com UB apresentou pH inferior ao solo com US, isso em razão a UB conter ácido bórico em sua composição. A ligeira curva apresentada no pH solo, provavelmente deve-se pelos OH^- exudados pelas raízes em contra partida a absorção de ânions como, SO_4^{-2} e NO_3^- (Figura 7).

4.2 N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ no solo

Independente da profundidade e do dia de amostragem, o teor de amônio no solo seguiu a seguinte ordem: UB>US>UR>AS>NA> CR. Nas mesmas condições os teores de nitrato podem ser assim ordenados: UB>SA>US>UR>NA>CR. O tempo foi a variável independente que mais influenciou os teores de amônio no solo ($p<0,01$), seguido do fator tratamento, a interação destes fatores também interferiu significativamente no teor desta forma de N no solo. O fator profundidade tanto isolado, bem como em interação com os outros fatores analisados ($p>0,05$), não interferiu significativamente no teor de NH₄⁺ no solo. Para os teores de nitrato no solo, somente a interação tripla (tempo, tratamento e profundidade) não interferiu significativamente ($p> 0,05$) (Tabela 5).

No período de avaliação os teores de amônio do solo foram superiores aos teores de nitrato. As concentrações médias de NH₄⁺ encontradas em solos agrícolas são, geralmente, 10-1000 vezes menores que as de NO₃⁻ (MARSCHNER, 1995; OWEN; JONES, 2001), devido, principalmente, a limitações em sua difusão (SCHJOERRING et al., 2002) e à rápida oxidação do NH₄⁺ para NO₃⁻ pelas bactérias nitrificadoras (NORTON, 2000). No entanto, podem-se encontrar valores que variam entre 2, e até mais de 20 mmol L⁻¹ de NH₄⁺ (CRAWFORD; GLASS, 1998).

De acordo com Moreira e Siqueira (2002) em áreas cultivadas com gramíneas nas quais a forma amoniacal é favorecida, devido a excreção de substâncias inibidoras de nitrificação pelas raízes, e pela existência de menores valores de pH, que ocorrem, geralmente, nessas condições. De acordo com Paul e Clark (1989), a nitrificação atinge níveis insignificantes abaixo do pH 6,0. O pH do solo no período de avaliação foi inferior a 6 (Figura 4), logo o mesmo foi fator determinante para os resultados encontrados neste trabalho.

Nos primeiros dez dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados sobre o solo, não houve diferença significativa nos teores de amônio e nitrato do solo independente da profundidade (Tabela 5). Isto foi devido a não ocorrência de chuvas neste período, e às baixas umidades no solo e na palhada, o que pode ter reduzido as taxas de solubilização dos fertilizantes e dos resíduos vegetais. Corroborando com Cantarella (2007) que afirma que a taxa de mineralização do N- orgânico reduz com o decréscimo da umidade do solo, mas quando o solo estiver além do ponto de murcha permanente poderá ocorrer a mineralização (Figura 4).

Os maiores teores de NH₄⁺ foram encontrados 20 dias após a fertilização (ApF) sobre o solo devido a distribuição pluvial durante estes dias, que favoreceu a disponibilização dos N

dos fertilizantes aos microorganismos decompositores. Além disso, de acordo com Foth e Ellis (1996), o molhamento do solo seco parece estimular a mineralização e provocar pico de liberação de N disponível. De acordo com Camargo et al. (2008), a quantidade de N mineralizado num determinado período depende de fatores como temperatura, umidade, aeração, quantidade e natureza orgânico presente. Contudo, 30 dias ApF os teores de nitrato no solo baixaram sensivelmente, devido ao processo cíclico de mineralização e imobilização do nitrogênio de compositores, uma vez que a quantidade de resíduos vegetais sobre o solo era consideravelmente altas (8.3t ha⁻¹).

Tabela 5 - Significância estatística para o teor de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo em função do tempo, profundidade, e fertilizante nitrogenado aplicado em cana-soca

Trat.	-----Tempo----- (dias)								
	10			20			30		
	-----Profundidade----- (cm)								
	10	20	40	10	20	40	10	20	40
CR	Aa A'a'	Aa A'a'	Aa A'a'	Ca B'a'	BaA'a'	Aa A'a'	BaC'a'	AaA'a'	AaB'a'
UR	Aa A'a'	Aa A'a'	Aa A'a'	Aa B'a'	Aa A'a'	Aa A'a'	BaC'a'	AaA'a'	AaB'a'
SA	Aa A'a'	Aa A'a'	Aa A'a'	BaB'a'	BaA'a'	Aa A'a'	AaB'a'	AaA'ab'	AaA'b'
NA	Aa A'a'	Aa A'a'	Aa A'a'	CaB'a'	BaA'a'	AaA'a'	BaC'a'	AaA'a'	AaB'a'
US	Aa A'a'	Aa A'a'	Aa A'a'	BaB'a'	BaA'a'	AaA'a'	AaB'a'	AaA'a'	AaA'a'
UB	Aa A'a'	Aa A'a'	Aa A'a'	Ca A'a'	BaA'b'	AbA'ab'	AaA'a'	AaA'b'	AaA'b'

Para os tratamentos letras maiúsculas **sem clave** desiguais, apresentam diferença estatística no teor de NH₄⁺ do solo pelo teste de Scott-Knot, a 5%. Para profundidade letras minúsculas sem clave desiguais, apresentam diferença estatística no teor de NH₄⁺ do solo dentro de cada tratamento pelo teste de Tukey, a 5%. Para os tratamentos letras maiúsculas **com clave** desiguais, apresentam diferença estatística no teor de NO₃⁻ do solo pelo teste de Scott-Knot, a 5%. Para profundidade letras minúsculas com clave desiguais, apresentam diferença estatística no teor de NO₃⁻ do solo dentro de cada tratamento pelo teste de Tukey, a 5%. Trat. = tratamento; CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre.

Kitur et al. (1984) afirmam que dentre as causas prováveis para a menor disponibilidade de nitrogênio em sistema com preservação da palhada sobre o solo, a imobilização microbiana do N tem sido considerada a mais importante. Assim, a medida que ocorre a morte dos microorganismos, estes são rapidamente mineralizados pelos microorganismos remanescentes, liberando os nutrientes imobilizados no processo conhecido como remineralização (MARY et al., 1996).

Os maiores teores de NO₃⁻ só foram encontrados 30 dias ApF, os principais fatores que colaboraram para isso foram as formas de N presentes nos fertilizantes e a ordem natural de

transformação do nitrogênio, na qual o material vegetal é primeiro mineralizado a amônio e só depois, é oxidado em nitrato (CANTARELLA, 2007); isso explica a redução dos teores de NH_4^+ no solo nesta época (Figura 8)

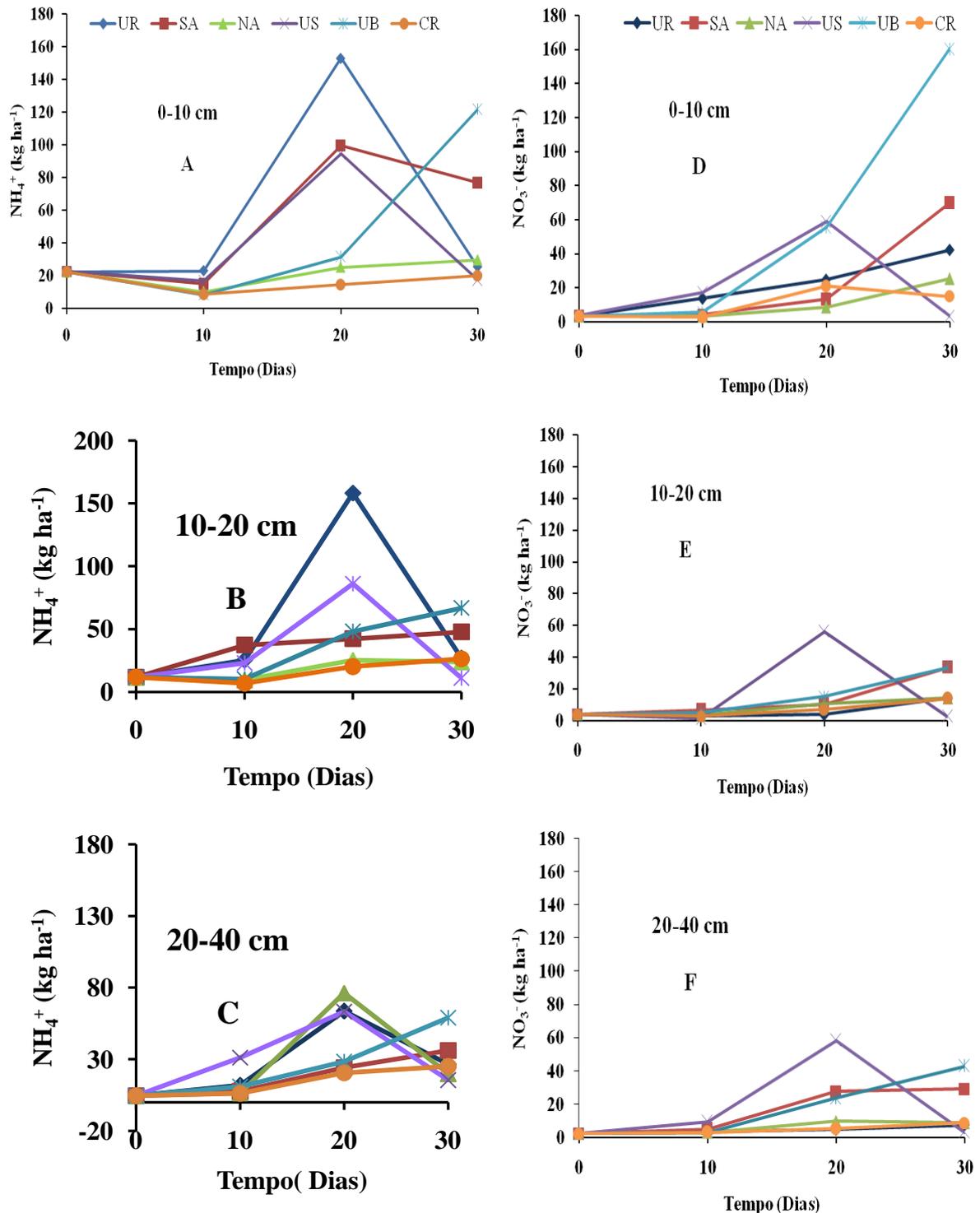


Figura 8 – Teores de amonio do solo nas profundidas 0-10 cm (A), 10-20 cm (B), 20-40 cm (C) e os teores de nitrato do solo 0-10 cm (D), 10-20 cm (E), 20-40 cm (F) em função dos dias após a aplicação de fertilizantes sobre o solo cultivado com cana-de-açúcar.

De acordo com Miller e Cramer (2004), a disponibilidade, a localização e formas de N encontradas no perfil do solo podem variar em decorrência das alterações nas taxas de amonificação, nitrificação e desnitrificação e das características dos íons NH_4^+ e NO_3^- . Lewis (1986) afirma que essas taxas são regidas por fatores que interferem diretamente na atividade microbiana, como pH, temperatura, aeração e umidade do solo. A predominância do NH_4^+ em relação ao NO_3^- na solução do solo é observada, em geral, em ambientes com baixo pH, baixa temperatura e alta umidade, com acúmulo de compostos fenólicos alelopáticos e anaerobiose (DJK e ECK, 1995) que inibem a nitrificação (STARK; HART, 1997).

A distribuição de nitrato e amônio em profundidade foi similar em todos os tratamentos, sendo que, em geral reduziram quando aprofundava no perfil do solo (Figuras 8). Resultados similares foram encontrados por Lara Cabezas e Souza (2008) com aplicação $54,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de UR e SA e Primavesi et al. (2006), com aplicação de 200 kg ha^{-1} de UR em pastagem no período chuvoso, em camadas equivalentes, em profundidade.

Nas camadas 0-10 e 0-20 cm com 20 dias ApF, o teor de amônio (145 kg ha^{-1} em 0-10 cm e 165 kg ha^{-1} em 0-20 cm) nas parcelas adubadas com UR, deferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 5 e Figura 8). Este fato se deve provavelmente foi consequência da hidrólise da ureia e sua incorporação após as chuvas ocorridas neste intervalo de tempo, ainda mais se tratando de solo arenoso (Tabela 1). A maior concentração de amônio em relação a nitrato é devido à ureia formar primeiramente amônio quando aplicada sobre o solo. Segundo Cantarella (2007), a hidrólise da ureia é relativamente rápida em solos com umidade e temperatura adequadas para o crescimento das plantas. Broadbent, Hill e Tyler (1958) descreveram que a ureia aplicada em doses iguais ou inferiores a 400 kg ha^{-1} em solos diferentes em temperatura controlada hidrolisou completamente em dois dias.

Com o uso de sulfato de amônio foram encontrados os maiores teores de nitrato no solo na camada 0-20, em relação aos outros tratamentos, exceto UB. Resultados semelhantes foram encontrados por Lara Cabezas e Souza (2008), que observam o mesmo comportamento de nitrato encontrado no perfil do solo (Figura 6B). Diferente das outras fontes, a variação dos teores de amônio no solo na camada 0-10 cm para o 20º e 30º dias ApF, foi de 23 e 83%, para o tratamento com UR (Figura 8A). Isso foi possivelmente devido ao potencial de acidificação de SA, uma vez que, conforme Cantarella (2007), a nitrificação é reduzida com a diminuição do pH do meio, ou ainda do mesmo manter o N do solo na forma de sulfato de amônio (COSTA et al., 2003; LARA CABEZAS; SOUZA, 2008). Por outro lado, como houve aumento nos teores de nitrato no solo, a de variação apenas 23%, pode ser devida a manutenção de estoque de amônio no solo pelo intenso processo de mineralização.

Dentre os tratamentos que receberam adubação, o NA foi o que apresentou menores teores de amônio e nitrato no solo (Figura 8), por esta fonte apresentar 50% de N-NO_3^- e 50% de N-NH_4^+ , sendo que a interferência no balanço das formas de nitrogênio no solo não foi tão significativa quanto à causada pelas outras fontes, o que pode ter ocorrido devido a rápida absorção pela cultura, ou como este tratamento recebeu menor quantidade de nitrato o mesmo pode ter sido imobilizado pelos microrganismos decompositores (CANTARELLA, 2007). Primavesi et al. (2006) verificaram maior teor de nitrato em solo fertilizado com ureia em relação ao fertilizado com nitrato de amônio, em estudo com gramíneas.

O comportamento do amônio no perfil do solo em US como fonte de nitrogênio foi semelhante aos demais (Figura 8). Contudo, a distribuição do nitrato no perfil do solo manteve-se uniforme para todas as camadas amostradas (Figuras 8 D, E e F). O comportamento do nitrato foi singular para esta fonte, devido à competição aniônica pelas cargas positivas do solo entre o SO_4^{2-} formado durante a oxidação do S^0 que compõe US e o NO_3^- . Segundo Oliveira, Vilela e Ayarza (2000), o uso de gesso agrícola nos Latossolos da região de Cerrado contribui com o aumento na lixiviação de nitrato, devido à competição deste com ânions do solo.

O pico dos teores de nitrato e amônio no solo fertilizado com UB ocorreu aos 30 dias ApF (Figura 8), provavelmente pela ação bactericida do cobre sobre os microrganismos decompositores, reduzindo as taxas de mineralização, uma vez que o nitrogênio advindo do fertilizante não se encontra disponível de imediato. O acúmulo de metais pesados reduz a biomassa microbiana, a atividade de várias enzimas e a estrutura da comunidade microbiana do solo diminuindo também a diversidade funcional dos microrganismos menos tolerantes aos metais pesados (DE MORA et al., 2006). O abrupto aumento nos teores de nitrato e amônio deve ser decorrente da redução da concentração de cobre em torno do grânulo, permitindo assim a assimilação do nitrogênio pelos microrganismos decompositores.

Os menores teores de amônio e nitrato encontrado no solo que não recebeu adubação nitrogenada (Figura 8) demonstram com clareza o efeito de fertilizantes minerais sobre a taxa de mineralização do N-orgânico do solo, visto que os teores totais de nitrogênio encontrado nos solos fertilizados foram em alguns casos, 3 vezes à quantidade de nitrogênio mineral fornecido. Segundo Cantarella (2007), a mineralização do N orgânico do solo é estimulada pela adição de fertilizantes nitrogenados. Vitti et al. (2007) observaram em um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, com aplicação de doses de N entre 40 a 120 kg ha⁻¹ que a adubação nitrogenada aumentou a velocidade de mineralização da palha. De acordo com Vitti

et al. (2008) as quantidades de N liberadas desses resíduos variaram de 3 a 30%, durante o ciclo seguinte da cultura de cana-de-açúcar .

De maneira geral, não foram observadas tendências de perdas por lixiviação de NO_3^- pelo perfil do solo (Figura 8). Resultados semelhantes foram encontrados por Primavesi et al. (2006) e Lara Cabezas e Souza (2008), ambos conduzindo experimentos com gramíneas, com dose de nitrogênio entre 50 e 250 kg ha⁻¹. As perdas por lixiviação são pouco relevantes nas condições brasileiras, geralmente inferior a 5% do N aplicado (VITTI, 2003), principalmente em solo cultivados com gramíneas, que podem apresentar baixas taxas de nitrificação (CANTARELLA, 2007).

4.3 Teores de nutrientes na diagnose foliar em função das fontes de nitrogênio

Houve resposta à adubação nitrogenada para os teores de nitrogênio nas folhas +1 no período de diagnose foliar (Tabela 6), devido a maior disponibilidade do nutriente no solo, tanto oriundo dos fertilizantes aplicados com da mineralização da N-orgânico do solo. Franco (2008) e Faroni et al. (2009) verificaram incremento no teor deste nutriente na folha diagnóstica, em resposta à adubação nitrogenada com níveis de N aplicado, entre 0 e 120 kg ha⁻¹ cana planta. Prado e Pancelli (2008) observaram que a aplicação de N promoveu aumento concentração no teor de N na segunda soqueira (15%), em relação à primeira (6%) com aplicação até 200 kg ha⁻¹ de N na primeira soqueira. Mesmo que se tenha encontrado resposta significativa do teor de N foliar, no controle não se observou sintomas de deficiência do nutriente, caracterizada pela clorose nas folhas mais velhas, que condiz com resultados encontrados por Prado e Pancelli (2008). Isto foi devido ao teor de N estar acima da faixa que poderia induzir alterações morfológicas (Tabela 7).

Quando contrastou a UR com as demais, fontes não foi encontrada diferença significativa no teor de nitrogênio na folha +1. Contudo, foram encontradas diferenças significativas entre US e UB, ocorreu devido aos maiores teores de N do solo fertilizado com o UB (Figura 9). Ainda, para o teor N na folha mais +1 foram encontradas diferenças significativas entre SA e NA, onde os maiores valores para esta variável com NA, se deve provavelmente a forma em que o nitrogênio é encontrado nesta fonte; contudo os teores de nitrogênio no solo com NA foram menores dos encontrados em SA, isto pode ser devido a redução dos teores de nitrato e amônio no solo neste tratamento ao longo do tempo, uma vez que foi observada esta tendência nos primeiros 30 dias após a adubação (Figura 6).

Tabela 6 - Contrastes ortogonais, significância e médias para o teor de macronutrientes na diagnose foliar da cana-de-açúcar

	N	P	K	Ca	Mg	S
Contraste	Teste F					
CR vs UR+SA+NA+UB+US	**	ns	ns	ns	ns	ns
UR vs SA+NA+UB+US	ns	**	ns	ns	ns	ns
SA+NA vs UB+US	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SA vs NA	**	ns	ns	**	**	ns
UB vs US	**	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamento	Médias					
	-----g kg ⁻¹ -----					
CR	18,6	1,8	12,4	6,9	3,0	2,7
UR	20,4	2,0	13,7	7,2	3,1	2,5
SA	18,4	1,8	14,7	6,5	2,5	2,6
NA	23,7	1,8	13,2	6,6	2,8	2,4
US	20,7	1,7	14,2	6,9	2,8	2,6
UB	23,3	1,8	14,2	7,4	3,1	2,9
C. V. (%)	6	6	13	6	9	10

CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre; ns = não significativo; *= significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

Os teores de K nas folhas +1 não apresentam diferença estatística para nenhum dos contrastes estudados (Tabela 6). Os teores de K na folha +1 variaram entre 12,4 e 14,7g kg⁻¹, estes teores estes, superiores aos encontrados por Prado e Pancelli (2008) na primeira soqueira, onde os teores de K não ultrapassaram 8,0 g kg⁻¹ mesmo com dose de N igual a 200 kg ha⁻¹. Prado e Pancelli (2008) também não encontraram resposta dos teores de K na folha +1 a adubação nitrogenada, pois, segundo Souza et al. (2006), os teores deste nutrientes na folhas estão relacionadas com os no solo.

A diferença estatística encontrada nos teores P na folha +1 (Tabela 6), na análise do contraste de UR contra as demais fontes, foi devida a diferença nos teores deste nutriente no solo (Tabela 9). A mesma regra aplica-se para a significância encontrada para o contraste NA vs SA com relação aos teores de Ca e Mg encontrados na folha +1. Franco (2008), não encontrou diferença significativa para os teores destes nutrientes na folha +1 em função da adubação nitrogenada em cana-planta, igualmente a Prado e Pancelli (2008) em cana-soca.

De modo geral, os teores de macronutrientes estão dentro da faixa de suficiência, em SA e CR, foram encontrados valores muito próximos do limite inferior da faixa de suficiência de nitrogênio (Tabela 6 e 7).

Tabela 7 - Concentrações adequadas de macronutrientes na folha-diagnóstico (F+1) para os canaviais do Estado de São Paulo, conforme Rajj e Cantarella (1997)

	N	K	P	Ca	Mg	S
	-----g kg ⁻¹ -----					
Faixa de suficiência	18,0 - 25,0	10,0 - 16,0	1,5 - 3,0	2,0 - 8,0	1,5 - 3,0	1,5 - 3,0

Os micronutrientes apresentaram dentro da faixa de suficiência em todos os tratamentos, de acordo com os teores sugeridos por Rajj e Cantarella (1997). Não foram encontradas diferenças estatísticas para os teores de micronutrientes na folha +1, exceto para o Zn, que apresentou resposta negativa a adubação nitrogenada (Tabela 8). Franco (2008) verificou decréscimo da extração de Zn pela parte aérea da cana-de-açúcar à medida que se aumentou a dose de N. Esse resultado encontrado, como em Franco (2008), devem-se provavelmente aos teores deste nutriente no solo, ou interação antagônica com outros nutrientes, como P, pois, segundo Alloway (2004), a interação de N e Zn por não ser competitiva, em muitos solos o N é o fator mais limitante na produção das culturas, com interações positivas encontrada com a aplicação conjunta de N e Zn.

Tabela 8 - Contrastes ortogonais, significância médias o teor de micronutrientes na diagnose foliar da cana-de-açúcar

Contraste	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Teste F				
CR vs UR+SA+NA+UB+US	ns	ns	ns	ns	*
UR vs SA+NA+UB+US	ns	ns	ns	ns	ns
SA+NA vs UB+US	ns	ns	ns	ns	ns
SA vs NA	ns	ns	ns	ns	ns
UB vs US	ns	ns	ns	ns	ns

Tratamento	Médias				
	-----g ha ⁻¹ -----				
CR	20,0	11,0	113,4	106,5	42,2
UR	20,5	9,7	116,2	88,1	34,3
SA	19,2	8,9	108,7	83,1	38,1
NA	19,9	9,3	106,5	84,5	36,4
US	20,1	10,1	106,6	95,9	36,1
UB	20,5	9,5	100,7	91,7	41,0
C. V. (%)	6	14	13	16	11

CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre; ns = não significativo; *= significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

Quanto aos atributos químicos do solo, verificou-se diferença significativa para o pH, H+Al, CTC e V%, com tendência de serem menores no tratamento controle, independente da profundidade. Estes fatores normalmente são influenciados direta ou indiretamente pela quantidade H⁺ na solução do solo (Tabela 9). A interferência da adubação nitrogenada nestes atributos se deve as transformações sofridas por este nutriente no solo. Segundo Cantarella (2007), quando o NH₄⁺ sofre oxidação há a liberação de H⁺, sendo que essa transição, contribui para redução do pH dos solos, principalmente quando este é submetido a fertilização nitrogenada amoniacal.

Sá (1999) observou queda de pH do solo após cultivo da sequência milho-trigo. Segundo o autor, a adição de 190 kg N ha⁻¹ provocou acidificação no solo. O mesmo foi observado por Muzilli (1983) e Franchini et al. (2000) em sequências de culturas que requeriam altas doses de N. Blevins, Murdock e Thomas (1977) e Staley e Boyer (1997) documentam também a redução do pH do solo em função da aplicação de N.

Tabela 9 – Características químicas do solo na época da realização da diagnose foliar

Trat.	Prof.	pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	Al ⁺³	H+Al	CTC	V
	cm	CaCl ₂	g dm ⁻³	-mg dm ⁻³ -		-----mmol dm ⁻³ -----					%	
CR	0-10	5,0	14	4	4	1,6	16	13	1	27	30,6	58
	10-20	4,6	13	15	4	1,1	16	13	1	33	29,8	62
	20-40	3,8	12	9	5	0,6	7	4	5	46	11,4	57
UR	0-10	4,6	16	6	4	1,7	16	11	1	25	46,2	71
	10-20	4,6	15	20	5	1,1	17	12	1	25	34,8	60
	20-40	4,1	15	12	5	0,9	11	6	6	49	16,9	66
SA	0-10	5,3	15	8	4	1,5	25	20	1	34	28,2	62
	10-20	5,1	15	15	4	1,0	19	15	2	35	29,6	64
	20-40	3,9	14	7	4	0,7	10	7	4	41	16,9	58
NA	0-10	4,5	15	8	4	1,4	16	11	1	34	27,9	62
	10-20	4,4	15	14	5	1,0	13	8	2	37	21,5	59
	20-40	3,9	16	9	6	0,7	10	5	4	47	15,9	63
US	0-10	5,0	15	8	5	1,3	17	11	1	27	28,8	56
	10-20	4,7	14	16	4	0,9	16	11	4	30	27,9	57
	20-40	4,1	12	7	5	0,6	10	6	2	42	15,9	58
UB	0-10	4,7	15	10	4	1,4	20	15	1	31	36,1	67
	10-20	4,5	15	4	4	1,3	12	12	4	41	25,1	66
	20-40	3,7	12	15	5	0,7	7	3	7	53	11,0	64
F –Trat.		*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
F- Prof.		**	**	**	*	**	**	**	**	**	ns	**
F-Trat.vsProf.		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)		8	13	75	20	39	32	43	93	19	11	25

Trat. = Tratamento; Prof.= CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre; ns = não significativo; *= significativo a 5%;** = significativo a 1%.

4.4 Exportação de nutrientes na forma de colmo

Não houve resposta significativa das quantidades nutrientes exportados à adubação nitrogenada (Tabela 10). Isto provavelmente ocorreu devido ao efeito de diluição entre as fontes, quando analisadas na forma de contrastes, pois houve diferença significativa entre US e UB para as quantidades de N e Mg. A maior exportação de N por US pode ser pelo maior suprimento de enxofre para as plantas ao longo do tempo, pois diferente do sulfato de amônio, que é rapidamente solubilizado em contato com água, ficando passível de perdas por lixiviação de sulfato. US tem o enxofre na forma elementar, sendo esta forma solubilizada lentamente ao longo do ciclo da cultura, e por isso menos sujeita a perdas por lixiviação do sulfato, confirmado também, pelo maior teor de S-SO₄⁻² no solo no momento da diagnose foliar. Lara Cabezas e Souza (2008) verificaram lixiviação de sulfato em solo cultivado com milho adubado com sulfato de amônio. Foloni e Rosolem (2006) observaram aumento

expressivo da lixiviação à medida que aumentaram as doses de sulfato de amônio em solo cultivado com algodão.

O efeito sinérgico entre N e S em plantas de cana-de-açúcar (cultivar NA56 79) foi observado por Batista (1977), com interação linear significativa, pois à medida que se aumentou à adubação nitrogenada ocorreu maior acúmulo de S pelas plantas. Bologna-Campbell (2007), trabalhando com técnica isotópica ^{34}S , também verificou efeito semelhante. Franco et al. (2007) e Faroni et al. (2009) observaram que as quantidades de N e S nas plantas, foram sinérgicas, ambas aumentaram com o acréscimo da adubação nitrogenada.

A interação entre N e S é importante e deve ser levada em conta em programas de adubação (CANTARELLA, 2007). Segundo Cantarella (2007), muitas vezes a deficiência de S reduz o aproveitamento do adubo nitrogenado. Boa parte do N nas plantas está na forma de proteínas. O S é constituinte dos aminoácidos (cisteína e metionina). A deficiência desse nutriente acarreta na diminuição da produção desses aminoácidos, assim as proteínas que os contêm não podem ser formadas. Plantas insuficientemente supridas com S não conseguem assimilar o N em proteínas e o N se acumula na forma de aminas, amidas e aminoácidos solúveis (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Além disso, as assimilações de N e S são bem coordenadas, com a deficiência de um elemento reprimindo a via assimilativa do outro (KOPRIVOVA et al., 2000 apud EPSTEIN; BLOOM, 2006). A regulação ocorre não apenas em nível de proteína, o que é esperado, dado a exigência de N e S nos aminoácidos, mas também na transcrição dos mRNAs codificando para as enzimas envolvidas na assimilação de N e S (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A diferença encontrada entre as quantidades de Mg exportadas pelas plantas em US e UB, remete também ao maior acúmulo de nitrogênio em UB (Tabela 9), uma vez que o Mg faz parte da molécula de clorofila e dos mecanismos fisiológicos da planta. O Mg é ativador de muitas enzimas dentro da planta. Quase todas as enzimas fosforilativas (incorporação ou transferência de P) dependem da presença do Mg, que forma uma ponte entre o ATP ou o ADP e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois compostos é fundamental nos processos da fotossíntese (fase luminosa e escura), respiração (glicólise e ciclo dos ácidos tricarbóxicos), reações de síntese de compostos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico, como o aprofundamento e a expansão da raiz (MALAVOLTA, 2006). Franco et al. (2007) em condições de vaso e Franco (2008) em condições de campo verificaram aumento da quantidade de Mg acumulado na cana-planta em função da adubação nitrogenada.

Dois contrastes apresentaram diferença significativa para as quantidades exportada de enxofre (Tabela 10). A ausência de enxofre na ureia foi o fator que gerou esta diferença para o contraste UR contra todas as outras fontes, Já no caso do contraste de SA+NA contra US+UB, a diferença estatística encontrada se deve a diferença entre as taxas de liberação de SO_4^{-2} das fontes de enxofre, anteriormente explicadas.

Tabela 10 - Contrastes ortogonais e significância para a exportação de macronutrientes pela cana-de-açúcar na forma de colmo, para produção 100 toneladas de colmo (TC)

Contraste	N	P	K	Ca	Mg	S
	Teste F					
CR vs UR+SA+NA+UB+US	ns	ns	Ns	ns	ns	ns
UR vs SA+NA+UB+US	ns	ns	Ns	ns	ns	*
SA+NA vs UB+US	ns	ns	Ns	ns	ns	*
SA vs NA	ns	ns	Ns	ns	ns	ns
UB vs US	*	ns	Ns	ns	**	ns
Tratamento	Médias					
	kg 100TCH⁻¹					
CR	77	13	61	6	11	9
UR	59	13	80	5	10	8
SA	65	14	70	7	12	9
NA	60	16	82	6	13	9
US	90	16	58	8	15	10
UB	61	16	58	6	10	9
C. V. (%)	16	35	34	35	15	6

CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre; ns = não significativo; *= significativo a 5%;** = significativo a 1%.

Para a exportação de micronutriente foram encontrados efeitos significativos apenas para o contraste de SA+NA contra UB+US, para a exportação de B e Mn, onde o UB+US apresentou a maior exportação (Tabela 11). A superioridade de um grupo em relação ao outro foi favorecida por US, devido ao maior acúmulo de N, o que leva a maior produção de massa seca. O maior acúmulo de B é devido ao mesmo atuar na lignificação da parede celular (SOBRAL; WEBER, 1983) uma vez, que quanto maior a quantidade de N maior a produção de massa seca. A exportação de Mn em US, também pode ser explicada pelo maior acúmulo de nitrogênio, uma vez que o Mn desempenha papel fundamental na respiração, participando de diversas reações no ciclo de Krebs. Participa também na síntese de proteínas, multiplicação celular, fotossíntese e na ativação enzimática da cana de açúcar (SOBRAL; WEBER, 1983).

Franco (2008) verificou aumento do incremento de Mn na massa seca da cana, em função da adubação nitrogenada.

Tabela 11 - Contrastes ortogonais, significância e médias para a exportação de micronutrientes pela cana-de-açúcar na forma de colmo, para produção 100 toneladas de colmo (TC)

Contraste	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Teste F				
CR vs UR+SA+NA+UB+US	ns	ns	ns	ns	Ns
UR vs SA+NA+UB+US	ns	ns	ns	ns	Ns
SA+NA vs UB+US	*	ns	ns	**	Ns
SA vs NA	ns	ns	ns	ns	Ns
UB vs US	ns	ns	ns	ns	Ns
Tratamento	Médias				
	-----g 100 TCH⁻¹-----				
CR	62	142	523	428	120
UR	62	139	880	509	85
SA	59	124	843	407	84
NA	57	85	699	354	113
US	84	126	564	504	86
UB	69	119	772	630	102
C. V. (%)	16	35	35	19	28

CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre; ns = não significativo; *= significativo a 5%;** = significativo a 1%.

4.5 Produtividade e parâmetros tecnológicos

Não houve diferença significativa na produção de colmos, bem como para os atributos tecnológicos em função das fontes de nitrogênio. A ausência de resposta à adubação nitrogenada pode ser devido ao N proveniente da matéria orgânica mineralizada, proporcionando incremento do N-disponível à cultura. Entretanto, a contribuição do N-orgânico do solo na nutrição da cana-de-açúcar só pode ser medida eficazmente com a utilização de técnicas isotópicas, conforme realizado por Vitti et al. (2011).

Também tem que ser considerada que muitas vezes o erro experimental elevado em ensaios de campo, não permitem a detecção de respostas moderadas ao nitrogênio aplicado, resultando em aumentos não significativos de produtividade observados em função da adição deste elemento (CANTARELLA; RAIJ, 1986). Entretanto, não é o caso do presente trabalho,

visto que o coeficiente de variação obtido para a produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar foi igual a 4%, ou seja, muito baixo (Tabela 11).

Tabela 12 - Contrastes ortogonais, significância e médias para os atributos tecnológicos e produtividade da cana-de-açúcar

Contraste	Brix	Pol Caldo	Pureza	Fibra	AR	PROD	ATR
CR vs UR+SA+NA+UB+US	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
UR vs SA+NA+UB+US	*	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
SA+NA vs UB+US	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
SA vs NA	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
UB vs US	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
Tratamento	Médias				t ha ⁻¹	kg t ⁻¹	
	-----%-----						
CR	20,1	17,9	88,9	13,4	0,57	116,5	163,9
UR	20,7	18,5	89,3	13,7	0,56	123,3	169,4
SA	19,6	17,5	89,3	13,9	0,56	112,2	160,8
NA	20,5	18,2	88,9	13,9	0,57	116,9	167,0
US	20,4	18,1	88,9	13,6	0,57	121,1	166,2
UB	19,6	17,3	88,5	13,5	0,58	116,4	159,0
C. V. (%)	4	5	1	4	6	10	4

AR=açúcares redutores; ATR= açúcar total recuperável por tonelada de colmos; PROD = Produtividade; CR = controle; UR= ureia convencional; SA= sulfato de amônio; NA= nitrato de amônio; UB= ureia revestido com ácido bórico e sulfato de cobre; US= ureia revestida com enxofre; ns = não significativo; *= significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

Em estudos com isótopo ¹⁵N, Gava e colaboradores (2001, 2003, 2005) observaram que maior parte do N total acumulado pela cultura da cana-de-açúcar provia de outras fontes e não dos fertilizantes nitrogenados. Franco e colaboradores (2011) observaram que na cana-soca a participação do N proveniente dos fertilizantes aplicados no ano corrente, varia entre 10 e 30%, sendo que na cana planta esta quantidade é ainda menor.

Prado e Pancelli (2008) não encontraram repostas da produtividade da primeira soca em função do aumento da dose de nitrogênio. Leite (2011) estudando diferentes fontes nitrogenadas não encontrou resposta a adubação nitrogenada na primeira soqueira. Gava et al. (2001) afirmam que as principais fontes de nitrogênio para as soqueiras são a mineralização da matéria orgânica nativa e dos restos vegetais e fixação biológica do N atmosférico por microrganismos fixadores. Desta forma, os resultados no primeiro ciclo de soqueira da cana-de-açúcar, relatando a ausência de resposta da soqueira à aplicação de N,

estão em desacordo com trabalhos de Silva et al. (1980) e Costa et al. (2003), e de acordo com os resultados de Urquiaga et al. (1998) e Leite (2011).

A ausência de diferença estatística para os atributos tecnológicos, exceto para o Brix, que apresentou pequena diferença para UR contra todas as fontes, também pode ser atribuído ao suprimento de nitrogênio para cana-de-açúcar por outras fontes, que não os fertilizantes minerais. Resultado semelhante foi encontrado por Franco (2008) em estudo com cana planta, onde o autor atribui a não significância, pelo fornecimento de N via mineralização da matéria orgânica do solo.

5 CONCLUSÕES

Nas condições deste do experimento, conduzido em Latossolo Vermelho Amarelo, em cana cana-de-açúcar de 2º corte, variedade SP83-2847, na região de Piracicaba, ano agrícola 2010/11, tem-se as seguintes conclusões:

1- A agregação de novas tecnologias à uréia resulta na redução das perdas de nitrogênio por volatilização de amônia. Contudo, as menores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia são encontradas com uso de nitrato e sulfato de amônio.

2- A adição de substância prontamente acidificante (ácido bórico) à ureia é mais eficiente na redução das perdas por volatilização e na exportação de nutriente pela cana-de-açúcar, em relação à adição de substância com ação gradual de acidificação(enxofre elementar).

3- O fornecimento de nitrogênio via fertilizantes convencionais bem como, por ureia com tecnologia agregada, promoveu elevação dos teores de amônio e nitrato no solo, sendo que as amplitudes desses teores variam de acordo com a fonte de nitrogênio.

4- A adubação nitrogenada promove melhor estado nutricional para a cana de açúcar, independente da fonte utilizada.

5 – Com a utilização de ureia revestida com ácido bórico e sulfato de cobre há maior conservação de nitrogênio mineral sobre o solo.

REFERÊNCIAS

- AL-KAISI, M.; LICHT, M.A. Effect of strip on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1164- 1171, 2004.
- ALLOWAY, B.J. **Zinc in soils and crop nutrition**. Brussels: International Zinc Association, 2004. 115 p.
- ALVAREZ V., V.H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H.; PEREIRA, N.F. Enxofre. In: NOVAIS, R.F. de; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 1, p. 595-644.
- ALVES, A.C. **Perdas de amônia por volatilização e emissão foliar em pastagem adubada com fontes de nitrogênio**. 2009. 72 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.
- BATISTA, L.F. **Aplicação de N, P e 35 S em dois solos de São Paulo e seus efeitos sobre a plana-de-açúcar**. 1977. 90 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.
- BHATIA, A.; SASMAL, S.; JAIN, N.; PATHAK, H.; KUMAR, R.; SINGH, A. Mitigating nitrous oxide emission from soil under conventional and no-tillage in wheat using nitrification inhibitors. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 136, p. 247-253, 2010.
- BLENNERHASSETT, J.D.; ZAMAN, M.; RAMAKRISHNAN, C.; QUIN, B.F.; LIVERMORE, N. Summary of New Zealand sustain trials to date. In: WORKSHOP DESIGNING SUSTAINABLE FARMS CRITICAL ASPECTS OF SOIL AND WATER MANAGEMENT, 2007, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston North: Massey University, Fertilizer and Lime Research Centre, 2007. p. 111–116. (Occasional Report, 20).
- BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W.; THOMAS, G.W. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 3, p. 383–386, 1977.
- BODDY, P.L.; BAKER, J.L. **Conservation tillage effects on nitrate and atrazine leaching**. St. Joseph: ASAE, 1990. 250 p.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanco de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I.; FARONI, C.E.; LANGE, A.; TRIVELIN, P.C.O. Perdas de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1106-1111, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia 2010**. Brasília, 2011. 225 p. (Boletim Técnico).

BROADBENT, F. E.; HILL, G.N.; TYLER, K.B. Transformation and movement of urea in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 22, p. 303–307, 1958.

CAMARGO, F.A.O. ; SILVA, L.S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. ; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. v. 1, p. 87-100.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralogia e física de solos**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 78).

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 422-423.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO BRASIL, 1984, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC; SBCS, 1986. p. 47-79.

CANTARELLA, H.; ANDRADE, C.A. de; MATTOS JUNIOR, D. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de N para as plantas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008. v. 1, p. 581-595.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; STIPP-ABDALLA, S.R.; VITTI, G.C. (Org.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. v. 1, p. 355-412.

CANTARELLA, H.; MATTOS JUNIOR, 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**, Dordrecht, v. 67, p. 215-223, 2003.

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., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: STAB, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008 b.

CARPENTER, M.; NAGELL, K.; TOMASELLO, M. Social cognition, joint attention, and communicative competence from 9 to 15 months of age. **Monographs of the Society for Research in Child Development**, Madison, v. 63, n. 4, p. 1-174, 1998.

CHAPERON, S.; SAUVÉ, S. Toxicity interaction of metals (Ag, Cu, Hg, Zn) to urease and dehydrogenase activities in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 39, p. 2329–2338, 2007.

CHITOLINA, J.C. **Uréia coberta com enxofre**: generalidade; aplicação em algumas culturas. Piracicaba: ESALQ, 1994. 20 p.

COMPANHIA DE NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A geração termoeétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil**: análise do desempenho da safra 2009-2010. Brasília, 2011. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res.pdf>. Acesso em: 07 set. 2011a.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar, safra 2010/2011 – segundo levantamento. Brasília, 2011. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011.pdf>. Acesso em: 07 set. 2011b.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H.. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, 2003.

CRAWFORD, N.M.; GLASS, A.D.M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 3, p. 389-395, 1998.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

DE DATTA, S.K. **Principles and practices of rice production**. New York: John Wiley, 1981. 618 p.

DE MORA, B.P.; MADEJON, E.; CABRESA, F.; JACCKEL, P.; SCHLOTTER, M. Microbial community structure and function in a soil contaminated by heavy metals: effects of plant growth and different amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 2, p. 327-341, 2006.

DJIK, E.; ECK, N. Ammonium toxicity and nitrate response of axenically grown dactylorhiza-incarnata seedlings. **New Phytologist**, London, v. 131, p. 361-367, 1995.

DOBERMANN, A.R. Nitrogen use efficiency - state of the art. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt.

Proceedings... Paris: IFA, 2005. p. 28-30.

DU, C.; TANG, D.; ZHOU, J.; WANG, H.; SHAVIV, A. Prediction of nitrate release from polymer-coated fertilizers using an artificial neural network model. **Biosystems Engineering**, London, v. 99, p. 478– 486, 2008.

ELMI, A.A.; MADRAMOOTOO, C.; HAMEL, C.; LIU, A. Denitrification and nitrous oxide to nitrous oxide plus dinitrogen ratios in the soil profile under three tillage systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 38, p. 340–348, 2003.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; OTTO, R. CANTARELLA, H. Estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar (cana-planta) em experimentos com 15N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1919-1927, 2009.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240 p.

FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.de. Internal drainage and nitrate leaching in a corn-black oat-corn succession with two split nitrogen applications. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 483-492, 2006.

FOLONI, J.S.S.; ROSOLEM, C.A. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão: I - Transporte de cátions e ânions no solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 425-432, 2006.

FOTH, H.D.; ELLIS, B.G. **Soil fertility**. 2nd ed. New York: Lewis Pub., 1996. 256 p.

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M.; GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459–467, 2000.

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada na cana planta**. 2008 128 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H.C.J., TRIVELIN, P.C.O., FARONI, C.E., VITTI, A.C., OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 67, p. 579–590, 2010.

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 521-526, 2007.

FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, E.C.A. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 12, p. 29–34, 2011.

FRANCO, J.A.M.; SARAIVA NETO, A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimentos de matéria-prima. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 722.

FURUTA, T; SCIARONI, R.H.; BREECE, J.R. Sulphur-coated urea fertilizer for controlled release on container-grown ornamentals. **California Agriculture**, Berkeley, v. 10, p. 4–5, Sept. 1967.

GAVA, G.J.C. **Utilização do nitrogênio da uréia (15N) e da palhada (15N) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo**. 1999. 81 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piaracicaba, 1999.

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, 2001.

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

_____. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 689-695, 2005.

GERMIDA, J.J.; JANZEN, H.H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. **Fertilizer Research**, Wageningen, v. 35, p. 101-114, 1993.

GHIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v. 96, p. 1443-1448, 2009.

GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 36, p. 129–135, 2002.

GIOACCHINI, P.; NICOLA, A.R.; MONTECCHIO, D.; MARZAORI, C.; CIAVATTA, C. Dynamics of mineral nitrogen in soils treated with slow-release fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 37, p. 1-12, 2006.

GIRARDI, E.A.; MOURÃO FILHO, F.A.A. Crescimento inicial de laranjeira ‘Valência’ sobre dois porta-enxertos em função da adubação nitrogenada no plantio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 117-119, 2004.

GOLLANY, H.; MOLINA, J.A.; CLAPP, C.; ALLMARAS, R.; LAYESE, M.; BAKER, J.; CHENG, H. Nitrogen Leaching and denitrification in continuous corn as related to residue management and nitrogen fertilization. **Environmental Management**, New York, v. 36, p. 289-298, 2004.

GROHS, M.; MARCHESAN, E.; SANTOS, D. E.; MASSONI, P.F.S.; SARTORI, G.M.S.; FERREIRA, R.B. Resposta do arroz irrigado ao uso de inibidor de urease em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 336-345, 2011.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Relação entre atributos de solos e oxidação de enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 31, p. 455-463, 2007.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Índice de mecanização na colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo e nas regiões produtoras paulistas, junho de 2007**. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/OUT/ver_Texto.php?codTexto=9240 Acesso: 07 jan. 2010.

JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. Measurement of sulfur oxidation in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 143, n. 6, p. 444-452, 1987.

KAMOGAWA, M.Y.; TEIXEIRA, M.A. Autoamostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, p. 1644 -1646, 2009.

KAOOSI, M. Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen recovery, and nitrogen use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 38, p. 69-76, 2007.

KIEHL, J.C. Nitrogênio: dinâmica e disponibilidade no solo. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 1987, Campinas. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 139-157.

KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Fate of ^{15}N -depleted ammonium nitrate applied to no-tillage corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 2, p. 240-242, 1984.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.; CHIMELLO, M.A.; LEONE, P.L.C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002.

LARA CABEZAS, W.A.R.&SOUZA, M.A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2331, 2008.

LARA CABEZAS, W.A.R.& TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH_3 volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH_3 na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p. 481-487, 1997a.

_____. Volatilização de N-NH_3 na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489-496, 1997b.

LARA CABEZAS, W.A.R.; RODRIGUES, C.R.; OLIVEIRA, S.M. de; BORGES, E.N. Utilização de uréia em misturas com sulfato de amônio ou com gesso na cultura de milho. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2343-2353, 2008.

- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Commucation Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v. 30, p. 389-406, 1999.
- LAWLOR, D.W. Relation between carbon and nitrogen assimilation, tissue composition and whole plant function. In: ROY, J.; GARNIER, E. (Ed.). **A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions**. The Hague: SPB Academic Publ., 1994. p. 47-60.
- LEITE, J. M. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- MACHADO, D.L. M.; LUCENA, C.C.; SANTOS, D.; SIQUEIRA, D.L.; MATARAZZO, P.H.M.; STRUIVING, T.B. Slow-release and organic fertilizers on early growth of Rangpur lime. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 359-365, 2011.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARY, B.; RECOUS, S. ; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 181, n. 1, p. 71-82, 1996.
- MILLER, A.J.; CRAMER, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 274, p. 1-36, 2004.
- MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 623 p.
- MUCHOVEJ, R.M.; NEWMAN, P.R. Nitrogen fertilization of sugarcane on a sandy soil: i. yield and leaf nutrient composition. **Journal American Society Sugar Cane Technologists**, Baton Rouge, v. 24, p. 210-224, 2004.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.
- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; WIERENGA, P.J. Nitrogen transport processing soil. In: STEVENSON, P.J. (Ed.). **Nitrogen in agriculture soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 423-448.

NÖNMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to Forest soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 309-318, 1973.

NORTON, J.M. Nitrification. In: SUMMER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. C160-C181.

OLIVEIRA, J.R.A.; VILELA, L.; AYARZA, M.A. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1199-1205, 2000.

OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; VITTI, G.C.; BENDASSOLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O. Volatilização de amônia proveniente da ureia (15N) aplicada em um solo cultivado com cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS DO CENA/USP, 3., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CENA, 1997. p. 28.

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 & Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 39-41, 1999.

OWEN, A.G.; JONES, D.L. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford., v. 33, p. 651-657, 2001.

OWENS, B.L.; EDWARDS, M.W.; VAN KEUREN, W. R. Groundwater nitrate levels under fertilized grass and grass-legume pastures. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 23, n. 4, p. 752-758, 1994.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Reduction and transport of nitrate. **Soil Microbiology and Biochemistry**, New York, v. 30, p. 147-162, 1989.

PEREIRA, H.S.; LEÃO, A.F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M.A.C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1685-1694, 2009.

PRADO, R.M.; PANCELLI, M.A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 2, p. 6-8, 2006.

_____. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 951-959, 2008.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coast cross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, p. 683-690, 2006.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H. 22 Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas, Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1997.

- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1997. 285 p.
- RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P.; COELHO, C.H.; GONDIN, A.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 937-941, 2006.
- REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1987.
- RILEY, N.G.; ZHAO, F.J.; McGRATH, S.P. Leaching losses of sulphur from different forms of sulphur fertilizers: a field lysimeter study. **Soil Use and Management**, Cambridge, v. 18, n. 2, p. 120-126, 2002.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. v. 1, p. 221-237.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição do solo**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA, DCS, 1999. cap. 2, p. 267-319.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. 2006. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics**. Versão 8.2. Cary, 2001.
- SCHJOERRING, J.K.; HUSTED, S.; MACK, G.; MATTSSON, M. The regulation of ammonium translocation in plants. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 53, p. 883-890, 2002.
- SCHREIBER, J.D., CULLUM, R.F. **Nutrient transport in loessial uplands of Mississippi**. St. Joseph: ASAE, 1992. 2612 p.
- SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-15.
- SILVA, E.C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) da uréia, do milho e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado**. 2005. 111 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, L.C.F.; ALONSO, O.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Efeito da complementação mineral da vinhaça na fertilização da cana-de-açúcar. **Saccharum**, São Paulo, v. 3, n. 11, p. 40-44, 1980.

SOBRAL, A.F.; WEBER, H. Nutrição mineral de cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. cap. 5, p. 103-124.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, p. 161-168, 2006.

STALEY, T.E.; BOYER, D.G. Short-term carbon, nitrogen and pH alterations in a hill-land Ultisol under maize silage relative to tillage method. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 42, n. 1/2, p. 115–126, 1997.

STARK, J.M.; HART, S.C. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests. **Nature**, London, v. 385, p. 61-64, 1997.

STUCZYNSKI, T.I.; MCCARTY, G.W.; SIEBIELEC, G. Response of soil microbiological activities to cadmium, lead, and zinc salts amendments. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, p. 1346–1355, 2003.

SU, X.L. CHEN, P.; QU, X. G.; WEI, W.Z; YAO, S. Z.; A novel flow-injection system for simultaneous determination of nitrate and nitrite based on the use of a zinc reductor and a bulk acoustic wave impedance detector. **Microchemical Journal**, Changsra, v. 59, p. 341-350, 1998.

TABATABAI, M.A. Effects of trace elements on urease activity. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 9, p. 9–13, 1977.

TANG, C.Y.; KWON, Y.N.; LECKIEA, J.O. Effect of membrane chemistry and coating layer on physiochemical properties of thin film composite polyamide RO and NF membranes: II. Membrane physiochemical properties and their dependence on polyamide and coating layers. **Desalination**, Amsterdam, v. 242, p. 168–182, 2009.

TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de uréase. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 493-502, 2011.

TORQUATO, S.A. Cana-de-açúcar para indústria: o quanto vai precisar crescer. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 1, n. 10, out. 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/cana_industria_000f17vggq702wyiv80isprrdnmik1s.pdf>. Acesso em: 07 set. 2011.

TRENKEL, M.E. **Improving fertilizer use efficiency**: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 123 p.

_____. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture.** Paris International Fertilizer Industry Association, 2010. 167 p.

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 15N aplicado ao solo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subproduto**, Piracicaba, v. 16, p. 23-29, 1998.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, 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. 636-646, 2002b.

TRIVELIN, P.C.O.; CARVALHO, J.G.; SILVA, A.Q.; PRIMAVESI, A.C.P.A.; CAMACHO, E.; EIMORI, I.E.; GUILHERME, M.R. Adubação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): Absorção e translocação de uréia-15N. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 52-65, 1988.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; RESENDE, A.S.; WEBER, H. **Efeito da queima, aplicação de N, irrigação e molibdênio na produtividade e acumulação de nitrogênio na cana de açúcar a longo prazo.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 13 p.

URQUIAGA, S.; LIMA, R.M.; XAVIER, R.P.; ALVES, B.J. R.; BODDEY, R.M. Avaliação da eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio em diferentes variedades de cana-de-açúcar. **Agronomia**, Seropédica, v. 37, n. 1, p. 55-58, 2003.

VARSA, E.C.; KELLER, K.E.; JEMISON, J.M.; OSBORN, M.W.; LEIS, A.K.; HNETKOVSKY, S.W. Nitrogenplacement inno-tillcorn. In: NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 1995, St. Louis. **Proceedings...** St. Louis: Potash & Phosphate Institute, 1995. p. 69-74.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade.** 2003. 114 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2003.

VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; ROSSETTO, R. Nutrição e adubação: nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: IAC, 2008a. p. 239-269.

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, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 5, p. 6-9, 2005.

- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 491-498, 2007.
- VITTI, A.C.; FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; FORTES, C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Utilisation of nitrogen from trash by sugarcane ratoons. **International Sugar Journal**, Glamorgan, v. 28, p. 249-253, 2010.
- VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C., FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 287-293, 2011.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 249-256, 2007b.
- VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOVAJAR, J.G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2757-2762, 2008b.
- VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. FUNEP. Jaboticabal, 1989. 37 p.
- VITTI, G.C.; TAVARES JÚNIOR, J.E. ; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L.; COSTA, M.C.G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 663-671, 2002.
- VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf on base soils. **Agronomy Journal**, Madison , v. 51, p. 746-749, 1959.
- WATSON, C.J. **Urease activity and inhibition: principles and practice**. London: The International Fertilizer Society, 2000. 40 p.
- _____. Urease inhibitors. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-10.
- WEIDENFELD, R.P. Sugarcane response to N fertilizer application on clay soil. **Journal American Society Sugar Cane Technologists**, Baton Rouge, v. 17, p. 7-12, 1997.
- WU, L.; LIU, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 72, p. 240-247, 2008.

XAVIER, R.P. **Adubação verde em cana-de-açúcar: influência na nutrição nitrogenada e na decomposição dos resíduos da colheita.** 2000. 69 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

YADAV, R.L. Enhancing efficiency of fertilizer N use sugarcane by ring-pit method of planting in sugarcane by ring-pit method of planting. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 6, n. 3, p. 169-171, 2004.

ZAMAN, M.; NGUYEN M.L.; BLENNERHASSETT, J.D.; QUIN, B.F. Reducing NH_3 , N_2O and NO^{-3} -N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 44, p. 693–705, 2008.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de nitrogênio, nutrição e produtividade da cultura do milho com a aplicação de uréia de liberação controlada.** 2010. 69 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.