Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Eficiência agronômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio

Michele Xavier Vieira

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

Piracicaba
2009

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Michele Xavier Vieira
Engenheira Agrônoma

Eficiência agronômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN**

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

Piracicaba
2009

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

Vieira, Michele Xavier
Eficiência agronômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio / Michele Xavier Vieira. - - Piracicaba, 2009.
134 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Adubação 2. Cana-de-açúcar 3. Fertilizantes nitrogenados I. Título

CDD 633.61
V658e

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

Aos meus amados pais,

Zilda Xavier Vieira e José Vieira, pelo amor incondicional, incomparável dedicação, incentivo e exemplos de caráter;

Ao meu irmão,

Alex Xavier Vieira, pelo exemplo de humildade, humanidade e momentos felizes;

Aos demais familiares,

Por fazerem parte da minha formação pessoal.

OFEREÇO

Ao meu amado **Marcio Mahmoud Megda**

Pelo exemplo de perseverança, amor verdadeiro, incansável dedicação e companheirismo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, amor incondicional, oportunidades e permissão para a concretização de mais esta conquista.

Ao Professor Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pela confiança, ensinamentos, orientação exemplar, incansável dedicação e exemplos de ética profissional.

À ESALQ, pelo ensino de qualidade, oportunidades e apoio estrutural.

Ao Departamento de Ciência do Solo e Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pelo aperfeiçoamento e oportunidades oferecidas.

Ao CENA/USP, em especial aos Professores e funcionários do Laboratório de Isótopos Estáveis, pelo suporte técnico, laboratorial e pessoal.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos no período de agosto de 2007 a julho de 2009.

Aos colegas de Pós-Graduação: Henrique Coutinho Junqueira Franco, Rafael Otto, Virginia Damin, Emídio Cantídio e Raul sartori pela amizade, agradável convívio e valiosos auxílios.

Ao Marcio Mahmoud Megda, pelas contribuições científicas e auxílio em parte das determinações realizadas na segunda fase desse trabalho de dissertação.

Às minhas queridas e inseparáveis amigas Flávia Garcia Silva e Vilma Ferreira Lima pela amizade verdadeira, momentos de alegria, e exemplos de superação.

Aos amigos Diogo Carneiro de Melo e Weliton Dias pela sincera amizade, agradável convívio, disposição em ajudar sempre e por serem nossa família aqui em Piracicaba.

Aos colegas de Pós-graduação: Adriana G. Artur, Fabiano D. de Bona, Adna V. Dutra, Cristiane P. Silveira, Magnus D. Deon, Elisângela Dupas e Tiago Garcez pelo agradável convívio e amizade.

Ao Professor Francisco Maximino Fernandes pela orientação durante a graduação e iniciação no meio científico.

À Usina Iracema, pela concessão da área para a realização desta pesquisa, assim como as equipes de campo, sem as quais nada disto seria possível.

À Raudi Indústria e Comércio pelo apoio financeiro durante a primeira etapa deste projeto.

À equipe técnica responsável pelo projeto NH_4Cl: Prof. Dr. Paulo Cesar O. Trivelin – coordenador, Henrique Coutinho Junqueira Franco, Carlos Eduardo Faroni, Rafael Otto, André César Vitti, Matheus Olivetti Trivelin, sem os quais não seria possível a realização deste projeto.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), especialmente, Carlos Eduardo Faroni, José Anderson Forti, Claudimir Pedro Penatti e José Luiz Donzelli, pela parceria no Projeto e apoio nas avaliações de campo.

Aos Funcionários e Professores do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP pelo apoio e respeito.

Ao Professor Antonio Francisco Monteiro pelo agradável convívio, confiança e conhecimentos transmitidos durante o Estágio Supervisionado (Programa PAE) da disciplina de graduação Nutrição Mineral de Plantas.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente participaram de mais essa etapa da minha vida.

MUITO OBRIGADA!

Thomas Edison fez 2000 experiências até inventar a lâmpada. Um jovem repórter perguntou o porquê de tantos fracassos. Edison respondeu: “Não fracassei nem uma única vez. Inventei a lâmpada. Acontece que foi um processo de 2000 etapas”. Por isso não devemos pensar que o nosso tempo passou, enquanto aqui estivermos sempre haverá algo para aprender e muito a fazer.

(Autor desconhecido)

SUMÁRIO

RESUMO.....8
ABSTRACT.....9
1 INTRODUÇÃO.....17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....21
2.1 Setor sucroalcooleiro brasileiro: importância econômica e perspectivas.21
2.2 Importância do nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar.....23
2.3 Adubação nitrogenada no sistema de "cana crua".....25
2.4 Características das principais fontes nitrogenadas.....28
2.5 Cloreto de amônio: fonte alternativa de nitrogênio.....31
2.6 Efeito residual do nitrogênio no solo e na cultura da cana-de-açúcar. 34
2.7 Assimilação do nitrogênio e atividade da redutase do nitrato.....38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....43
3.1 Local do experimento.....43
3.2 Características do cultivar de cana-de-açúcar SP89 1115.....43
3.3 Caracterização química e física do solo.....43
3.4 Histórico de produtividade da cana-de-açúcar no local do experimento.....45
3.5 Delineamento estatístico e tratamentos.....45
3.6 Implantação e desenvolvimento do experimento.....46
3.6.1 Segunda rebrota de cana-de-açúcar (safra 2006/2007).....46
3.6.2 Terceira rebrota de cana-de-açúcar: Efeito do N-residual (safra 2007/2008).....49
3.7 Balanço climatológico durante o ciclo da cana soca de segunda e terceira rebrota.....53
3.8 Análise dos resultados.....54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....55
4.1 Segunda rebrota de cana-de-açúcar (safra 2006/2007).....55
4.1.1 Características agronômicas da cana soca relacionadas à adubação nitrogenada.....55
4.1.2 Concentrações de macronutrientes na folha-diagnóstico (F+1).....66

4.1.3 Balanço climatológico no ciclo da cana soca (segunda rebrota) 72
4.1.4 Produtividade de colmos e atributos tecnológicos na colheita da cana soca (segunda rebrota) relacionados com a adubação nitrogenada ... 75
4.2 Efeito do N-residual no ciclo da cana soca de terceira rebrota 83
4.2.1 Concentrações de macronutrientes na folha-diagnóstico e características químicas do solo 83
4.2.2 Balanço climatológico no ciclo da cana soca (terceira rebrota) 93
4.2.3 Produtividade de colmos e atributos tecnológicos na colheita da cana soca (terceira rebrota) relacionados ao N-residual 95
4.2.4 Atividade da enzima redutase do nitrato (RNO_3) 102
5 CONCLUSÕES 115
REFERÊNCIAS 117

RESUMO

Eficiência agronômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio

A maior dificuldade de incorporação no solo dos fertilizantes nitrogenados é preocupante no sistema de “cana crua” e, uma vez, que a uréia é a fonte mais utilizada, pode-se incorrer em riscos de perdas de NH_3 por volatilização. Nesse sentido, foi realizado experimento em campo (LATOSSOLO VERMELHO Argiloso Distrófico) com o objetivo de avaliar a eficiência agronômica do cloreto de amônio em relação a outras fontes comerciais de N em soqueira de segundo corte (cultivar SP89 1115), bem como o efeito do N-residual no ciclo subseqüente (terceira rebrota). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de quatro fontes nitrogenadas: cloreto de amônio (CA), nitrato de amônio (NA), sulfato de amônio (SA) e uréia (U), aplicados na dose de 120 kg ha^{-1} de N, enquanto que o cloreto de amônio foi aplicado nas doses de N: 60, 120 e 180 kg ha^{-1}. Incluiu-se um tratamento testemunha sem adição de N-fertilizante. A cana soca de segundo corte foi colhida em novembro de 2006 e em dezembro de 2006 foram aplicados os tratamentos. A colheita mecanizada sem queima prévia do canavial foi realizada em novembro de 2007 e em dezembro de 2007 foi aplicado 450 kg ha^{-1} do formulado 20-5-19, visando avaliar o efeito do N-residual dos tratamentos implantados em dezembro de 2006. Para a safra 2006/2007 a maior produção de colmos e Pol da cana em t ha^{-1} relacionadas à fonte de nitrogênio foram obtidas no tratamento SA, diferindo-se significativamente da testemunha, não diferindo porém dos tratamentos U e CA. As maiores médias de concentração foliar (F+1) para nitrogênio foram dos tratamentos com adubação nitrogenada, promovendo efeito positivo nas concentrações foliares de P, Mg e S. A produtividade de colmos (TCH) na colheita de novembro de 2006 respondeu de forma linear ao incremento das doses de N na forma de cloreto de amônio. As margens de contribuição agrícola foram positivas para todos os tratamentos, inclusive para a testemunha. Com relação ao efeito do N-residual na safra 2007/2008, verificou-se em geral, que as concentrações de macronutrientes na F+1 de cana-de-açúcar estavam dentro da faixa considerada adequada para o Estado de São Paulo. O N-residual das doses de CA resultou em significativa redução na produção de colmos (TCH) e açúcar (TPH). Para o N-residual das fontes de N, o tratamento SA foi o que apresentou a maior produção de colmos, diferindo dos tratamentos U e CA. O N-residual do tratamento SA120 foi o que apresentou a melhor relação custo-benefício para a produção de colmos. Concluiu-se, que a fonte CA na dose de 120 kg ha^{-1} de N em adubação de soqueira de segundo corte mostrou-se agronomicamente eficiente em relação às fontes de N comumente utilizadas pelo setor canavieiro, apresentando menor eficiência do N-residual no ciclo subsequente.

Palavras-chave: *Saccharum spp;* Fontes de nitrogênio; Doses de nitrogênio

ABSTRACT

Agronomic efficiency of the sugarcane ratoon fertilization with ammonium chloride

The greatest difficulty of incorporation into the soil of nitrogen fertilizer is worrying in the system of "green cane" (sugar cane harvested without burning), and once that urea is the nitrogen source most used, we can incur risks of loss by volatilization of NH_3. Accordingly, an experiment was conducted in the field (Distrofic Red Oxisol clayed) to evaluate the agronomic efficiency of ammonium chloride in relation to other commercial sources of N in a second harvested sugarcane ratoon (cultivar SP89 1115), and the effect of residual-N in the subsequent agricultural cycle of growth (third sugar cane ratoon). The experimental design was a randomized block design with four replications. The treatments consisted of four nitrogen sources: ammonium chloride (AC), ammonium nitrate (AN), ammonium sulfate (SA) and urea (U), applied at a dose of 120 kg ha^{-1} of N, while the ammonium chloride was applied at doses of N: 60, 120 and 180 kg ha^{-1}. It was included a control treatment without addition of fertilizer-N. The mechanical harvesting of second sugar cane ratoon was performed in November of 2006 (without burning) and in December of 2006 the treatments were applied. The harvest of third sugarcane ratoon without prior burning was held in November of 2007 and in December of 2007 was applied 450 kg ha^{-1} made of a formule 20-5-19, to evaluate the effect of residual-N. For the 2006/2007 agricultural growth season of sugarcane ratoon the greatest production of sugar cane stalks and Pol in t ha^{-1} related to the nitrogen source were obtained in the SA treatment, and it was significantly different from control treatment, but not differing from the U and CA treatments. The highest average concentration of leaf nitrogen (L+1) were for the treatments with nitrogen, promoting positive effect on foliar concentrations of P, Mg and S. The productivity of stalks (TCH) in the final harvest (November of 2006) responded linearly to the doses of N as ammonium chloride. The margin of agricultural contribution were positive to all treatments, including the control. Regarding the effect of residual fertilizer-N in the agricultural growth season of 2007/2008, there was in general, the concentration of nutrients in the L +1 of sugarcane were within of the considered appropriate range for sugarcane growth in the State of São Paulo. The residual doses-N of AC resulted in significant reduction in the production of stalk (TCH) and sugar (TPH). The residual-N from the SA treatment showed the highest production of stalks, differing from the U and AC treatments. The residual-N from the treatment SA120 showed the most cost-effective for the production of stalks. It was concluded that the AC source at a dose of 120 kg ha^{-1} of N fertilization was shown to be agronomically effective in relation on N sources commonly used by the sugarcane sector in Brazil, showing lower efficiency of residual-N in the subsequent agricultural growth cycle.

Keywords: *Saccharum spp*; Nitrogen sources; Nitrogen doses

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação da sociedade mundial com o ambiente vem gerando pressão sobre o uso de combustíveis fósseis, os quais, além de contribuir sobremaneira para o efeito estufa no planeta, são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Atualmente, o etanol é considerado a mais viável alternativa ao petróleo e, a cana-de-açúcar a cultura mais promissora dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial. As pressões sociais, para reduzir a emissão de CO_2 e de partículas sólidas sobre as áreas urbanas, intensificaram a colheita da cana-de-açúcar sem a queima prévia da palhada (colheita da “cana-crua”).

A mudança do sistema de colheita de cana com prévia despalha a fogo para “cana crua” colhida mecanicamente é um processo irreversível, estando previsto na legislação aplicada ao setor sucro-alcooleiro. Essa mudança representa vantagens, dentre outras, voltadas à conservação do solo, manutenção da umidade e reciclagem de nutrientes. No entanto, implicará numa maior dificuldade para a aplicação dos fertilizantes, devido à necessidade de incorporá-los durante o cultivo, especialmente no caso da cana-de-açúcar colhida mecanicamente sem despalha a fogo, em que uma quantidade significativa de resíduos (folhas secas, ponteiros e pedaços de colmos) são deixados sobre a superfície do solo.

Essa dificuldade é até certo ponto preocupante, haja vista que a uréia é o fertilizante utilizado em maior quantidade devido a sua economicidade, ampliando os riscos de perdas de NH_3 por volatilização quando alocada superficialmente em solos coberto por palhada. Ao entrar em contato com a urease presente no solo e em resíduos vegetais, a uréia sofre hidrólise, produzindo carbonato de amônio [$(NH_4)_2CO_3$], o qual causará a elevação do pH ocasionando a emissão de gás de amônia (NH_3) para a atmosfera (COSTA, 2001).

O cloreto de amônio (NH_4Cl), subproduto da produção de barrilha (carbonato de sódio - Na_2CO_3) surge, portanto, como fonte alternativa de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar, já que contém 25-26% e 66%, respectivamente, dos elementos nitrogênio e cloro. Resultados de pesquisas no exterior demonstraram boa eficiência do

cloreto de amônio na produção de arroz e por isso no Japão e na Índia o composto é muito usado como fertilizante nesses cultivos (TISDALE et al., 1985; ASHRAF et al., 2005; COELHO et al., 2006).

Um aspecto pouco estudado é o efeito residual dos fertilizantes minerais nitrogenados após sua aplicação, ou seja, seu acúmulo no solo, principalmente quando se considera que o elemento nitrogênio se transforma com relativa facilidade e rapidez. A cana-de-açúcar, por apresentar vários ciclos de crescimento que antecede o seu replantio, é considerada uma cultura semiperene. Nesse aspecto deve-se pensar nos benefícios que as adubações nitrogenadas poderão proporcionar ao longo dos anos ou em safras sucessivas. Em virtude das dificuldades encontradas no manejo da fertilização nitrogenada, nas condições de cana-crua, são raros os trabalhos em que a cana-de-açúcar utiliza mais de 40 % do N-fertilizante (TRIVELIN et al. 1996, 2002), sendo essa baixa recuperação atribuída, em parte, ao efeito residual do fertilizante no solo, em razão de sua elevada imobilização, e às perdas do N no sistema solo-planta-atmosfera.

A reciclagem de nutrientes imobilizado na palhada da cultura no sistema de “cana-crua” é lenta, verificando-se que na melhor das condições 20% da matéria seca e 18% do N são mineralizados. Resultados de pesquisas indicam que o manejo do N no sistema de “cana crua” deve ser modificado em relação ao tradicionalmente adotado com despalha a fogo (cana queimada). As altas relações C/N, C/P e C/S, iguais a 97, 947 e 695 na palha recém colhida e 68, 552 e 455 na palha remanescente após cerca de 12 meses, respectivamente, evidenciam que o N não está disponível para a cultura no período considerado (OLIVEIRA et al., 1999a).

Ao contribuir de forma efetiva para aumentar a disponibilidade de matéria orgânica no solo e reduzir a sua velocidade de mineralização, promovendo a liberação gradativa do nitrogênio para as culturas, o sistema de cana-crua se destaca como estratégia eficaz não só para diminuir os gastos com fertilizantes nitrogenados a longo prazo, mas também por reduzir os riscos de contaminação das águas subterrâneas, preservando a qualidade ambiental.

Dessa forma, são importantes os estudos que avaliem a fonte de nitrogênio de maior eficiência agronômica, assim como a dose mais adequada do adubo nitrogenado

para a cultura, a fim de permitir recomendações que visem aumentos de produtividade sem causar danos ao ambiente, levando-se em conta, também, a necessidade do aumento da longevidade dos canaviais.

Pelo exposto, podem-se formular as seguintes hipóteses:

1. A cana soca, respondendo em produtividade à aplicação de nitrogênio, a escolha da fonte nitrogenada nas adubações de soqueiras recairá sobre aquela que apresentar a melhor relação custo-benefício.

2. Levando-se em conta a necessidade de redução dos custos de produção, o nitrogênio residual da fonte de maior eficiência em uma safra, assim como a dose mais adequada de adubo, poderá proporcionar aumentos de produtividade no ciclo subseqüente.

Com base nestas hipóteses, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência agronômica da fonte cloreto de amônio como adubo nitrogenado para a cultura da cana-de-açúcar, comparando-a com as fontes comerciais: nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia, além do efeito residual do N dessas fontes no ciclo agrícola subseqüente ao de sua aplicação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Setor sucroalcooleiro brasileiro: importância econômica e perspectivas

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, representando 31,4% da produção mundial, de 1,3 bilhões de toneladas, liderando o ranking mundial de produção e exportação de açúcar. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística a produção agrícola do Brasil na safra 2008/2009 foi da ordem de 559 milhões de toneladas, o que representou um crescimento de 19,2% em relação a 2007. A expansão da área plantada em 16%, de sete milhões de hectares para oito milhões de hectares, foi reflexo dos novos projetos de unidades sucroalcooleiras que estão sendo implantados no país para atender a demanda de álcool, ainda a principal responsável pelo crescimento da produção da cana-de-açúcar. As regiões Sudeste e Centro-Oeste, respondem por aproximadamente 87% da produção nacional, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor nacional, detentor de cerca de quatro milhões de hectares da área cultivada com cana-de-açúcar em todo o país, possuindo 50% de toda cana cultivada no Brasil (FNP CONSULTORIA & COMERCIO, 2009).

Segundo projeções do setor sucroalcooleiro, para a safra 2009/2010 estima-se que a produção nacional de cana-de-açúcar deverá atingir 579 milhões de toneladas, que serão transformadas em 26 bilhões de litros de álcool e 32 milhões de toneladas de açúcar. De acordo com a União da Indústria de cana-de-açúcar o setor sucroalcooleiro terá grande expansão devido a três fatores de natureza independente, mas que estão ocorrendo simultaneamente nos dias atuais, a saber: crescente demanda interna pelo álcool, com o sucesso comercial dos veículos flex; crescente demanda mundial por álcool como decorrência das suas qualidades ambientais e exportação crescente pela competitividade brasileira e, finalmente, pela redução dos subsídios à exportação de açúcar pela União Européia (UNICA, 2009).

Apesar da crise financeira mundial e das dificuldades vivenciadas por usineiros e produtores de cana-de-açúcar na safra 2008/2009, o setor de bioenergia no Brasil se mantêm otimista para os próximos anos. São vários os fatores que têm proporcionado boas perspectivas para o setor, como o consumo crescente de açúcar no mundo a uma

razão de 2% ao ano; estímulo do governo à produção de biocombustível (etanol e biodiesel), dado suas características de clima, solo, disponibilidade de áreas, domínio técnico e econômico das atividades, além do aumento na produção de álcool, que atingiu aproximadamente 24,3 bilhões de litros na safra 2008/2009 - crescimento de 19% em relação à safra passada (COPLANA, 2009).

Os fertilizantes e defensivos agrícolas têm sido alvos freqüentes de críticas quando o assunto é o custo de produção, devido sua elevação, seja no setor sucroalcooleiro ou em outras culturas. A justificativa para a alta dos preços tem ligação com a importação de matérias-primas para a produção de adubos e defensivos, já que cerca de 60% do nitrogênio, 50% do fósforo e 90% do potássio utilizados na fabricação de fertilizantes no Brasil vêm de outros países. Em 2007, o país gastou aproximadamente US$ 17 bilhões na importação de matérias-primas oriundas da Rússia, Bielo-Rússia, Canadá, Marrocos, entre outros. Nestes números estão inclusos os custos com transporte marítimo e impostos. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos, o Brasil ocupa a quarta posição no consumo mundial de fertilizantes, perdendo apenas para a China, Índia e EUA (ANDA, 2009).

A explicação para o aumento nos preços dos adubos está diretamente relacionada ao desequilíbrio na demanda agrícola internacional. Houve uma enorme procura por alimentos, talvez motivada pela entrada no mundo capitalista de países que, até então, tinham suas populações mal alimentadas, como a China e a Índia. A pressão sobre a produtividade agrícola refletiu na demanda por fertilizantes e suas matérias-primas, com isso, os preços se elevaram em todo o mundo.

Estudos recentes a respeito da demanda de nitrogênio no Brasil indicaram que as principais culturas consumidoras de adubos nitrogenados são milho, cana, café e algodão, as quais, no futuro, serão responsáveis por cerca de 80% do consumo de N disponível no país. Com a efetiva expansão da cana-de-açúcar e do milho no Brasil, este último devido ao maior direcionamento de parte do produto americano para a produção de álcool, serão necessárias, seguramente, maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados para garantir a produtividade e competitividade dos biocombustíveis produzidos no Brasil (FACRE, 2007).

Como cerca de 50% da responsabilidade pelo aumento de produtividade agrícola se deve aos fertilizantes (FAO, 2009), e considerando o papel preponderante do N na agricultura, o adequado suprimento e uso dos fertilizantes nitrogenados se tornam primordial para que o país possa se tornar um grande produtor agrícola mundial.

2.2 Importância do nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar

Com enfoque ao manejo nutricional da cultura, muitos trabalhos encontrados na literatura mostram a importância do N para a cana-de-açúcar. Não há função na vida da planta da qual o N não participe (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Como o nitrogênio é parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos, participando direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos, a sua carência promoverá a redução na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais, e também da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (MALAVOLTA et al., 1997). Apesar de o nitrogênio contribuir com 1%, em média, na matéria seca da cana-de-açúcar, seu papel é tão importante quanto ao do carbono, hidrogênio e oxigênio, que constituem juntos, mais de 90% da fitomassa seca da planta (EPSTEIN, 1975; CARNAÚBA, 1990; MALAVOLTA et al.,1997).

A necessidade da cana-de-açúcar por nitrogênio é em parte suprida pelo fornecimento do nutriente por meio de fertilizantes (PENATTI E FORTI, 1994), sendo que o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) recomenda a dose média de 100 kg ha^{-1} de N em soqueiras de cana-de-açúcar (FIGUEIREDO et al., 1998). Desse modo pode-se presumir que, em diversas condições, essa recomendação de adubação nitrogenada ora pode ser em determinações condições subestimada e em outras superestimada.

No solo, o nitrogênio disponível às plantas é suprido pela mineralização da matéria orgânica, tanto a nativa como a recém incorporada, pela fixação biológica e pela adição de fertilizantes nitrogenados. No ciclo da cana-planta deve-se também considerar como fonte de nitrogênio o nutriente contido no tolete de plantio (colmo-semente) e, para as soqueiras, as reservas em rizomas e raízes (TRIVELIN, 2000).

A cana-de-açúcar é uma cultura eficiente em aproveitar o N do solo, devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante. Grande número de estudos com fertilizantes marcados com ^{15}N tem mostrado que a maior parte do N absorvido pela planta vem do solo (CANTARELLA; TRIVELIN; VITTI, 2007), tendo em vista que a contribuição dos fertilizantes nitrogenados em relação ao N total acumulado pela cana-de-açúcar é baixo.

Embora a cultura da cana-de-açúcar retire do solo elevadas quantidades de nitrogênio (IAA/Planalsucar, 1983), a cana-planta normalmente não responde ou responde muito pouco à adubação nitrogenada, enquanto a cana soca apresenta maiores possibilidades de respostas positivas a essa adubação (ZAMBELO JUNIOR E ORLANDO FILHO, 1981). A maior compactação do solo nas soqueiras, além das condições de baixa temperatura e umidade, resulta em uma menor atividade microbiana. Além disso, a decomposição de matéria orgânica (M.O) de alta relação C:N (restos de culturas e raízes), num período de grande exigência em N pela cultura, faz com que qualquer adição de N ao solo seja acompanhada por uma rápida resposta de soqueiras, em termos de crescimento e aumento de produtividade (ANJOS, 1995).

Segundo Das (1936), o N aumenta o comprimento dos colmos da cana-de-açúcar, o que provoca redução na espessura da parede celular, podendo levar à redução na porcentagem de fibras na planta. Existem relatos de que ocorre aumento linear na quantidade de açúcar produzida por hectare com as doses de N, apesar de resultar, também, em elevação no teor de umidade de colmos, causando redução no teor de sacarose (KORNDÖRFER e MARTINS, 1992).

O fertilizante nitrogenado aplicado ao solo estará, também, envolvido nas várias reações do N no solo. Por isso, na prática, é difícil determinar a quantidade exata de N que a cana-de-açúcar necessita para atingir a produção máxima econômica, pois sua disponibilidade no solo é um processo dinâmico e varia com as mudanças no teor de umidade e temperatura, tipo de fertilizante, ocorrência de doenças, pragas e plantas daninhas e práticas de manejo da cultura. A aplicação de fertilizante altera a quantidade de nitrogênio disponível, favorecendo a mineralização da matéria orgânica existente no solo, com conseqüente aumento do N disponível para as plantas (MALAVOLTA, 1976).

2.3 Adubação nitrogenada no sistema de “cana crua”

A partir do ano de 1997, por força de legislação Brasileira, a colheita de cana queimada no Estado de São Paulo passou a ser substituída gradualmente pela colheita de cana sem despalha a fogo (“cana-crua”). Atualmente, o avanço da colheita de cana sem o uso da queima da palha prossegue em todos os estados da região Centro-Sul, chegando na safra 2008/2009 a 41% da colheita na região e aproximadamente 50% no Estado de São Paulo (UNICA, 2009).

A manutenção da palha da cana-de-açúcar no solo, com a prática da colheita sem despalha a fogo, é fundamental para a cobertura do solo, melhorando atributos físicos, químicos e biológicos e, conseqüentemente, a fertilidade do solo, comparativamente àquela com queima; porém a cobertura do solo com resíduos culturais é um fator que influencia de modo direto na perda do N por volatilização, principalmente com relação ao uso da uréia e no caso desta ser aplicada em superfície. Dessa forma, a presença de palha cobrindo o solo modifica o agrossistema, exigindo reformulação na tecnologia de manejo da fertilização nitrogenada, especialmente no caso da cana-de-açúcar colhida mecanicamente sem despalha a fogo, em que uma quantidade significativa de resíduos são deixados sobre a superfície do solo.

No Estado de São Paulo, a massa de palhada de cana-de-açúcar que permanece sobre o solo após o corte da cana varia de 10 a 20 t ha^{-1} de material seco (MS), sendo que a mineralização dessa massa vegetal é dependente de fatores ambientais como a temperatura, umidade, aeração e, principalmente, da composição química da palhada, especialmente da relação C/N, teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis (NG KEE KWONG et al., 1987; SIQUEIRA E FRANCO, 1988). Os restos culturais que apresentam teor de N menor que 18 g kg^{-1} e relação C/N maior que 20 imobilizam o N, e, como a palhada de cana possui, em média, 390 a 450 g kg^{-1} de carbono e 4,6 a 6,5 g kg^{-1} de N (TRIVELIN et al., 1995) esse resto cultural deve apresentar pequena mineralização líquida no período de um ano agrícola.

Em função das inúmeras transformações, especialmente de natureza biológica, a que o nitrogênio está sujeito, ele é o nutriente de mais difícil manejo no solo, tanto com a aplicação de fertilizantes minerais quanto orgânicos, sendo que muitas dessas

transformações podem levar à redução significativa da disponibilidade do N-fertilizante aos vegetais. Do nitrogênio total na superfície dos solos agrícolas, mais de 90% encontra-se em combinações orgânicas (YAMADA e ABDALLA, 2000). Enquanto permanece nesta forma, o N está relativamente seguro das perdas, exceto por erosão, que atualmente é bem controlada, com a adoção de práticas conservacionistas do solo. Entretanto, este estoque de N-orgânico está sujeito ao processo de mineralização, sendo convertido em amônio (NH_4^+) e esta, posteriormente, pelo processo microbiológico da nitrificação, transformada em nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-).

Os complexos orgânicos, tais como o ácido húmico, acumulam-se no solo devido ao seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao ataque microbiano, existindo uma série de outros fatores que controlam a cinética de transformação da matéria orgânica em N-inorgânico (JANZEN; KUCEY, 1988). De forma geral, após a adição de material orgânico ao solo poderá ocorrer a imobilização ou mineralização do elemento pela biomassa microbiana, sendo que os dois processos ocorrem simultaneamente, e a quantidade de nitrogênio do material em decomposição é que determinará qual deles será predominante (CASSMAN; MUNNS, 1980).

Para os resíduos de cana-de-açúcar colhida sem a queima prévia da palhada, Gava et al. (2002) e Oliveira et al. (1999), observaram reduzida mineralização de nitrogênio no período de um ano agrícola, disponibilizando no solo pequena quantidade de N. Para os nutrientes presentes no material vegetal na forma iônica ou ligados a compostos de alta solubilidade, a liberação é elevada e rápida (NG KEE KWONG et al., 1987; JANZEN; KUCEY, 1988).

A colheita da cana-de-açúcar sem queima da palha tem sido empregada de modo intensivo e com resultados positivos há vinte anos na Austrália (WOOD, 1991). No Brasil, em experimento em Cruangi (PE), com despalha manual, Urquiaga et al. (1991) verificaram que, das 74 t ha^{-1} de palha depositada na superfície do solo, cerca de 6 t ha^{-1} permaneceram como resíduo, cobrindo o solo, após 5 anos, enquanto que no sistema com queima houve acúmulo de apenas 0,4 t ha^{-1} de material residual. Esses resultados indicam que 81% da palha foi degradada e, possivelmente, mineralizada pelos microrganismos do solo. A média de produtividade de cinco soqueiras de cana-de-açúcar sem queima (67 t ha^{-1}) superou em 10% a da cana-de-açúcar com queima,

sendo observado que nos anos mais secos ou de irregular distribuição de chuvas, o sistema sem queima foi 21% superior.

Do ponto de vista da fertilidade do solo e da nutrição das plantas, com relação ao manejo da adubação, a maior problemática está no uso do nitrogênio na adubação de soqueiras. De forma geral, a adubação desses solos com N em superfície, leva à imobilização do nutriente devido à elevada relação C:N da palha (GAVA, 1999). Como outro problema, tem-se que a uréia é a fonte nitrogenada mais utilizada na cultura e, quando aplicada sobre a palha, apresenta elevadas taxas de perda de $N\text{-}NH_3$ por volatilização, devido ação da uréase do solo e da palha. LARA CABEZAS e YAMADA (1999) registraram perdas de N por volatilização da uréia acima de 30% em plantio convencional (aplicação superficial no solo) e acima de 70% em plantio direto (aplicação na superfície da palha), em Latossolo Vermelho Amarelo (arenoso) e Latossolo Vermelho Escuro, em uma mesma safra agrícola.

Embora os resíduos culturais deixados sobre a superfície do solo apresentem baixa quantidade de nitrogênio, quando comparada à reserva do solo, as colheitas sucessivas sem despalha a fogo devem contribuir, com o tempo, para o maior acúmulo de N no solo. Estudos de simulação realizados na Autrália indicaram que a palhada de cana-de-açúcar deixada sobre a superfície do solo, por um período de 20 anos, pode resultar em um processo lento e gradual na redução da adubação em até 40 kg ha^{-1} de N (VALLIS et al., 1996). Graham; Haynes e Meyer (2002) citaram que os resíduos da cana-de-açúcar depositados sucessivamente sobre o solo contribuem não apenas para o incremento da matéria-orgânica do solo, mas também no N imediatamente mineralizável e na relação N mineral: N total na superfície do solo.

Para a adubação nitrogenada de soqueiras colhidas sem queima, constata-se a necessidade de uso de fontes nitrogenadas que apresentem menores perdas do elemento por volatilização, pois, com a palha, há dificuldade de incorporação do adubo (TRIVELIN et al., 1997). Cantarella et al. (1999) constataram que perdas de $N\text{-}NH_3$ foram controladas mediante uso da fonte nitrato de amônio. A utilização de fontes nitrogenadas que apresentem o N em outras formas também tem se mostrado eficiente para reduzir perdas por volatilização de $N\text{-}NH_3$.

2.4 Características das principais fontes nitrogenadas

A uréia comercializada como adubo é um composto nitrogenado sólido, que se apresenta na forma de grânulos brancos e possui 46% de N na forma amídica. É o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo, sendo que mais de 90% da produção mundial é destinada para uso como fertilizante. A produção de uréia a partir de amônia e gás carbônico, produzidos numa mesma unidade, torna o produto menos oneroso que os demais fertilizantes nitrogenados, inclusive pelo fato de possuir teor de N bem mais alto, comparada aos demais produtos, o que proporciona um preço mais atrativo por tonelada de N. Assim, a uréia apresenta o mais baixo custo de transporte e estocagem por unidade de N contido (FACRE et al., 2007).

Do ponto de vista agronômico a uréia apresenta uma séria limitação de uso quando aplicada sobre a superfície do solo, devido a ocorrência de perdas de N por volatilização de NH_3 que reduzem a eficiência agronômica desse fertilizante. O processo de volatilização envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease. A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais. Como resultado da hidrólise, tem-se a formação de carbonato de amônio e, por causa das características da urease, fatores que influenciam a atividade dos microrganismos também influenciam a hidrólise da uréia, promovendo grande variação na taxa de hidrólise para diferentes solos (REYNOLDS et al., 1987).

O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em $N\text{-}NH_3$, CO_2 e água (VOLK, 1959). Parte do $N\text{-}NH_3$ formado sofre a reação de protonação com íons H^+ da solução do solo e com os H^+ dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion NH_4^+. Como efeito, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 7 na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado. Na camada próxima à aplicação do fertilizante, constatou-se aumento do pH em água de 6,9 para 8,7 (RODRIGUES e KIEHL, 1992).

Como meio de reduzir as perdas por volatilização de fontes nitrogenadas aplicadas na cana-de-açúcar, na presença de palha, tem-se a possibilidade de incorporar o fertilizante nitrogenado (WILLCOX, 1990). Entretanto, por causa da

dificuldade de incorporação dos fertilizantes em solos com espessa camada de palha, constata-se a necessidade de uso de fontes nitrogenadas que apresentem menores perdas do elemento por volatilização (TRIVELIN et al., 1997).

Fontes de nitrogênio, como nitrato de amônio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio, não estão sujeitas às perdas por volatilização de amônia. No entanto, qualquer uma delas, inclusive a uréia, pode sofrer outro tipo de perda gasosa via desnitrificação, em função da diminuição da aeração, pela maior umidade e/ou por problemas de compactação e mediante presença de compostos de carbono solúveis (CANTARELLA, 1998). Cantarella (1998) e Cantarella et al. (1999), constataram que não houve perdas mediante o uso de nitrato de amônio. Freney et al. (1992) verificaram que a aplicação de sulfato de amônio resultou em perdas de apenas 1,8 % do N aplicado. Avaliando as perdas de $N\text{-}NH_3$ por volatilização, Trivelin et al. (1996) verificaram que a solução uran (nitrato de amônio + uréia) apresentou menores perdas por volatilização quando comparada à aplicação de uréia.

O nitrato de amônio é um produto sólido, perolado, branco cristalino, com 34% de nitrogênio (50% N-nítrico e 50% N-amoniacal). Possui forte ação oxidante e, por ser muito higroscópico, requer recobrimento de seus grânulos para reduzir o empedramento e o conseqüente esfarelamento. O produto é obtido por intermédio da neutralização do ácido nítrico pela amônia, produzido basicamente em duas etapas: produção de ácido nítrico, e neutralização do ácido nítrico com amônia. As principais características agronômicas do nitrato de amônio são: nitrogênio nítrico prontamente disponível; nitrogênio amoniacal com disponibilidade mais prolongada; baixo índice de salinidade; é compatível com as demais matérias-primas das misturas NPK (com exceção da uréia). Por conter um radical nítrico e outro amoniacal, o produto sofre menor perda por volatilização e acidifica menos o solo, comparado aos demais fertilizantes nitrogenados (MESQUITA, 2007). Como o $N\text{-}NH_4^+$ é muito menos sujeito a perdas por lixiviação ou desnitrificação que o $N\text{-}NO_3^-$, diferenças nas proporções dos adubos nitrogenados contendo N nas formas NO_3^- ou NH_4^+ podem ter importantes implicações no manejo do N.

Dessa forma, as misturas de uréia com nitrato de amônio, uréia e sulfato de amônio (uran) surgem como possíveis fontes nitrogenadas que podem apresentar

menores perdas de volatilização de N-NH_3, quando aplicadas sobre a palha de cana-de-açúcar colhida sem queima. Entretanto, Costa et al. (2003), avaliando a eficiência agronômica de fontes nitrogenadas em sistema de colheita de cana sem queima prévia, observaram que a mistura de uréia com sulfato de amônio, aplicada sobre a palha de cana-de-açúcar, não reduziu as perdas de nitrogênio por volatilização de N-NH_3.

Em termos mundiais, a participação do nitrato de amônio na matriz nitrogenada aumentou de 73,3 milhões de toneladas de N, em 2002, para 85,8 milhões de toneladas de N, em 2006, sendo o segundo fertilizante nitrogenado mais produzido, depois da uréia. Os maiores produtores de nitrato de amônia são Rússia, Estados Unidos e China, e os principais exportadores são Rússia e Ucrânia, que representam mais de 50% do total mundial. Os grandes importadores do produto são Estados Unidos, Turquia e Brasil, seguidos por França e Reino Unido (MESQUITA, 2007).

Em trabalho comparando seis fontes nitrogenadas observou-se tendência de menores perdas de NH_3 para sulfnitro (60% de N-uréia + 40% de N-sulfato de amônio) em relação a outro sulfnitro (80% de N-uréia e 20% de N-sulfato de amônio) e a quatro tipos de uréia de diferentes tamanhos de grânulos (LARA CABEZAS et al., 1989).

O Sulfato de Amônio comercializado como adubo - $(NH)_4SO_4$ - é um sal que contém 21% de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e mais 24% de enxofre na forma de sulfato (S-SO_4^{-2}). Essas características fazem do Sulfato de Amônio um adubo de ação rápida e eficiente, visto que o nitrogênio amoniacal e o enxofre na forma de sulfato são prontamente absorvidos pelas plantas.

A baixa eficiência de recuperação do N do fertilizante aplicado às culturas tem sido atribuída, principalmente, às perdas gasosas do elemento (volatilização e desnitrificação) associadas ao uso preferencial de uréia em aplicações superficiais (cobertura) no solo. Nesse contexto, o sulfato de amônio apresenta algumas vantagens em relação à uréia e a outras fontes nitrogenadas, pois possui baixa tendência de perdas voláteis de N e baixa taxa de nitrificação, além de ser considerado fonte de enxofre – 24% S (COLLAMER et al., 2007). Essas características proporcionam vantagens agronômicas, resultando, frequentemente, em ganhos de rendimento das culturas, e em benefícios desse fertilizante aplicado isolado ou em misturas, como sulfato de amônio + uréia. Norman (2002) verificou aumento na eficiência da uréia

quando aplicada associada ao sulfato de amônio ou ao Agroten, um inibidor da nitrificação. Quando aplicada isoladamente, a uréia sofreu grandes perdas de NH_3, resultado da alcalinização da solução próxima aos seus grânulos, durante a hidrólise. Porém, quando essa fonte foi aplicada associada com o sulfato de amônio, as perdas foram menores, em virtude, provavelmente, da reação acidificante do sulfato de amônio próximo aos grânulos da uréia, neutralizando o efeito local da elevação do pH.

Em cana-de-açúcar colhida mecanicamente, sem queima, Vitti (2003) observou que, com a aplicação de sulfato de amônio, tanto em faixa quanto em área total, as perdas de N foram muito menores que as observadas com o uso de uréia. Na aplicação em faixa, a perda de N do sulfato de amônio foi da ordem de 2% do total aplicado, comparada a 32,4% com o uso da uréia. Quando as fontes foram aplicadas em área total, os resultados foram semelhantes, ou seja, 4% de perda de N com a utilização de sulfato de amônio contra 26% de perda de N com o uso de uréia. Utilizando isótopo marcado (^{15}N) para estimar as perdas de N dos fertilizantes no sistema solo-planta-resíduo, estes autores observaram que, do total de N aplicado em faixa (70 kg ha^{-1}), 51,3 kg (73,3%) foram recuperados no sistema com o uso de sulfato de amônio contra 38,4 kg (54,8%) com o uso de uréia. Quando aplicado em área total (a lanço), os resultados de recuperação de N apresentaram a mesma tendência, ou seja, 52,7 kg (75,3%) para o sulfato de amônio contra 39,1 kg (55,8%) para a uréia, mostrando que houve recuperação de 1/3 a mais do N aplicado com o uso de sulfato de amônio em comparação a uréia.

2.5 Cloreto de amônio: fonte alternativa de nitrogênio

Estima-se que o consumo de fertilizantes na agricultura brasileira em 2015 será de 3,8 milhões de toneladas de N, 5,2 milhões de toneladas de P_2O_5 e 5,8 milhões de toneladas de K_2O. Este aumento no consumo de nutrientes será muito mais resultado do aumento na área plantada – passando de 71,7 milhões de hectares em 2007 para 95,2 milhões de hectares em 2015 – do que do aumento no consumo médio de nutrientes por hectare (FACRE, 2007).

Atualmente o país já importa 64% da demanda de fertilizantes nitrogenados (ANDA, 2009) e, com o crescimento do consumo, o nível de dependência do produto importado se tornará cada vez mais crítico. Além de aumento da produção, as empresas de fertilizantes podem contribuir no desenvolvimento de produtos mais eficientes, mediante o aperfeiçoamento das características físicas, do desenvolvimento de uma gama maior de produtos específicos para diferentes solos e manejos, da otimização da cadeia de suprimentos e do desenvolvimento e promoção de melhores práticas.

Uma das possíveis fontes alternativas de N para a cultura de cana-de-açúcar é o cloreto de amônio (NH_4Cl). O NH_4Cl é um composto químico que contém 25-26 e 66%, respectivamente, de nitrogênio e cloro, podendo ser usado como fonte de nitrogênio na adubação das culturas de arroz, milho, sorgo, trigo e cana-de-açúcar. No Japão, detentor de dois terços da produção mundial de cloreto de amônio, o custo do composto é menor que o do sulfato de amônio, sendo a Índia a maior produtora, produzindo cerca de 1/3 do NH_4Cl usado mundialmente.

A Raudi Indústria e Comércio Ltda, pioneira em todo o mundo ao produzir bicarbonato de sódio a partir de gás carbônico (CO_2) em sua planta no município de São Carlos do Ivaí, Noroeste do Paraná, produz há cerca de um ano mais uma inovação em nível mundial. Fruto de pesquisas que desenvolveu nos últimos anos, está produzindo agora, também, cloreto de amônio (NH_4Cl). O cloreto de amônio pode ser obtido por várias rotas químicas, como exemplo pela reação entre HCl (ácido clorídrico) e NH_3 (amônia anidra). Há mais de 10 anos pesquisando novas possibilidades de aproveitamento de excedentes de atividades agro-industriais, a RAUDI Indústria e Comércio Ltda está implantando uma indústria de sais químicos no país, voltada à obtenção de créditos de carbono, sendo o cloreto de amônio gerado como subproduto da produção de barrilha (carbonato de sódio - Na_2CO_3) ou mesmo de bicarbonato sódico ($NaHCO_3$) a partir da reação (simplificada) entre NaCl, NH_3 e CO_2. Como a barrilha é uma matéria-prima importada e cara, a equipe da Raudi vinha pesquisando uma forma de substituí-la na formulação. Foi aí que chegou ao sal, que é 65% mais barato e ainda gera o cloreto de amônio como subproduto. Esse tipo de reação é obtida em reatores, usando o CO_2 produzido na queima de biomassa vegetal, como a de

cana-de-açúcar, para fins de geração de energia, ou mesmo, aquele gerado na dorna de fermentação na produção do biocombustível etanol.

A barrilha e o bicarbonato de amônio têm grande valor agregado tratando de produto básico para várias indústrias, como cerâmicas, setor químico, sabões e detergentes e indústria de vidros, sendo que o carbonato recicla o CO_2 não sendo necessário ser produzido, por exemplo, pelo ataque de carbono seqüestrado, como no caso de carbonatos minerais. No caso de ser aprovada a viabilidade econômica desse tipo de indústria o co-produto cloreto de amônio, produzido em quantidades substanciais, poderá vir a ser comercializado como fonte nitrogenada para a agricultura.

Resultados de pesquisas no exterior demonstraram boa eficiência dessa fonte nitrogenada na produção de arroz e por isso no Japão e na Índia o composto é muito usado como fertilizante nessa cultura. Embora o composto seja mais conhecido na adubação da cultura do arroz, para culturas como coqueiro e palma, por serem muito responsivas ao cloro (Cl), o NH_4Cl é uma excelente fonte tanto de N como de Cl (TISDALE et al., 1985).

No Brasil, Coelho et al. (2006) obtiveram maior eficiência agronômica na cultura de milho para o cloreto de amônio quando comparado à uréia e ao Bicarbonato de amônio. A maior eficiência do NH_4Cl foi interpretada pelos autores como devido à ausência de volatilização de NH_3 no solo que ocorreu com os outros fertilizantes amídicos/amoniacais.

Estudos realizados no Paquistão, cujo objetivo foi avaliar a influência de NH_4Cl, em solo de pH alcalino sobre a produtividade e a atividade da enzima nitrato redutase no algodão, Ashraf et al. (2005) observaram que a aplicação de NH_4Cl reduziu significativamente o pH do solo, aumentou a capacidade de absorção de nutrientes, proporcionando incremento na produtividade e aumento da atividade da enzima nitrato redutase.

Em contrapartida, Barati et al. (2006), estudando o efeito de fontes de nitrogênio (uréia revestida de enxofre, cloreto de amônio e uréia) sobre a produtividade do arroz no Irã, concluíram que o tratamento cloreto de amônio, obteve menor produção de grãos quando comparado às outras fontes.

O manejo inadequado da água de irrigação aliado ao uso intensivo de fertilizantes, especialmente os clorados têm contribuído para o aumento de áreas agricultáveis com problemas de salinidade. Estima-se que no Brasil existam, aproximadamente, nove milhões de hectares com problemas de salinidade, a maior parte dessa área localizada nos perímetros irrigados do Nordeste (CARNEIRO et al., 2002). Diversos trabalhos têm evidenciado o efeito negativo dos íons que contribuem para a salinidade do solo (principalmente Na^+ e Cl^-) sobre processos fisiológicos importantes para o crescimento das plantas (YAHYA, 1998; BETHKE E DREW, 1992). Os efeitos desses íons estão relacionados ao efeito osmótico, que induz condição de estresse hídrico às plantas e ao efeito tóxico direto, principalmente sobre os sistemas enzimáticos e de membranas.

2.6 Efeito residual do nitrogênio no solo e na cultura da cana-de-açúcar

O ciclo do N apresenta uma dinâmica complexa, pelas múltiplas transformações e por sua mobilidade no sistema solo-planta. Ao entrar neste ciclo, o N aplicado no solo como fertilizante pode ser absorvido pelas plantas; perdido pela folhagem das culturas, por volatilização da amônia, assim como no solo pode ser perdido por desnitrificação, por lixiviação e por erosão; ou ser imobilizado no solo e na matéria orgânica por ação de microrganismos (NG KEE KWONG et al., 1986; HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994; TRIVELIN et al., 1997, 2002a; COURTAILLAC et al., 1998; OLIVEIRA, et al., 1999a; TRIVELIN, 2000).

Em virtude das dificuldades encontradas no manejo da fertilização nitrogenada, principalmente nas condições de colheita de “cana crua”, são raros os trabalhos em que a cana-de-açúcar, no final de um ciclo agrícola, utiliza mais de 40 % do N-fertilizante (TRIVELIN et al., 1996), sendo essa baixa recuperação atribuída, em parte, ao efeito residual do fertilizante no solo, em razão de sua elevada imobilização (COURTAILLAC, 1998), e às perdas do N no sistema solo-planta-atmosfera (TRIVELIN, 2000). Esse N imobilizado, que pode ficar no solo, torna-se uma fonte residual potencial para as culturas ou ciclos subseqüentes da cana-de-açúcar (VITTI, 2003). A maioria dos trabalhos com adubação nitrogenada em cana-planta ou soqueiras avaliaram somente

um corte, não levando em consideração a possibilidade da resposta aos fertilizantes se expressarem nos ciclos agrícolas subseqüentes, por meio do efeito residual, levando em consideração que a cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene, que utiliza as reservas do sistema radicular para a rebrota (VITTI et al., 2007).

A quantidade de palhada de canaviais colhidos sem queima varia de 10 a 30 t ha^{-1} de matéria seca e, nesse material, o nitrogênio oscila de 40 a 80 kg ha^{-1} (TRIVELIN et al., 1996). As formas de nitrogênio orgânico que constituem parte do resíduo vegetal e que, após mineralização, podem se tornar fontes de N-mineral para a planta são os aminoácidos livres, proteínas, ácidos nucléicos e nucleotídios (KILLHAM, 1994). A intensidade de mineralização dessa matéria orgânica adicionada na superfície do solo dependerá de diversos fatores, tais como: tipo de solo, teor de matéria orgânica e N-total, relação C:N, tempo de uso dos solos, pH, temperatura, umidade, suprimento de nutrientes inorgânicos e interações solo-planta (MYERS et al., 1994).

Em estudo realizado por FRANCO et al. (2007), em que se procurou quantificar o aporte de resíduos culturais de cana-de-açúcar e o estoque de nutrientes incorporados ao solo na reforma do canavial, foi verificado que a quantidade de palhada residual que permaneceu sobre o solo após o corte da cultura de cana-de-açúcar, esta de acordo com as comumente observadas no Estado de São Paulo, cerca de 10 a 20 t ha^{-1} de matéria seca, (ABRAMO FILHO et al., 1993; TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995). Segundo Bayer e Mielniczuk (1999) esse aporte de resíduos influencia nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Em relação às propriedades físicas do solo, Igue; Pavan (1984) salientaram que com a adição de material orgânico promove-se a formação e estabilização dos agregados constituintes do solo melhorando sua estrutura, ocasionando melhorias nas condições de aeração e aumento da capacidade de infiltração e retenção de água. Yadav, Todi e Srivastava (1987) observaram aumento considerável na produtividade de cana-de-açúcar, não apenas pela liberação de macro e micronutrientes, mas também pela melhoria da estrutura do solo devido à ação da palhada. Carvalho et al. (1996) atribuíram a esses efeitos físicos o maior crescimento da cana-de-açúcar.

A hipótese de direcionamento das reservas da planta de cana-de-açúcar para a parte subterrânea (raízes e rizomas) e posterior utilização pela rebrota foi evidenciada

por Trivelin, Coleti e Lara Cabezas (1984), os quais verificaram que 7% do nitrogênio na forma de uréia aplicado na parte aérea foi translocado ao sistema radicular e posteriormente utilizado pela primeira rebrota da cana-de-açúcar. Possivelmente, essa translocação de nutrientes seja um mecanismo que garante o maior vigor do sistema radicular e da rebrota no próximo ciclo (TRIVELIN et al., 2002).

CHAPMAN et al. (1992) utilizaram palhada de cana-de-açúcar marcada com ^{15}N e observaram que 5 % do N-total da palhada foram recuperados pela soqueira de cana-de-açúcar. Ng Kee Kwong et al. (1987) também utilizaram palhada de cana-de-açúcar marcada com ^{15}N depositada sobre a superfície do solo e verificaram, após 18 meses de permanência no campo, que a recuperação pela cana-de-açúcar foi de 11 a 14 % do N da palhada, representando esses valores menos que 10 % do N acumulado na planta, tendo o restante, 73 a 83 % do N contido na palhada, permanecido na matéria orgânica do solo.

A cana-de-açúcar é uma cultura eficiente em aproveitar o N do solo, devido ao longo ciclo e ao sistema radicular abundante. Grande número de estudos com fertilizantes marcados com ^{15}N tem mostrado que a maior parte do N absorvido pela planta vem do solo (CANTARELLA; TRIVELIN; VITTI, 2007), tendo em vista que quantificações efetuadas no final de ciclos agrícolas demonstraram que a contribuição dos fertilizantes nitrogenados em relação ao N total absorvido pela cana é baixo, variando de 10 a 16%, segundo diversos trabalhos encontrados na literatura (GAVA et al., 2001; TRIVELIN et al., 1995; CAMPBELL, 2007; FRANCO et al., 2008).

Gava et al. (2003), objetivando estudar a contribuição da palhada como fonte de nitrogênio para a cana-de-açúcar e verificar possíveis efeitos desse resíduo cultural na recuperação do nitrogênio da uréia aplicada na fertilização de soqueira de cana-de-açúcar, concluíram para as condições de Piracicaba, no Estado de São Paulo, que do nitrogênio total acumulado na parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar, 10 a 16 % foram absorvidos da uréia e 4 %, em média, do nitrogênio mineralizado da palhada. Em contrapartida, FARONI (2008), avaliando o aproveitamento no primeiro ciclo de cana soca, colhida sem queima da palha, da uréia-^{15}N aplicada no plantio e do sulfato de amônio-^{15}N aplicado na soqueira, nas condições da região de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, verificou que a recuperação (%) pela cana soca (parte aérea) da uréia-^{15}N

aplicada no plantio, na média dos experimentos, foi de 4,18%, 5,04% e 3,54%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N.

O baixo aproveitamento do N de fontes minerais e, principalmente, de fontes orgânicas, evidencia o efeito residual deste nutriente em cultivos nos anos agrícolas subseqüentes à sua aplicação. Nesse aspecto deve-se pensar nos benefícios que as adubações e mesmo a própria palha deixada na superfície do solo após as colheitas sem queima poderão trazer ao longo dos anos. Resultados obtidos por Vitti et al. (2007a) verificaram resposta linear às doses de N na produção de colmos na segunda soca (safra 1999/2000). Essa resposta se estendeu para a terceira soca, safra (2000/2001), mesmo com a aplicação de dose única de N (100 kg ha^{-1}) após a colheita da segunda soca. Esses resultados deveram-se, provavelmente, ao efeito residual da adubação com reflexo no vigor da soqueira de cana-de-açúcar.

OTTO (2007), avaliando o efeito de doses de sulfato de amônio na produtividade de colmos em uma primeira rebrota de cana-de-açúcar verificou resposta linear na produtividade de colmos e açúcar em função das doses de N-soqueira, não havendo, porém efeito das doses de N na massa de raízes. O autor relacionou às baixas repostas neste estudo ao fato de ser uma primeira soca que ainda pode ter a disposição quantidade satisfatória de N mineralizado após a reforma dos canaviais; ao estoque de resíduos que foi incorporado ao solo na reforma do canavial e que provavelmente forneceu N à cultura até mesmo no ciclo de primeira soca.

Wiedenfeld (2000) não constatou aumento na produtividade da cana-planta em função de doses de N de plantio, porém do segundo ao quarto corte as doses de N promoveram efeito quadrático na produtividade de colmos e açúcar. Segundo esse autor, as doses de N para máxima produtividade de colmos foi de 141, 162 e 176 kg ha^{-1} N para o segundo, terceiro e quarto cortes.

Malavolta (1994) mencionou resultados não publicados, nos quais verificou o efeito indireto da adubação nitrogenada no plantio da cana-de-açúcar na produtividade das rebrotas. Orlando Filho et al. (1999) constataram esse efeito e afirmaram que a resposta da cana-planta ao N se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subseqüentes, entre a cana-de-açúcar com adubação e sem adubação nitrogenada. O manejo inadequado de um canavial, especialmente da

adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de cortes entre as reformas (VITTI et al., 2007a).

Considerando o custo atual dos adubos nitrogenados, em função de seu processo de produção de alto gasto energético, é fundamental o desenvolvimento, adequação e integração de seus manejos e que estes visem o melhor aproveitamento do N pela cana-de-açúcar. Sendo, portanto, de grande importância o conhecimento de seu efeito residual no ano subseqüente à sua aplicação, para auxiliar na tomada de decisão quanto a formas de manejo que, além de promoverem aumento da produtividade, resulte em redução de custos e minimizem riscos ambientais.

2.7 Assimilação do nitrogênio e atividade da redutase do nitrato

As gramíneas cultivadas tipo C4 caracterizam-se por apresentar respostas pronunciadas, em termos de produção de fitomassa, ao nitrogênio aplicado como fertilizante (BOLTON; BROWN, 1980). Entretanto, os mecanismos fisiológicos envolvidos com a utilização de N ainda não são totalmente esclarecidos. O nitrogênio absorvido propicia aumento na atividade meristemática da parte aérea (Marschner, 1986), provocando incrementos na área foliar e na intensidade de perfilhamento (NOVOA e LOOMIS, 1981). Por outro lado, níveis mais elevados de proteínas nas folhas estão associados a maiores custos energéticos, os quais podem determinar maiores consumos de carboidratos (BARNES; HOLES, 1978).

As cultivares de cana-de-açúcar utilizadas no Brasil, no primeiro ciclo agrícola de crescimento (cana-planta), apresentam baixa relação de N absorvido com a produção de fitomassa de colmos (ROSSIELLO, 1987), o que poderia explicar a grande controvérsia a respeito da utilização do nutriente pela cultura. Na realidade, existe uma grande limitação de conhecimentos relacionados com os principais processos envolvidos com a utilização de N, como absorção de nitrato e metabolismo de carboidratos em presença de concentrações elevadas do elemento. Plantas crescidas nessas condições apresentam altas atividades de redutase de nitrato nas folhas e

decréscimos nas concentrações de sacarose e açúcares redutores (SILVEIRA; CROCOMO, 1981).

A estimativa da atividade da enzima redutase de nitrato tem sido utilizada, com sucesso, como parâmetro indicativo da resposta fisiológica de plantas submetidas a condições adversas (MEGURO e MAGALHÃES, 1982). O nitrato é a principal forma de nitrogênio inorgânico disponível para as plantas e a redutase de nitrato é a primeira enzima da rota de assimilação do N-inorgânico, assumindo, portanto, papel de importância no metabolismo vegetal (DELÚ-FILHO et al., 1998).

A assimilação de nitrogênio é um dos mais importantes processos metabólicos nas plantas. A enzima redutase do nitrato é a enzima chave no processo completo da assimilação de nitrato pelas plantas (ALLEGRE et al., 2004). Os vegetais podem absorver nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+), assimilando-o na forma de amônia (NH_3). O nitrato absorvido pelas raízes é reduzido a nitrito pela redutase do nitrato no citoplasma, e o nitrito é reduzido à amônia pela redutase do nitrito nos cloroplastos. A amônia é incorporada rapidamente a compostos orgânicos via glutamina sintetase (GS), glutamato sintase (GOGAT) e, ou, glutamato desidrogenase (GDH) (MARSCHNER, 1995).

As plantas podem absorver e acumular grandes quantidades de nitrato nos seus tecidos sem assimilá-lo e, conseqüentemente, não sendo incorporado na forma de aminoácidos e proteínas. A concentração de nitrato no tecido vegetal pode atingir em torno de 10 g kg^{-1} da massa seca do vegetal, porém na média, varia de 0 a 2 g kg^{-1} da massa seca de tecido vegetal (FERNANDES; ROSSIELLO, 1995).

O método de avaliação da atividade da enzima redutase *in vivo*, consiste na incubação do tecido vegetal em meio apropriado de ensaio, em condições de escuro, sendo a taxa de difusão do nitrito para a solução de incubação utilizada como indicadora da atividade da enzima. Nesse tipo de análise, acredita-se que haja uma absorção prévia do nitrato pelo tecido, que exista uma concentração endógena de NADH e que ocorra a subseqüente liberação do nitrito formado para o meio de reação (LEE; TITUS, 1992).

As propriedades bioquímicas da GS, particularmente sua alta afinidade pelo amônio (em comparação com a GDH) e a localização de substancial proporção dessa

enzima nos cloroplastos ou nos plastídeos das raízes, sugerem importante participação do GDH no processo assimilatório. Isto foi reforçado pela descoberta de Lea e Miflin (1979) de uma rota alternativa de produção de glutamato (GLU), através da detecção da atividade do GOGAT em plantas superiores. Posteriormente, ficou demonstrado que a rota GS/GOGAT era a principal via de assimilação do amônio (MIFLIN; LEA, 1976).

A assimilação redutiva do nitrogênio é um processo dispendioso energeticamente às plantas, razão porque ocorre predominantemente nas folhas, centro da síntese de energia (ATP) e agentes redutores (fornecedores de elétrons). O processo de incorporação do nitrogênio compete com a fotossíntese por carboidrato e energia, consumindo 12 ATPs para cada nitrogênio assimilado pela planta (BLOOM et al., 1992).

A redutase do nitrato foi o primeiro exemplo reconhecido de enzima em plantas que é induzida pelo substrato (BEEVERS et al., 1969). Essa indução é relativamente forte: na ausência de nitrato no substrato, a redutase do nitrato se apresenta em baixo nível. Plantas com deficiência de nitrato e expostas a concentrações externas de nitrato apresentam aumento na atividade da redutase do nitrato no intervalo de duas a seis horas de exposição a estes tratamentos (LI; OAKS, 1993). Além da indução por nitrato, a atividade da redutase do nitrato pode ser aumentada por outros fatores de crescimento das plantas, tais como: luz, açúcares ou CO_2 (KAISER; HUBER, 1994).

O equilíbrio da redutase do nitrato é determinado pela taxa de sua degradação, assim como, pela taxa da síntese da mesma. A meia vida da enzima redutase do nitrato, recém sintetizada, é de poucas horas na célula e quando a quantidade de nitrato no substrato diminui a atividade desta enzima é rapidamente reduzida (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Estudos evidenciam que a atividade da enzima redutase do nitrato é o principal processo limitador da assimilação do nitrogênio na maioria das plantas (SRIVASTAVA, 1990; LEA, 1997). A redutase do nitrato é algumas vezes utilizada como indicador da taxa de crescimento. No início de 1970, a atividade da redutase do nitrato foi recomendada como um parâmetro bioquímico para calcular o índice de produtividade (VENKATESAN; GANAPATHY, 2004).

Segundo Lavres Junior (2001), a atividade enzimática da redutase do nitrato nas plantas torna-se uma importante ferramenta no auxílio da diagnose nutricional por ser

indicadora da concentração de nitrogênio na planta, correlacionando-se com a produção de massa seca e com a concentração de nitrogênio no tecido foliar.

O conhecimento sobre o comportamento vegetal quanto ao uso de nutrientes permite manejar ou modificar o sistema de cultivo para melhorar a eficiência na utilização de N. Alguns genótipos, por exemplo, têm melhor capacidade de absorção de $N\text{-}NO_3^-$, e outros, de $N\text{-}NH_4^+$ e produzem mais matéria seca por unidade de N aplicada; outros apresentam maior capacidade de mobilização de N das folhas e de outros órgãos para o grão; outros, ainda, são mais adaptados ao alto suprimento de N, enquanto outros são adaptados a baixos suprimentos (VOSE, 1990).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi desenvolvido em condições de campo, em área comercial de cana-de-açúcar (segunda rebrota) pertencente à Usina Iracema - Grupo São Martinho, localizada no município de Piracicaba, SP. A área experimental (Fazenda Primavera) situa-se na latitude Sul de 22º42'04'', longitude Oeste de 47º33'29'' e altitude predominante de 566 m.

O clima predominante da região de Piracicaba é Cwa, subtropical úmido, conforme classificação de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco, sendo de 1230 mm a precipitação média anual; as temperaturas médias mensais variam de 25,4 ^{o}C no verão a 17,9 ^{o}C no inverno, com média anual de 21,6 ^{o}C.

3.2 Características do cultivar de cana-de-açúcar SP89 1115

O cultivar de cana-de-açúcar utilizado foi o SP89 1115 (segunda rebrota). Conhecido tanto pela sua alta produtividade e ótima brotação de soqueira (inclusive sob a palha), como pela sua precocidade e alto teor de sacarose; é recomendada para colheita até o meio da safra, respondendo positivamente à melhoria dos ambientes de produção. Apresenta hábito semi-ereto e baixa fibra; floresce freqüentemente, porém com pouca isoporização. Mostrou-se resistente ao carvão, mosaico, ferrugem, escaldadura e amarelecimento, sendo suscetível à broca. (UDOP, 2009).

3.3 Caracterização química e física do solo

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, com textura argilosa (EMBRAPA, 1999). A Tabela 1 relaciona as características químicas e físicas de amostras coletadas até 1m de profundidade visando a classificação do solo do local do experimento.

Tabela 1 **-** Análise do solo para fins de classificação

Análise química do solo														
Prof.	**M.O**	**pH**		**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Al**	**H+Al**	**SB**	**CTC**	**V**	**m**
cm	**g dm^{-3}**	**H_2O**	**$CaCl_2$**	**mg kg^{-1}**	**mmol$_c$ kg^{-1}**							**%**	
0 – 25	28	5,5	4,2	12	0,8	15	8	3	53	23,8	76,8	31	11
25 – 50	23	5,5	4,8	9	0,3	23	7	1	38	30,3	68,3	44	3
50 – 75	18	5,6	4,8	8	0,2	24	7	1	35	31,2	66,2	47	3
75 –100	16	5,4	4,7	5	0,2	17	5	1	62	22,2	84,2	26	4

Análise granulométrica						
	Areia (%)			**Silte**	**Argila**	**Classe**
	Grossa	**Fina**	**Total**	**(%)**	**(%)**	**Textural**
0 – 25	8	22	30	6	64	m. arg.
25 – 50	7	21	28	6	66	m. arg.
50 – 75	5	20	25	7	68	m. arg.
75 - 100	5	20	25	7	68	m. arg.

m. arg.: textura muito argilosa

A Tabela 2 relaciona os atributos químicos do solo nas profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm, com amostras coletadas a 25 cm do centro da linha de cana-de-açúcar, antes da instalação do experimento. Os atributos químicos de solo foram analisados segundo as metodologias: pH - $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} (RAIJ et al., 2001); M.O – Matéria orgânica, método colorimétrico (RAIJ et al., 2001); P - Extração por resina trocadora de íons e determinação por colorimetria (RAIJ et al., 2001); S-SO_4 – NH_4 OAc 0,5N em HOAc 0,25N (VITTI, 1989); K – Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria de chama (RAIJ et al., 2001); Ca e Mg – Extração por resina trocadora de íons e determinação por espectrometria de absorção atômica (RAIJ et al., 2001); H+Al – Determinação por potenciometria em solução tampão SMP (RAIJ et al., 2001).

Tabela 2 **-** Características químicas do solo antes da instalação do experimento

Prof.	M.O	pH	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	P	S-SO_4
cm	g dm^{-3}	$CaCl_2$	mmol$_c$ dm^{-3}							%		mg dm^{-3}	
0 - 25	32,3	4,4	1,8	20	9,7	5,0	69	31,5	101	31	14,0	11,7	50
25 - 50	21,7	4,8	0,8	28	10,3	1,7	42	39,1	81	48	4,0	11,3	60

3.4 Histórico de produtividade da cana-de-açúcar no local do experimento

A Tabela 3 informa o histórico do canavial no local do experimento, em ciclos agrícolas anteriores.

Tabela 3 - Histórico de produtividade e tipo de colheita de cana-de-açúcar da área estudada

Safra	2004	2005	2006
Corte	Plantio	1°	2°
Produtividade (t ha^{-1})	——	61,9	98,7
Idade (meses)	——	10,2	17,2
Tipo de colheita	——	MEC	MEC

MEC: colheita mecanizada sem despalha a fogo

3.5 Delineamento estatístico e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, e sete tratamentos constando de quatro fontes nitrogenadas: cloreto de amônio (CA), nitrato de amônio (NA), sulfato de amônio (SA) e uréia (U), três doses de N: 60, 120 e 180 kg ha^{-1} para o cloreto de amônio e dose de 120 kg ha^{-1} de N para as demais fontes. Incluiu-se um tratamento testemunha (TEST) sem adição de N-fertilizante (Tabela 4).

A área de cada parcela experimental foi de 135 m^2, possuindo cada uma sete linhas de cana-de-açúcar, com 15 metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 1,5m.

Tabela 4 – Tratamentos correpondentes à segunda rebrota de cana-de-açúcar (safra 2006/2007)

Tratamentos	Fontes de N	Doses de N (kg ha^{-1})
1	Testemunha	0
2	Cloreto de amônio	60
3	Cloreto de amônio	120
4	Cloreto de amônio	180
5	Nitrato de amônio	120
6	Sulfato de amônio	120
7	Uréia	120

Obs: Em todos os tratamentos foram aplicados 180 kg ha^{-1} de K_2O na forma de KCl

3.6 Implantação e desenvolvimento do experimento

3.6.1 Segunda rebrota de cana-de-açúcar (safra 2006/2007)

A colheita da cana soca que correspondeu ao segundo corte do canavial (primeira rebrota), deu-se em fins de outubro de 2006. A adubação mineral da segunda rebrota de cana-de-açúcar foi realizada em 14 de dezembro de 2006. Os fertilizantes foram aplicados sobre a palha e ao lado da linha de soqueira de cana-de-açúcar (distante 25 cm do centro da linha de cana-de-açúcar). Em todos os tratamentos foram aplicados 180 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio (KCl).

3.6.1.1 Avaliação do estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar

Para avaliação do estado nutricional das plantas durante o ciclo de cana-soca (segunda rebrota), no estádio de máximo desenvolvimento da cultura, em 14 de fevereiro de 2007 (60 d.a.a.) foram coletadas folhas-diagnóstico segundo Raij e Cantarella (1997). Em cada parcela foram coletadas aleatoriamente cinco folhas na posição +1 (sistema Kuijper), as quais constituíam uma amostra compostas. De cada folha (F+1) foi coletado apenas o terço médio, aproximadamente 0,2 m, excluído a nervura central. A F+1 é a primeira folha, a partir do topo da planta, que apresenta visível o ponto de separação entre limbo e bainha foliar denominado de “colarinho”, sendo denominada, também, de TVD (“Top Visible Dewlap”).

Essas amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. Após a secagem foram moídas em moinho tipo Wiley e analisadas, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), para determinação das concentrações dos macronutrientes.

3.6.1.2 Índices biométricos durante o ciclo da cana soca (segunda rebrota)

A fim de se avaliar a produtividade da cultura de cana-de-açúcar, foram realizadas quatro avaliações de produtividade durante o crescimento da soqueira. As três primeiras foram realizadas em 14 de fevereiro, 12 de abril e 15 de junho de 2007, respectivamente, aos 60, 120 e 180 dias após a adubação (d.a.a.). Nessas avaliações colheu-se e tomou-se a massa diretamente em campo de todo o material vegetal da parte aérea das plantas colhidas em 2 metros de sulco, uma amostra por parcela. Procedeu-se também, a contagem do número de perfilhos dessas amostras (número de perfilhos em 2 metros).

Nas duas primeiras épocas fez-se, também, a contagem de perfilhos em 20 m de linha de soqueira, de cada parcela (dois segmentos de 10 m), calculando-se posteriormente, o número médio de colmos por metro, por parcela. Não foi possível fazer essa contagem na terceira amostragem em decorrência do tombamento das plantas. Nessas avaliações obtiveram-se a produtividade de material vegetal da parte aérea em t ha^{-1}. Para as duas primeiras avaliações, foi considerado o número de perfilhos de cada amostra colhida em dois metros, obtendo-se a massa média de um colmo por parcela. Em seguida fez-se a relação com o número de perfilhos em um hectare, considerado o número de perfilhos em 20m. Considerado o espaçamento de 1,5 m entrelinhas, a produtividade de colmo ha^{-1} foi calculada mutiplicando-se o número de perfilhos em um hectare pela massa média de um colmo. Essa relação fez-se necessária devido à variabilidade de número de perfilhos que normalmente ocorre em um canavial.

Para estimar o crescimento e acúmulo de fitomassa com umidade natural (“fitomassa fresca”) da parte aérea da cana soca, durante o período experimental, foi utilizada a função logística:

$$Y = Ymax/(1 + (DAC/A)^{B})$$

onde: Y - fitomassa fresca da parte aérea da cana soca em t ha^{-1}; DAC – dias após o corte da cana-de-açúcar; Ymax - fitomassa fresca máxima produzida no período.

As constantes A e B da função foram estimadas segundo Zullo e Arruda (1987). Assim, foram obtidas cinco equações que descreveram a variação, no tempo, da fitomassa fresca da parte aérea da cana soca.

O índice fisiológico utilizado para avaliar possíveis diferenças entre os tratamentos foi a taxa de produção de matéria fresca (TPMF) obtida pela manipulação das funções de ajuste, segundo modelo descrito por Lucchesi (1984). A taxa de produção de matéria fresca (TPMF) é o índice que avalia o crescimento do vegetal relacionando a quantidade de fitomassa fresca acumulada, em razão da área de solo, por unidade de tempo (LUCCHESI, 1984), e não requer conhecimento da área foliar da planta para sua avaliação.

3.6.1.3 Produtividade e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar

Em 21 de novembro de 2007, foi avaliada a produção final de colmos por hectare (TCH), colhendo-se quatro linhas de 15 metros por parcela (60 m de sulco). Estas linhas foram colhidas mecanicamente (colhedora da Usina Iracema) sem queima prévia do canavial e as avaliações de produtividade foram efetuadas em caminhão instrumentado com célula de carga, pertencente ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba, SP. Os resultados de cada parcela foram extrapolados para um hectare considerando-se que há 6.667 metros de linha de cana-de-açúcar em 1 ha.

Por ocasião da colheita foram amostrados 10 colmos de cana por parcela, colhidas seguidamente, a fim de se realizar as análises tecnológicas de Leitura de Pol (%) cana, ºBrix, Fibra (%) cana, AR (%) cana, Pureza (%) cana, ATR (kg t^{-1}) segundo Fernandes (2003). Entendem-se como fibra os constituintes insolúveis; como POL (%) o teor de sacarose aparente; como AR os açúcares redutores (glicose + frutose); como ATR o açúcar total recuperável e como pureza a porcentagem de sacarose nos sólidos

solúveis. A produtividade de açúcar (TPH) foi obtida por meio do produto entre a TCH e a concentração de sacarose (pol cana) correspondente de cada parcela, dividido por 100.

3.6.1.4 Margem de contribuição agrícola da cana soca (segunda rebrota)

Neste trabalho, optou-se por utilizar a margem de contribuição agrícola (MCA), pois esta é de mais fácil execução e não necessita dos dados de receita esperada com a venda de açúcar e álcool. A MCA representa, portanto, a diferença entre a receita com a matéria-prima produzida (TCH) e entregue na indústria e os custos variáveis de corte, carregamento e transporte (CCT), tratos culturais (aplicação dos fertilizantes nitrogenados) e arrendamento (não considerado no cálculo).

Para o cálculo da MCA foram utilizados: o preço da tonelada da cana (R$ t^{-1}) obtido pela multiplicação do ATR de cada parcela (kg ha^{-1}) pelo preço do kg da ATR (R$ 0,2746 kg^{-1} de ATR); a produtividade (t ha^{-1} de colmos na safra 2006/2007); o custo do corte, carregamento e transporte (CCT) (R$ 15,80 t^{-1} – fornecido pelo departamento agrícola da Usina Iracema); e o custo da adubação nitrogenada (R$ 3,75 kg^{-1} de N na fonte cloreto de amônio, R$ 3,33 kg^{-1} N sulfato de amônio, R$ 2,06 kg^{-1} N nitrato de amônio, R$ 2,17 kg^{-1} N uréia). O modelo de cálculo da MCA foi realizado segundo Fernandes (2003).

Açúcar = TCH x ATR

Receita Bruta = Açúcar x 0,2746

Custo CCT = CCT x TCH

Custo Total = CCT + adubo

MCA = Receita bruta - Custo total

3.6.2 Terceira rebrota de cana-de-açúcar: Efeito do N-residual (safra 2007/2008)

Em 17 de dezembro de 2007 realizou-se a adubação do quarto ciclo agrícola da cultura (terceira rebrota), aplicando-se 450 kg ha^{-1} do formulado 20-5-19, fornecendo

90, 22 e 86 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente, adubação essa aplicada em todos os tratamentos, inclusive na testemunha, visando avaliar o efeito residual dos tratamentos com fontes e doses de nitrogênio aplicados no ciclo agrícola anterior na produtividade rebrota subseqüente. A aplicação foi em faixa, feita manualmente, sobre a palha e ao lado da linha de soqueira de cana-de-açúcar (distante 25 cm do centro da linha de cana-de-açúcar).

3.6.2.1 Avaliação da fertilidade do solo após a colheita da segunda rebrota

Após a colheita da cana soca (segunda rebrota) realizada em novembro de 2007, realizou-se a amostragem de solo para fins de caracterização química de fertilidade, na profundidade 0 – 25 e 25 – 50 cm, colhidas a 25 cm da linha de cana-de-açúcar, coletando-se amostras compostas de solo em todas as parcelas do experimento implantado em 2006. As características químicas do solo após a colheita em 2007 encontram-se na Tabela 5. Os atributos químicos de solo foram analisados segundo as metodologias indicadas no item 3.3.

Tabela 5 - Características químicas do solo para as parcelas dos tratamentos com fontes e doses de N e testemunha, na profundidade de 0 – 25 e 25 – 50 cm, após a colheita da cana-de-açúcar em novembro de 2007

	M.O	pH	S-SO_4	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	g dm^{-3}	$CaCl_2$	mg dm^{-3}		mmol$_c$ dm^{-3}						%
					0 – 25 cm						
TEST	33,8	4,5	32,0	17,8	2,0	24,5	11,0	57,5	37,5	95,0	39,3
CA60	36,3	4,5	23,3	21,3	2,2	23,5	9,8	65,5	35,5	101,0	35,0
CA120	35,0	4,5	25,3	19,5	2,1	23,8	9,0	65,0	34,8	99,8	34,5
CA180	32,5	4,4	27,3	21,3	2,0	17,8	6,3	69,0	26,0	95,0	28,0
NA120	33,8	4,5	37,3	25,3	2,1	21,3	8,8	60,5	32,1	92,6	35,0
SA120	34,0	4,4	60,5	17,3	1,8	19,8	8,3	71,5	29,8	101,3	30,3
U120	33,3	4,6	20,8	15,8	1,7	27,0	9,8	59,5	38,4	97,9	39,8
					25 – 50 cm						
TEST	26,0	4,8	40,0	10,3	1,0	21,0	7,3	43,8	29,3	73,0	40,0
CA60	24,8	4,9	35,3	21,3	1,0	27,8	10,5	41,0	39,3	80,3	48,5
CA120	25,3	5,0	37,3	21,3	0,8	28,5	9,5	38,3	38,8	77,0	49,8
CA180	23,5	4,9	44,3	10,3	0,6	23,0	6,5	41,0	30,1	71,1	41,5
NA120	23,3	4,9	20,0	11,8	0,8	23,0	7,8	42,0	31,5	73,5	43,3
SA120	23,3	5,2	52,3	11,3	0,6	28,5	9,3	33,3	38,4	71,6	53,8
U120	25,5	5,1	68,3	21,5	0,7	32,8	9,0	36,8	42,5	81,7	52,3

O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}

3.6.2.2 Avaliação da atividade da enzima redutase do nitrato

Durante o ciclo da terceira rebrota de cana-de-açúcar foram realizadas três amostragens de folha +1 (sistema Kuijiper) em intervalos de dois meses, sendo que a primeira ocorreu em fevereiro de 2008 (60 d.a.a.). Foram coletadas cinco folhas/parcela, de modo aleatório. Quantificou-se a atividade "in vivo" da enzima redutase do nitrato (RNO_3) na folha + 1 pelo método de Mulder et al. (1969). As folhas foram coletadas sempre às 8 horas da manhã, acondicionadas em sacos plásticos umedecidos e levadas imediatamente ao laboratório para determinação da atividade da enzima.

Cerca de 200 mg de material verde cortado do limbo foliar foram incubados por aproximadamente duas horas em meio de KNO_3 (4 mL) em tampão fosfato. Após a incubação, 1 mL do extrato foi pipetado, e o NO_2^- presente determinado por adição de 1 mL de ácido sulfanílico e HCl 20% para paralisar a reação, seguido da adição de 1 mL alfa-naftilamina para desenvolver a cor e reagir com o NO_2^-.

A leitura foi realizada em espectofotômetro a 540 nm, sendo a atividade da enzima determinada pela quantidade de nitrito (NO_2^-) produzida, comparando os valores obtidos com uma curva padrão para esse íon, previamente estabelecida para cálculo da concentração de NO_2^- do meio. Os resultados obtidos da redutase do nitrato foram expressos em µmol NO_2^- h^{-1} g^{-1} de material vegetal fresco (MF).

3.6.2.3 Avaliação do estado nutricional da cana soca de terceira rebrota

Para avaliação do estado nutricional das plantas durante o ciclo da terceira rebrota de cana-de-açúcar, no estádio de máximo desenvolvimento da cultura, em 14 de fevereiro de 2008 (60 d.a.a.) foram coletadas folhas-diagnóstico segundo Raij e Cantarella (1997), como descrito no item 3.6.1.1. Após secagem foram moídas em moinho tipo Wiley e analisadas para determinações da concentração de macronutrientes segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Nessas amostras também foram realizadas determinações da concentração de N-mineral ($N\text{-}NO_3^-$ e $N\text{-}NH_4^+$). A determinação das concentrações de nitrato e amônio

na folha +1 (mg kg^{-1} MS) foi realizada em duplicata por amostra, pesando-se 0,1 g de material vegetal seco, sendo determinados por colorimetria conforme metodologia de Bremner e Keeney (1965).

3.6.2.4 Avaliação dos teores de N-mineral ($N\text{-}NO_3$ e $N\text{-}NH_4$) no solo

Foi realizada a determinação dos teores de nitrato e amônio no solo, amostrado logo após a colheita em dezembro de 2007. Os teores de $N\text{-}NO_3^-$ e de $N\text{-}NH_4^+$ no solo foram determinados em amostra composta, formada pela mistura de três subamostras de solo na camada de 0–25 cm de profundidade, por parcela, coletadas a 25 cm da linha de cana-de-açúcar. As amostras (50 g por amostra) foram colocadas em béquer com KCl para extração do N-inorgânico e agitadas por 30 minutos, após decantação por mais 30 minutos o sobrenadante foi filtrado e, posteriormente determinados os teores de $N\text{-}NO_3^-$ e $N\text{-}NH_4^+$ no solo, seguindo os procedimentos descritos por Cantarella e Trivelin (2001).

3.6.2.5 Avaliação da produtividade e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar

Em novembro de 2008, foi avaliada a produção final de colmos por hectare (TCH), colhendo-se quatro linhas de 15 m por parcela (60 m de sulco). Estas linhas foram colhidas mecanicamente (colhedora da Usina Iracema) sem queima prévia do canavial e as avaliações de produtividade foram efetuadas em caminhão instrumentado com célula de carga, pertencente ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba, SP. Os resultados de cada parcela foram extrapolados para um hectare considerando-se que há 6.667 metros de linha de cana-de-açúcar nessa área.

Nessa colheita foram amostrados 10 colmos de cana por parcela, colhidas seguidamente, a fim de se realizar as análises tecnológicas de Leitura de Pol (%) cana, ºBrix, Fibra (%) cana, AR (%) cana, Pureza (%) cana, ATR (kg t^{-1}), segundo Fernandes (2003).

3.6.2.6 Margem de contribuição agrícola relacionada ao N-residual (safra 2007/2008)

Para o cálculo da MCA foram utilizados: o preço da tonelada da cana (R$ t^{-1}) obtido pela multiplicação do ATR de cada parcela (kg ha^{-1}) pelo preço do kg da ATR (R$ 0,2746 kg^{-1} de ATR); a produtividade (t ha^{-1}); o custo do corte, carregamento e transporte (CCT) (R$ 15,80 t^{-1} – preço médio da Usina Iracema); e o custo da adubação NPK realizada no ciclo da terceira rebrota de cana-de-açúcar em dezembro de 2007 (450 kg ha^{-1} do formulado 20-5-19 = R$558,0). O modelo de cálculo da MCA foi realizado segundo Fernandes (2003), como descrito no item 3.6.1.4.

3.7 Balanço climatológico durante o ciclo da cana soca de segunda e terceira rebrota

Para a estimativa da evapotranspiração foram utilizados dados coletados em estação meteorológica automática instalada próxima à área experimental. Várias aproximações são disponíveis para estimar o uso de água pelas culturas. O método prático mais amplamente aceito deriva a evapotranspiração (ETc) de culturas crescendo em condições adequadas de nutrição, suprimento de água em ausência de pragas e doenças, da evapotranspiração de referência usando (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005):

$$\mathbf{ETc = Kc \,.\, ET0,}$$

O Kc é um coeficiente empírico de cultura, ou coeficiente da cultura; ET0 é calculado usando a equação de Penman-Monteith, que atualmente é o método padrão da FAO (ALLEN et al., 1998):

$$\mathbf{ET_P = \frac{0{,}408\ s\ (Rn - S) + [\ \ell\ 900\ U_2\ (e_s - e_a) / T + 273\ ]}{s + \ell\ (1 + 0{,}34\ U2)}}$$

onde: Rn é a radiação liquida total diária (MJ m^{-2} d^{-1}); G é o fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} d^{-1}); ℓ = 0,063 kPa $^{o}C^{-1}$ é a constante psicométrica; T é a temperatura média do ar (^{o}C); U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); es é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão parcial de vapor (kPa), e_s é a declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar, em kPa oC^{-1}.

Para o cálculo da evapotranspiração da cultura foram utilizados os índices kc para os diversos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, descritos em Doorenbos e Kassan (1994). Entretanto, o Kc de 1,05 no período de máximo crescimento foi substituído pelo Kc de 1,25 segundo modificações propostas por Allen et al. (1998) e confirmadas por Inman-Bamber e McGlinchey (2003) para a cana-de-açúcar. A partir dos dados da evapotranspiração da cultura e medidas pluviométricas, foi calculado o balanço hídrico de cultura utilizando planilhas eletrônicas (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998)

3.8 Análise dos resultados

Os efeitos dos tratamentos para fontes e doses de nitrogênio foram submetidos à análise de variância utilizando o teste de F, ao nível de 90% de confiança. Posteriormente para as causas de variação significativas aplicou-se o teste de significância de Duncan ($p<0,10$) para comparar o efeito do fator fontes de N. Procederam-se análises de regressão, para verificar o efeito das doses de N da fonte cloreto de amônio. Realizou-se também, a correlação de Pearson para as características químicas do solo. Nessas análises foi utilizado o software SAS (SAS, 1996).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Segunda rebrota de cana-de-açúcar (safra 2006/2007)

4.1.1 Características agronômicas da cana soca relacionadas à adubação nitrogenada

O perfilhamento da segunda rebrota da cana-de-açúcar (SP89 1115) foi acentuado até os 60 d.a.a. (Tabela 6). Essa maior rapidez das variedades na obtenção do máximo de perfilhamento na cana soca se deve ao sistema radicular já estar estabelecido, enquanto na cana-planta o sistema radicular ainda irá se desenvolver. Isso também se deve ao fato de as condições ambientais terem sido ótimas para a brotação da soqueira, por meio da combinação entre suprimento hídrico adequado e altas temperaturas (Figura 1). Os valores de temperatura situaram-se dentro da faixa ideal (25°C a 33°C), para essa fase vegetativa da cana-de-açúcar (KEATING et al., 1999; LIU et al., 1999).

Simões et al. (2005) observaram que o número de perfilhos por planta aumentou continuadamente dos 60 aos 120 dias e decresceu gradualmente a partir desse ponto pelo efeito de competição e sombreamento. De forma semelhante, Ramesh e Mahadevaswamy (2000) encontraram o mesmo período dos 60 aos 120 dias após o plantio para o período de máximo perfilhamento em áreas submetidas a déficit hídrico severo ou moderado. Entretanto, em condições hídricas ideais, os mesmos autores encontraram o máximo perfilhamento aos 90 dias após o plantio, sendo que após esse período ocorreu decréscimo na população de perfilhos.

Tabela 6 - Número de perfilhos por metro, em função das fontes de N e épocas de avaliação após a adubação (d.a.a.)

Número de perfilhos por metro				
Fontes N	**Tempo (d.a.a.)**		**Valor F**	**CV (%)**
	60	**120**		
TEST	16,2 bA	11,8 cB	14,8***	11,4
CA120	18,9 aA	15,0 aB	6,9**	12,2
NA120	18,6 aA	14,0 abB	52,9***	5,4
SA120	19,4 aA	14,3 abB	33,57***	7,3
U120	17,8 abA	12,8 bcB	25,43***	9,2
CV (%)	8,0	11,2	-	-
Valor F	2,8*	2,7*		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. *, ** e *** significativos a 10, 5 e 1 % de probabilidade, respectivamente. CV (%): Coeficiente de variação

Observou-se que independente do tratamento ocorreu redução significativa no número de perfilhos no período dos 60 aos 120 d.a.a. (Tabela 6). Segundo Machado et al. (1982) nos estádios iniciais da cultura há uma superprodução de perfilhos, que no decorrer do ciclo agrícola sofrem mortalidade natural, oriunda da competição intra-específica.

A temperatura média entre os meses de novembro/2006 e abril/2007, correspondentes aos primeiros 180 dias do ciclo da cultura, oscilou entre 23 a 25ºC(Figura 1), sendo que as temperaturas máximas atingiram, em praticamente todos os meses, valores superiores à 30ºC. A umidade relativa do ar não foi inferior a 75% e o balanço hídrico para a cultura (Figura 7) apresentou um curto e reduzido período de déficit hídrico. Sendo assim, as condições ambientais que prevaleceram durante o período experimental foram determinantes para a expressão da capacidade de perfilhamento da variedade.

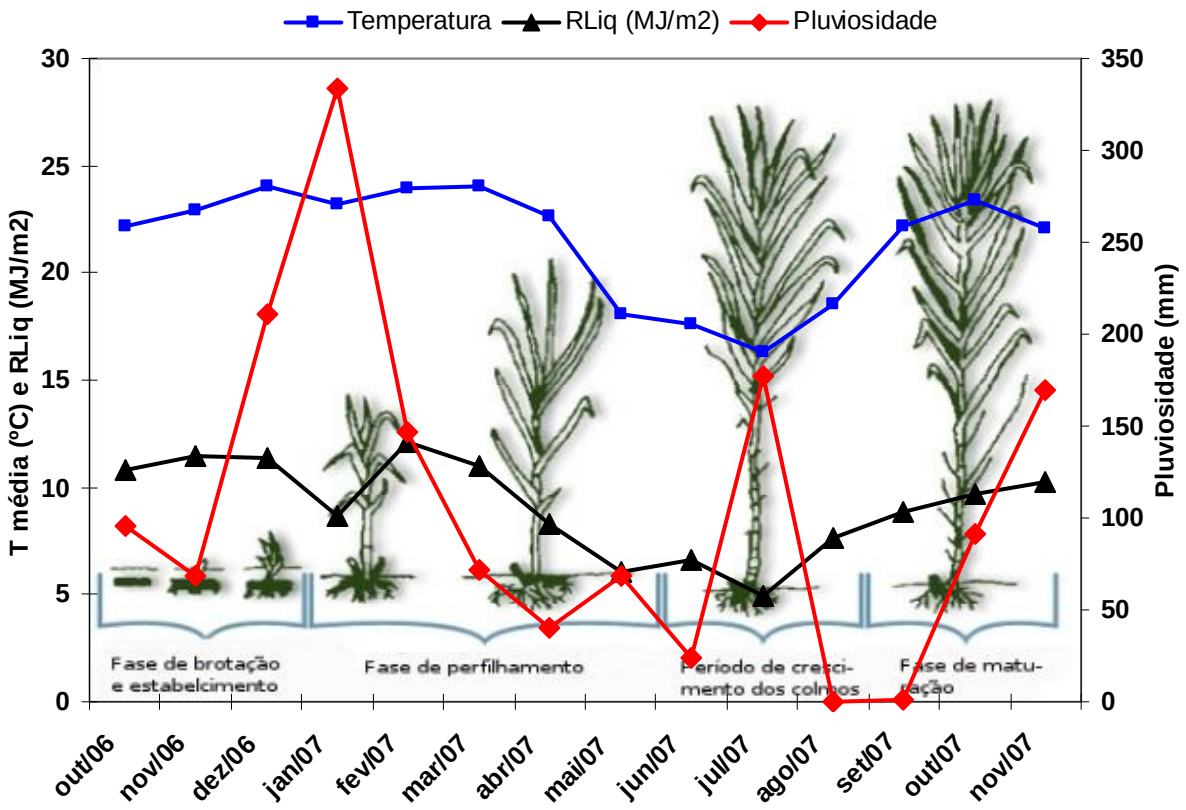

Figura 1 - Pluviosidade, temperatura média do ar e radiação líquida durante o ciclo da cana soca (segunda rebrota). Fonte: Adaptado de Gascho e Shih (1983)

O índice de perfilhamento da cana é uma característica varietal, sendo o processo de perfilhamento regulado pela auxina, sintetizada na gema apical da planta. Esse hormônio induz a elongação de tecidos, podendo inibir a emergência das gemas laterais por meio da dominância apical (CASAGRANDE, 1991; CASTRO; CHRISTOFFOLETTI, 2005). Com alta luminosidade, em média 10,3 MJ m^{-2} (Figura 1), observada durante o período vegetativo da cana-de-açúcar (dezembro a maio), o alto fluxo de auxina resultou, provavelmente, em decréscimo no grau de inibição das gemas laterais, o que por sua vez resultou na maior formação de perfilhos, já aos 60 d.a.a.

A adubação nitrogenada influenciou de forma positiva o perfilhamento da cana-de-açúcar nas duas épocas de avaliação, destacando-se os fertilizantes amoniacais, que aos 120 d.a.a. diferiram significativamente do tratamento uréia e testemunha, não diferindo, porém entre si (Tabela 6). A maior eficiência no perfilhamento para as fontes

amoniacais muito provavelmente ocorreu em função da sua rápida absorção pelas plantas, visto que o nitrogênio amoniacal está prontamente disponível para as plantas.

O menor perfilhamento do tratamento uréia em comparação aos demais pode ter ocorrido em função da sua menor eficiência, já que as perdas de NH_3 por volatilização são importantes quando a uréia é aplicada sobre a palha, como no presente estudo, não disponibilizando o nutriente às plantas no período de grande necessidade, como no início do desenvolvimento da cultura. A presença da palha geralmente tem maior atividade de urease e dificulta a difusão da NH_3 para o interior do solo, o que tende a agravar as perdas por incrementar a taxa de hidrólise da uréia. No Brasil, experimentos realizados em condições de campo, com aplicação de uréia sobre palhada de cana, têm mostrado perdas por volatilização de NH_3 que podem atingir 20% a 40%, ou mais, do N aplicado (CANTARELLA et al. 1999; VITTI et al., 2002).

A produção de fitomassa fresca da parte aérea (Tabela 7), não apresentou diferença significativa entre as fontes de N para a análise de variância nas três épocas avaliadas. No entanto, a fonte nitrogenada CA proporcionou ganho de aproximadamente 25,6 e 28,2% comparativamente às plantas do tratamento sem N-fertilizante aos 120 e 180 d.a.a. respectivamente.

O máximo acúmulo de fitomassa fresca da parte aérea ocorreu até os 120 d.a.a., período em que a pluviosidade acumulada foi em torno de 700 mm, ocorrendo um declínio nos ganhos dos 120 aos 180 d.a.a (junho), devido às condições de clima seco e frio, quando tem início o processo de acúmulo de sacarose (Tabela 7). A cana-de-açúcar necessita de um período quente e úmido para brotar, emergir e perfilhar, tendo seu máximo desenvolvimento vegetativo de novembro a abril (para “cana de ano” e cana soca), diminuindo após esse período, devido às condições de clima adverso.

Tabela 7 - Produção de fitomassa fresca da parte aérea da cana-de-açúcar (t ha^{-1}), em função das fontes de N e épocas de avaliação após a adubação (d.a.a.)

Produção de fitomassa fresca P.A					
Fontes N	**Tempo (d.a.a.)**			**Valor F**	**CV (%)**
	60	**120**	**180**		
TEST	59,8 abC	89,3 bB	114,1 aA	9,8***	19,8
CA120	69,8 abB	114,9 aA	142,3 aA	9,8***	21,4
NA120	57,9 bB	110,8 aA	126,3 aA	11,5***	21,5
SA120	76,4 aC	107,9 abB	129,5 aA	17,9***	12,0
U120	69,9 abC	95,4 abB	134,1 aA	28,9***	12,0
CV (%)	19,5	14,2	18,4	-	-
Valor F	$1,4^{NS}$	$2,1^{NS}$	$0,8^{NS}$		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. NS: não significativo; *, ** e *** signifivativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Diferentemente do observado para número de perfilhos ha^{-1}, a uréia apresentou a mesma eficiência para produção de fitomassa fresca da parte aérea nas três épocas de avaliação quando comparada aos demais tratamentos (Tabela 7). Sabe-se, porém, que a partir do máximo de perfilhamento, que ocorre, em geral, por volta do quarto mês do ciclo da cana soca, os colmos sobreviventes continuam o crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e peso, iniciando o acúmulo de açúcar a partir da base dos colmos. Apesar de o tratamento uréia ter apresentado menor número de perfilhos m^{-1}, o peso unitário dos perfilhos foi mais elevado, sendo, portanto, compensado o menor número de perfilhos por ha, apresentando a mesma produção de massa dos tratamentos com outras fontes nitrogenadas

O número de perfilhos por metro, aos 60 e 120 d.a.a., foi influenciado pelo incremento de N da fonte cloreto de amônio, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (Tabela 8, Figura 2). Esses resultados sugerem que as quantidades de N exigidas pela cultura são elevadas, fazendo-se necessária a adição de N no solo, logo no início do ciclo de produção.

Tabela 8 - Número de perfilhos por metro e produção da parte aérea (t ha^{-1}), em função das doses de N e épocas de avaliação após a adubação (d.a.a.)

Doses N (kg ha^{-1})	Número perfilhos m^{-1}		Produção Parte aérea (t ha^{-1})		
	Tempo após a adubação (dias)				
	60	120	60	120	180
0	16, 2	11,8	59,8	89,3	114,1
60	17,9	13,6	69,2	105,9	124,6
120	18,8	15,0	69,8	114,9	142,3
180	17,4	13,0	71,1	99,1	117,5
F – R.L	$1,7^{NS}$	$1,3^{NS}$	$1,6^{NS}$	$1,8^{NS}$	$0,3^{NS}$
F – R.Q	4,8**	4,4**	$0,4^{NS}$	11,3**	$2,4^{NS}$
CV (%)	7,9	13,2	18,2	9,4	18,3

NS: não significativo; *, ** e *** significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

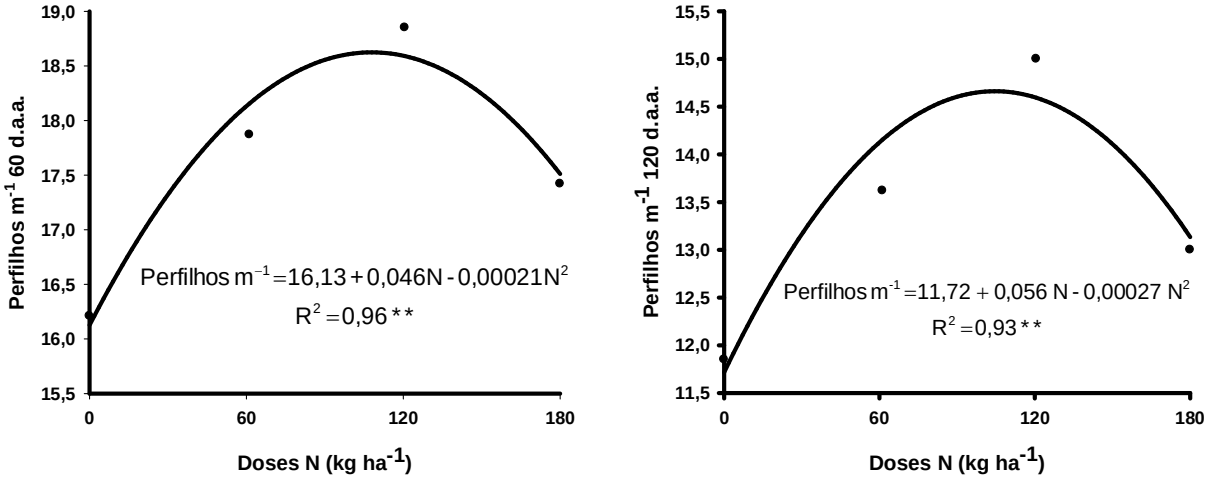

Figura 2 - Número de perfilhos m^{-1} aos 60 e 120 d.a.a. relacionado com as doses de nitrogênio (kg ha^{-1}) na forma de cloreto de amônio

Na dose de N-CA mais elevada (180 kg ha^{-1} de N) a redução no perfilhamento pode significar toxidez de Cl^- (Tabela 8, Figura 2), uma vez que o ânion representa 66% da composição do adubo e o N somente 25%. Segundo Marschner (1995) altas concentrações de Cl^- no solo, podem diminuir a absorção de nitrogênio pelas plantas, devido ao efeito antagônico existente entre ambos, o que pode ter influenciado no perfilhamento.

Para a produção de fitomassa fresca da parte aérea (Tabela 8 e Figura 3), verificou-se influência das doses de N da fonte CA somente aos 120 d.a.a. A equação de resposta do parâmetro avaliado com a aplicação de N na forma de cloreto de amônio mostrou que a dose de 117 kg ha^{-1} de N foi a que proporcionou a máxima produção. Esses resultados também evidenciam um possível efeito de toxidez por Cl^- na dose mais alta como discutido com os resultados de perfilhamento. O potencial agrícola de utilização do cloreto de amônio como fonte de nitrogênio também foi demonstrado por Barati et al. (2006) em experimentos de campo com a cultura do arroz, em que o cloreto de amônio foi aplicado nas doses 0, 50, 100 e 200 kg ha^{-1} N. Barati et al. (2006) concluíram que os sucessivos incrementos nas doses de N aumentou o rendimento de grãos de arroz até a dose de 100 kg ha^{-1} N.

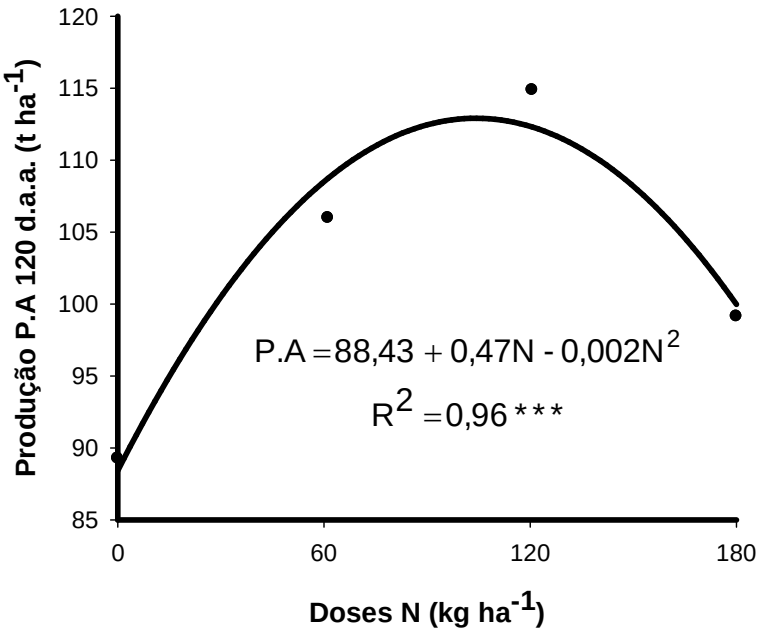

Figura 3 - Produção de fitomassa fresca da parte aérea (t ha^{-1}) aos 120 d.a.a., relacionada às doses de nitrogênio (kg ha^{-1}) na forma de cloreto de amônio

A curva de crescimento relacionada à produção de fitomassa fresca da parte aérea em função do tempo mostrou-se semelhante para todas as doses de N, caracterizando-se por um rápido acúmulo de fitomassa fresca nas fases iniciais da cultura, cerca de 90 d.a.a. (Figura 4). Após este período foi verificado crescimento mais lento da parte aérea de cana-de-açúcar, mais precisamente dos 90 aos 240 dias após a adubação, seguido por um período estacionário (maturação), quando tem início o acúmulo de sacarose nos colmos.

As doses de 60 e 120 kg ha^{-1} de N mostraram comportamento semelhante até os 60 dias após a adubação, produzindo a mesma quantidade de fitomassa fresca, após este período a dose de 120 kg ha^{-1} de N foi superior as demais (Figura 4).

A dose de 180 kg ha^{-1} de N apresentou baixa produção de matéria fresca no período inicial de desenvolvimento da cultura, possivelmente em função da toxidez ocasionada pela alta dose de NH_4Cl. De acordo com Ayers e Westcot, (1991), o limite de tolerância à salinidade depende da concentração do sal em solução, do tempo de exposição, bem como do estádio de desenvolvimento das plantas, sendo a fase inicial do desenvolvimento a considerada mais crítica. Os efeitos negativos desse íon estão relacionados ao efeito osmótico, que induz condição de estresse hídrico às plantas e ao efeito tóxico direto, principalmente sobre os sistemas enzimáticos e de membranas.

Porém, aos 90 d.a.a. foi verificado aumento substancial na produção, igualando-se à dose de 120 kg ha^{-1} de N (Figura 4). Um dos mecanismos comumente citado para tolerância à salinidade tem sido a capacidade das plantas em acumular íons no vacúolo e, ou, solutos orgânicos de baixo peso molecular no citoplasma, em um processo denominado de ajustamento osmótico, que pode permitir a manutenção da absorção de água e da turgescência celular (HOPKINS, 1999).

Durante todo o ciclo da cana soca o tratamento sem adição de N-fertilizante (testemunha) foi o que apresentou a menor produção de fitomassa fresca da P.A, evidenciando assim a importância da adubação nitrogenada no incremento da produção de fitomassa da soqueira.

A TPMF máxima nas doses 60 e 120 kg ha^{-1} de N ocorreu aos 30 d.a.a., enquanto que na dose de 180 kg ha^{-1} de N este período foi em torno de 60 d.a.a. (Figura 4). Segundo Soares et al. (2002), na fase inicial de crescimento, o efeito da

salinidade pode ser mais prejudicial devido ao efeito físico (redução na quantidade de água disponível às plantas, por exemplo) e menos devido ao efeito tóxico direto do Cl^-, como discutido anteriormente. Para alguns autores, redução em área foliar é um importante mecanismo adaptativo de plantas cultivadas sob excesso de sais e estresse hídrico, visto que, sob tais condições, é interessante a redução na transpiração e, conseqüentemente, diminuição do carregamento de Cl^- no xilema e conservação da água nos tecidos das plantas (CRUZ et al., 2003).

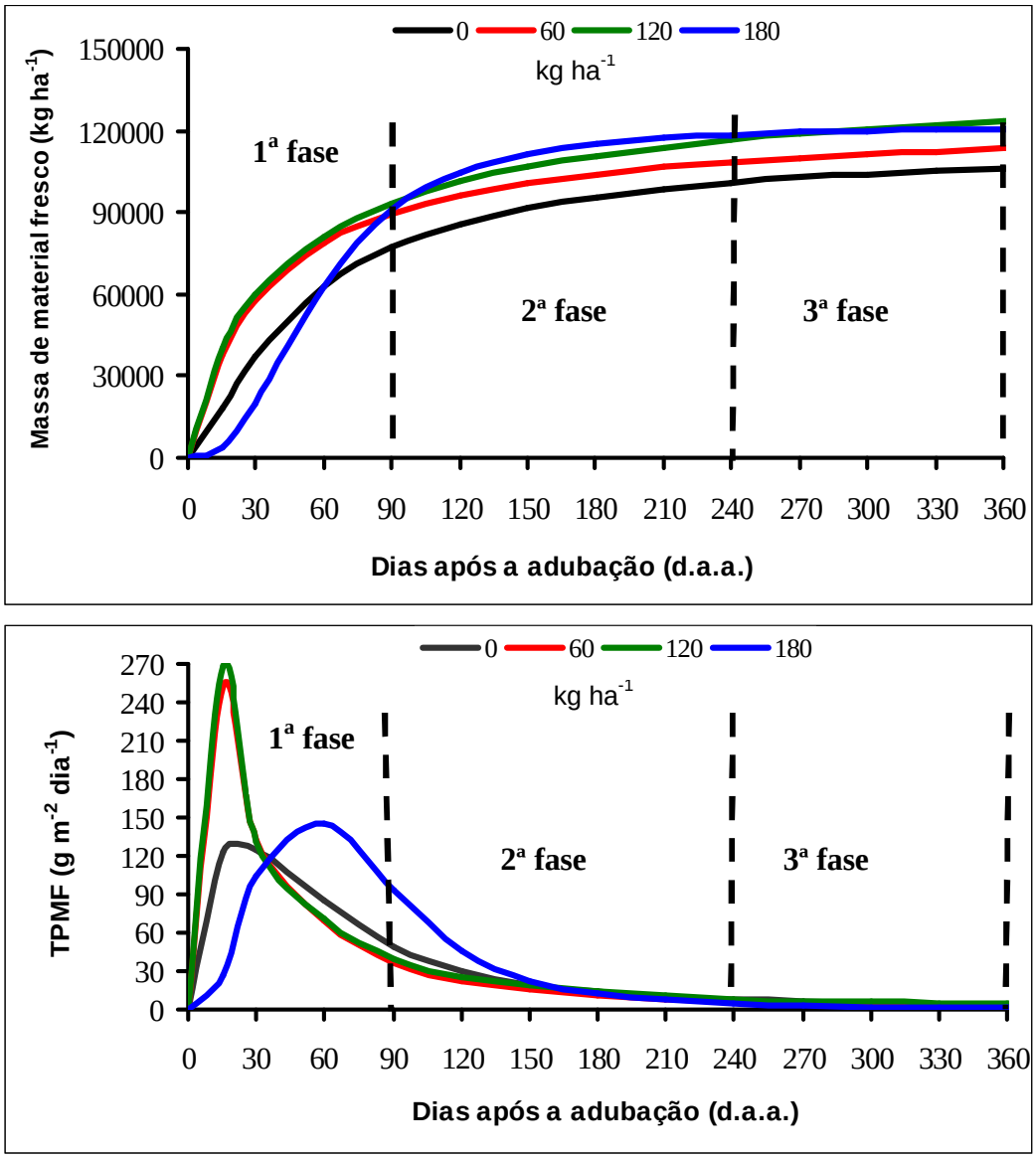

Figura 4 - Acúmulo de fitomassa fresca e taxa de produção de matéria fresca (TPMF) da parte aérea da cana-de-açúcar durante o ciclo agrícola de cana soca (ajuste da função logística) relacionados à doses de nitrogênio de CA

O acúmulo de fitomassa fresca da parte área apresentou nos tratamentos com fontes de nitrogênio e mesma dose de 120 kg ha^{-1} de N, a mesma característica de crescimento vegetal (Figura 5). A primeira fase (0 aos 90 d.a.a.) é representada por um rápido acúmulo de fitomassa quando se dá a total cobertura do solo pela folhagem da cana, como conseqüência do máximo perfilhamento.

A segunda fase (90 aos 240 d.a.a.) foi caracterizada por menor acúmulo de fitomassa, quando os colmos sobreviventes continuam o crescimento e desenvolvimento, ganhando altura e iniciando o acúmulo de açúcar na base dos colmos. Durante esse estádio, as folhas mais velhas senescem e caem. Quando as touceiras atingem altura máxima, ocorre o amarelecimento e a conseqüente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que já está sendo depositado açúcar nessa região, caracterizando a terceira fase (240 aos 365 d.a.a.) do crescimento da cana-de-açúcar (GASCHO, 1983). Havendo boas condições de pluviosidade, a época de máximo desenvolvimento da cultura se dá de outubro a abril, com máximo de crescimento entre dezembro a abril (CASAGRANDE, 1991), como verificado neste experimento.

A TPMF ocorreu de forma mais acentuada para todos os tratamentos até os 30 d.a.a., sendo o tratamento CA120 o que apresentou maior potencial de produção (Figura 5). O desenvolvimento das folhas determina a área de interceptação da radiação solar e a dimensão do aparelho fotossintetizador, sendo assim, sua dimensão se estabelece nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (MACHADO et al., 1982). Dessa, forma o maior potencial produtivo da fonte CA pode ser explicado pela maior disponibilidade de cloro às plantas, sendo este nutriente necessário às reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, produzindo oxigênio (CLARKE; EATON RYNE, 2000), sendo essencial, também, para a divisão celular (HARLING et al., 1997).

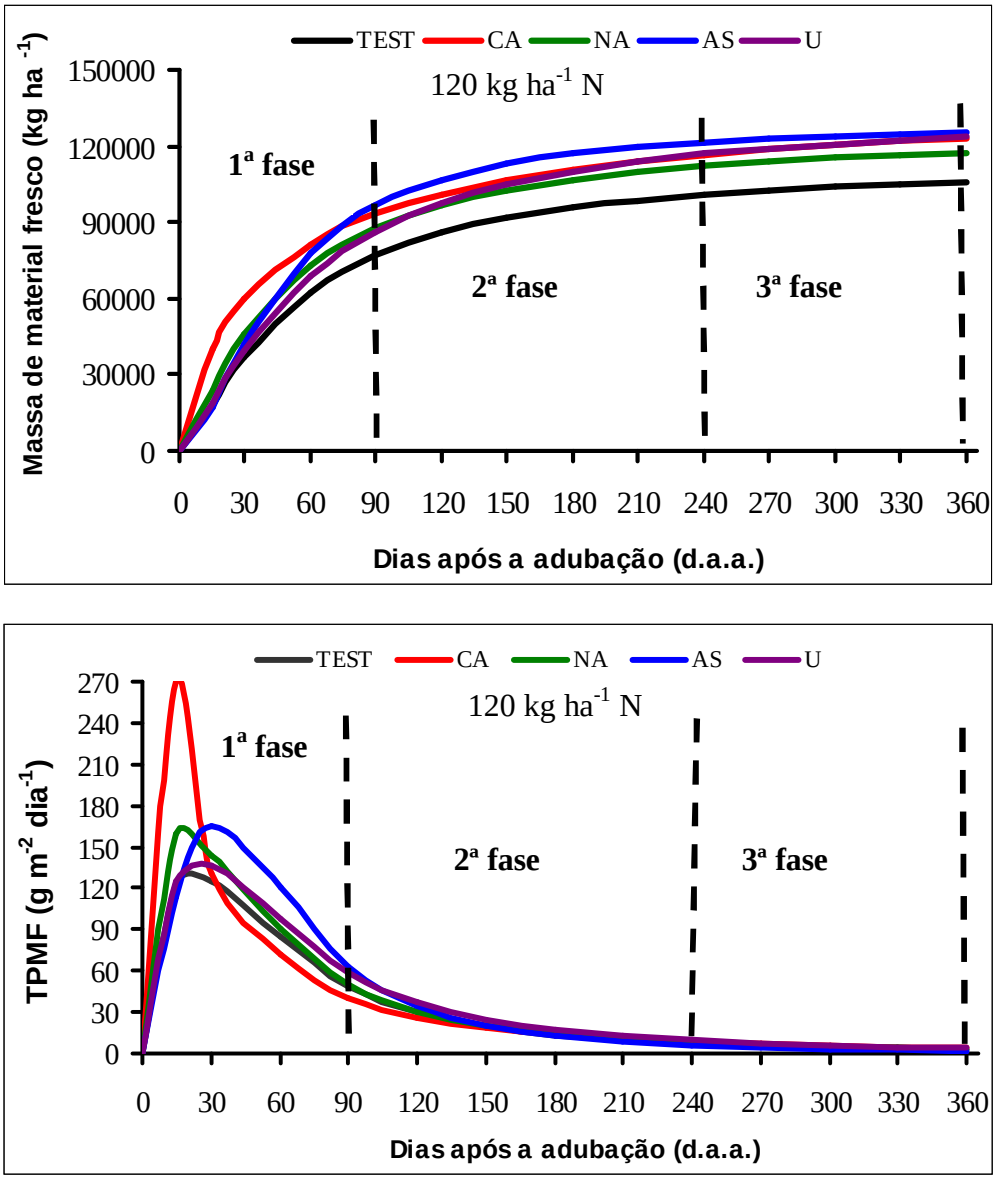

Figura 5 - Acúmulo de fitomassa fresca e taxa de produção de matéria fresca (TPMF) da parte aérea da cana-de-açúcar durante o ciclo agrícola de cana soca (ajuste da função logística) relacionados às fontes de nitrogênio (dose de N de 120 kg ha^{-1})

Segundo Machado et al. (1982), até os 100 dias a massa das folhas representa mais que 70% do total da planta. Depois desse estádio, a quantidade relativa à massa das folhas diminui progressivamente até que ao redor dos 400 dias as folhas passam a representar apenas 9% da massa total da planta, reduzindo, portanto, substancialmente o acúmulo de fitomassa fresca.

A produtividade da cana-de-açúcar é profundamente influenciada pelas condições climáticas prevalecentes durante os vários sub-períodos de seu crescimento. Dessa forma, o conhecimento das fases de crescimento fenológicas é essencial para um manejo mais adequado e, consequente maximização da produção de cana-de-açúcar.

4.1.2 Concentrações de macronutrientes na folha-diagnóstico (F+1)

Dentre os macronutrientes, somente o nitrogênio mostrou na folha diagnóstico (folhas +1) concentração inferior àquela da faixa de valores considerados adequados para o Estado de São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Considerada a dose de 120 kg ha^{-1} de N, as fontes nitrogenadas apresentaram concentrações foliares de nitrogênio que não diferiram entre si, o que pode ser um indicativo de similaridade na eficiência agronômica dos adubos nitrogenados (Tabela 9).

Esse efeito pode ter sido conseqüência do reduzido intervalo de tempo entre a adubação e a amostragem de folha +1 (60 dias após a adubação), não sendo suficiente para que a cana-de-açúcar absorvesse todo o N que necessitou para o seu desenvolvimento. Caso a amostragem tivesse sido realizada mais ao final do período de máximo crescimento (março-abril de 2007), talvez as concentrações fossem maiores. Outro fator que não deve ser desconsiderado é a pluviosidade após a adubação. Após a adubação foram contabilizados 536 mm de chuva, o que pode ter prejudicado a absorção de N pelo excesso de água no solo.

De forma geral, verificou-se que mesmo sem o apoio da estatística as maiores médias de concentrações foliares para nitrogênio foram dos tratamentos com adubação nitrogenada. A nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar nos tratamentos com aplicação de fontes de N teve efeito sinérgico positivo no aumento das concentrações foliares de P e S. Para o K os tratamentos tiveram efeito de diluição, ou seja, com o maior crescimento das plantas ocorreu decréscimo nas concentrações de K nas folhas, sendo as concentrações foliares de K na testemunha superiores aos dos tratamentos com

nitrogênio (JARREL; BEVERLY, 1981). Não se verificou efeito dos tratamentos nas concentrações foliares de cálcio.

Tabela 9 - Concentração de macronutrientes da diagnose foliar (folha +1) da soqueira de cana-de-açúcar relacionadas com as fontes de nitrogênio

	Concentrações adequadas para o Estado de São Paulo #					
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	g kg^{-1}					
Faixa de suficiência	18,0 - 25,0	1,5 - 3,0	10,0 - 16,0	2,0 - 8,0	1,0 - 3,0	1,5 - 3,0
	Concentração foliar					
Fontes N	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	g kg^{-1}					
Test	13,4 b	1,8 b	16,4 a	4,2 a	1,7 b	1,8 c
CA 120	13,8 b	2,0 a	13,9 b	4,2 a	1,8 ab	2,1 ab
NA 120	16,3 ab	2,1 a	12,5 b	4,2 a	2,0 a	2,1 b
SA 120	13,9 b	2,0 a	14,6 ab	4,1 a	1,9 ab	2,3 a
U120	17,3 a	2,2 a	12,9 b	4,3 a	2,0 a	2,0 b
CV (%)	16,4	8,9	11,2	9,9	10,6	5,6
Valor F	1,9^{NS}	2,8*	3,8**	0,1^{NS}	1,8^{NS}	8,0***

Teores adequados para o Estado de São Paulo, segundo Raij et al. (1997)
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. NS: não significativo; *, ** e *** significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

A exceção ficou por conta da concentração foliar de S, que apresentou diferença altamente significativa (ao nível de 1%) para todos os tratamentos, quando comparados à testemunha, sendo que o tratamento com sulfato de amônio foi o que apresentou maior concentração foliar de S (Tabela 9). Estes resultados evidenciam a importância da adubação nitrogenada associada ao fornecimento de enxofre às plantas de cana-de-açúcar. A maior concentração de S nos tratamentos com N deveu-se ao sinergismo entre o N e S na produção e formação das proteínas, devido à necessidade de S para formar os aminoácidos: cisteína e metionina. Assim, 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).

De maneira geral, o aumento das doses de cloreto de amônio influenciou de forma positiva nas concentrações de nutrientes obtidas nas análises das folhas-diagnóstico (Tabela 10), encontrando-se na faixa de suficiência sugerida para a cultura de cana-de-açúcar cultivada no Estado de São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1997), exceção feita às concentrações de N, que estavam abaixo do limite de suficiência. Marschner (1995) enfatizou que altas concentrações de Cl^- no solo, podem diminuir a absorção de nitrogênio pelas plantas, devido ao efeito antagônico existente entre ambos.

O cloro, no entanto, é necessário às reações de quebra da molécula de água na fotossíntese, produzindo oxigênio (CLARKE; EATON-RYNE, 2000), sendo essencial, também, para a divisão celular (HARLING et al., 1997). Em geral, a maioria das plantas absorve o Cl^- em níveis superiores àqueles necessários ao seu metabolismo. Bar et al. (1991), afirmam que o teor de nitrogênio nas plantas de milho é afetado pela salinidade do solo e a absorção e o transporte do nitrato são limitados, em condições de salinidade, devido ao efeito antagônico existente entre os íons de nitrato e cloro.

O incremento das doses de N-CA aumentou as concentrações de P nas plantas (Tabela 10 e Figura 6a). Embora o P seja absorvido pela cana-de-açúcar em quantidades menores em relação ao N e K, esse nutriente exerce função chave no metabolismo desta planta, particularmente, na formação de proteínas, no processo de divisão celular e fotossíntese. Dessa forma, a deficiência de fósforo limita o perfilhamento, resultando em baixo “stand” da cultura da cana, reduzindo o diâmetro do colmo e provocando o encurtamento dos internódios (SILVA; CASAGRANDE, 1983). Sendo assim, o aumento das doses de N-CA pode ter causado aumento na absorção de P pelas plantas, o que se refletiu no maior perfilhamento da cultura, conforme mencionado anteriormente. Esse efeito é maior com o nitrogênio amoniacal que com o nítrico, devido à redução da atividade hidrogeniônica (pH) na superfície da raiz com a

absorção do NH_4^+, aumentando, assim, a disponibilidade de P para absorção pelas plantas, conforme provaram Blair et al. (1971).

Tabela 10 - Concentração de macronutrientes da diagnose foliar da soqueira de cana-de-açúcar 60 d.a.a. para doses de nitrogênio (amostragem de folha +1)

	Teores adequados para o estado de São Paulo					
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
Faixa de suficiência	g kg^{-1}					
	18,0 - 25,0	1,5 - 3,0	10,0 - 16,0	2,0 - 8,0	1,0 - 3,0	1,5 - 3,0
	Concentração foliar					
Doses N	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	g kg^{-1}					
0	13,4	1,8	16,4	4,2	1,7	1,8
60	16,6	2,1	13,8	4,4	2,1	1,9
120	13,8	2,0	12,9	4,2	1,9	2,1
180	15,4	2,1	11,8	4,5	1,9	2,2
F – R.L	$0,5^{NS}$	7,8***	31,2***	$0,7^{NS}$	$0,2^{NS}$	22,2***
F – R.Q	$0,5^{NS}$	$1,3^{NS}$	$1,8^{NS}$	$0,2^{NS}$	3,6***	$0,3^{NS}$
CV (%)	14,2	9,6	14,5	8,4	12,2	7,0

NS, ***: não significativo, significativo a 1% de probabilidade respectivamente

As concentrações de K na F+1 diminuíram linearmente com o aumento das doses de N da fonte cloreto de amônio (Tabela 10 e Figura 6b), porém estavam acima do limite inferior da faixa de suficiência. Como houve aumento de produção da parte aérea (Tabela 7), pode ter ocorrido efeito diluição.

Tem-se ainda que quando o conteúdo de Cl^- no solo é alto, a absorção de nutrientes minerais, especialmente o NO_3^-, K^+ e Ca^{2+}, é reduzida (LARCHER, 2000). Os excessos de Cl no protoplasma ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico, além dos efeitos específicos desses íons sobre as enzimas e membranas celulares (FLORES, 1990). Redução na concentração de K, sob estresse salino, é um complicador adicional para o crescimento das plantas visto que, em algumas situações,

esse elemento é o principal nutriente a contribuir para o decréscimo do potencial osmótico, uma estratégia necessária à absorção de água nessas circunstâncias (JESCHKE et al., 1986; MARSCHNER, 1995).

Assim, é possível sugerir que a redução no crescimento das plantas cultivadas sob altas doses de N-CA pode ter sido reflexo, pelo menos em parte, da menor concentração de K em seus tecidos, visto que esse elemento é de extrema importância para o ajustamento osmótico da planta, além de ser necessário para a manutenção da capacidade fotossintética, por sua importância na síntese de proteínas e ativação enzimática (TAIZ; ZEIGER, 2004). Apesar de não diferirem entre si, as concentrações de Ca em todos os tratamentos estavam no limiar das faixas de suficiência.

Ocorreu efeito altamente significativo das doses de N ($p<0,01$) na concentração de Mg, representado pelo modelo quadrático de regressão (Tabela 10, Figura 6c). 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 tricarboxílicos), reações de síntese de compostos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico, como o aprofundamento e a expansão da raiz (MALAVOLTA, 2006). Dessa forma, a adubação nitrogenada, em geral, está associada à maior absorção do Mg pelas plantas, devido ao efeito sinérgico entre os dois nutrientes (N x Mg). Como as concentrações de Mg foliar seguiram um padrão quadrático com as doses de N-CA pode-se inferir, novamente, a respeito do efeito do íon Cl- no solo influenciando na absorção do Mg como mencionado para o NO_3^-, K^+ e Ca^{2+} por Larcher (2000).

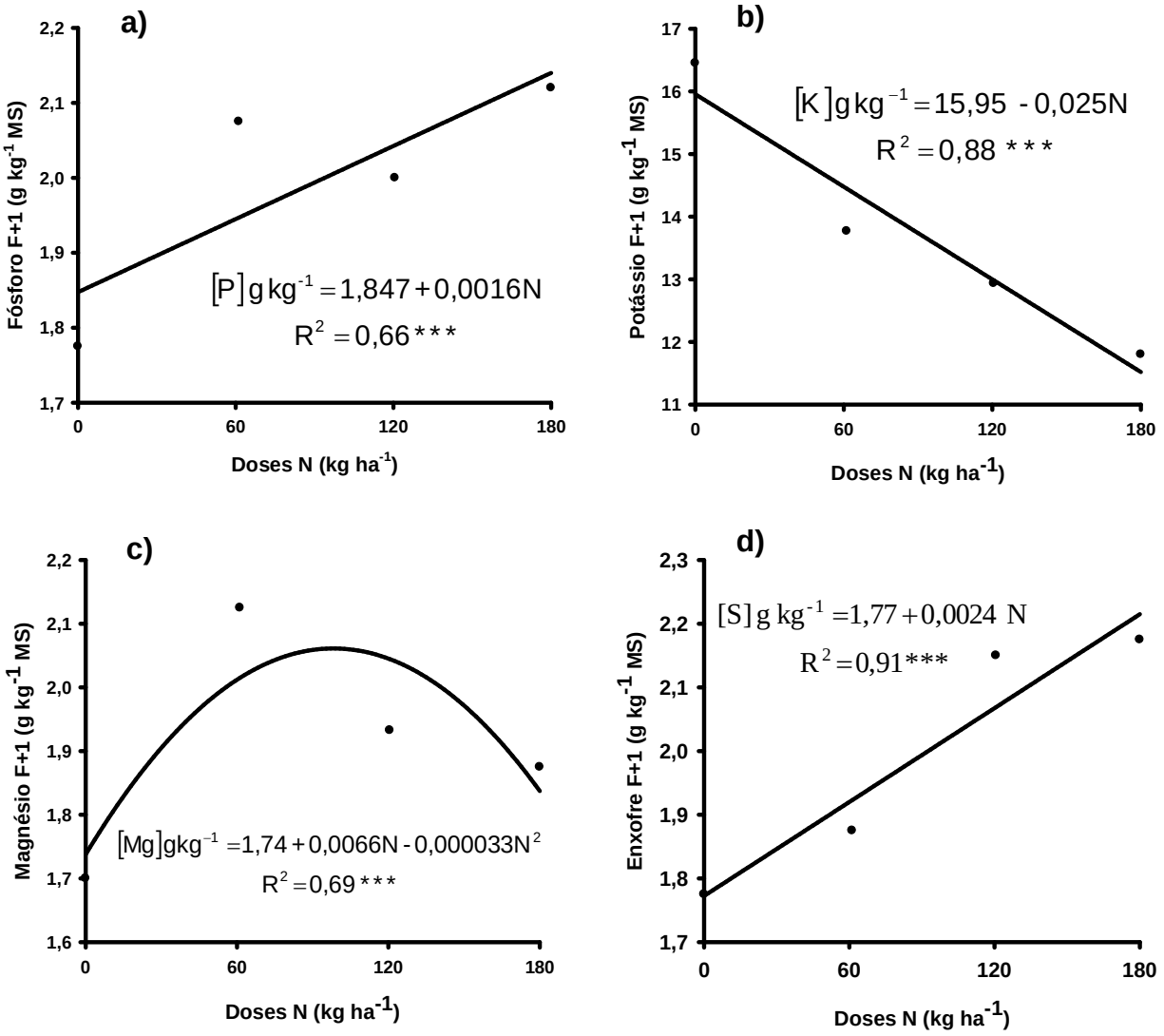

Figura 6 - Concentração de macronutrientes da diagnose foliar da soqueira de cana-de-açúcar 60 d.a.a. em função das doses de nitrogênio (amostragem de folha +1)

As concentrações de enxofre na folha +1 de cana-de-açúcar aumentaram linearmente com o incremento das doses de cloreto de amônio (Tabela 10 e Figura 6d). A interação do N com o S é importante e deve ser levada em conta em programas de adubação. De acordo com Cantarella (2007), muitas vezes a deficiência de S ocasiona reduzido aproveitamento do adubo nitrogenado. Boa parte do N nas plantas está na forma de proteínas. O S é constituinte de dois aminoácidos (cisteína e metionina). A deficiência desse nutriente acarreta na diminuição da produção desses aminoácidos e

as proteínas que os contêm não podem ser formadas. Assim, 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).

É importante ressaltar que a análise da folha-diagnóstico foi realizada para avaliar se as plantas estavam bem nutridas ou deficientes em algum elemento, não sendo possível fazer uma estimativa da extração e acúmulo de nutrientes pela cultura. Dessa forma a diluição ou concentração do nutriente na F+1 não deve ser entendida como menor ou maior absorção do elemento, e sim se este está sendo absorvido em quantidades adequadas e balanceadas com os demais.

4.1.3 Balanço climatológico no ciclo da cana soca (segunda rebrota)

Embora a temperatura e radiação solar tenham possibilitado elevada evapotranspiração potencial da cultura a partir do mês de outubro de 2006, o armazenamento de água no solo foi baixo nesse período e limitou a evapotranspiração real, que somente ocorreu em níveis elevados a partir do mês de novembro de 2006 (Figura 7). Desse período até o mês de março de 2007 a evapotranspiração real da cultura foi muito próxima da potencial, devido às condições favoráveis de temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica, possibilitando o máximo crescimento da planta, período esse chamado de estádio de máximo crescimento da cana-de-açúcar.

As precipitações pluviais totalizaram 1633 mm durante todo o ciclo da segunda rebrota de cana-de-açúcar, sendo as maiores pluviosidades concentradas no verão, cerca de 1360 mm, que é o período de máximo desenvolvimento da cana-de-açúcar. Segundo INMAN-BAMBER e SMITH (2005), para a cana-de-açúcar, uma precipitação pluvial anual a partir de 1000 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de altas produções. Isso implica em que o manejo hídrico seja realizado com suprimentos hídricos adequados durante o desenvolvimento vegetativo (principalmente nas fases de germinação, perfilhamento e elongação dos colmos) e alguma restrição no período de maturação, para forçar o repouso fisiológico e o enriquecimento em sacarose.

A colheita da cana soca de primeiro corte foi realizada em fins de outubro de 2006, mês em que houve déficit hídrico (Figura 7). As precipitações pluviais tiveram

início a partir do mês de novembro sendo suficientes para zerar esse déficit, gerando excedentes de água pelo balanço climatológico. O período de excedente hídrico iniciou com as chuvas de verão em novembro de 2006 e se estendeu até fevereiro de 2007, mês em que as precipitações diminuíram.

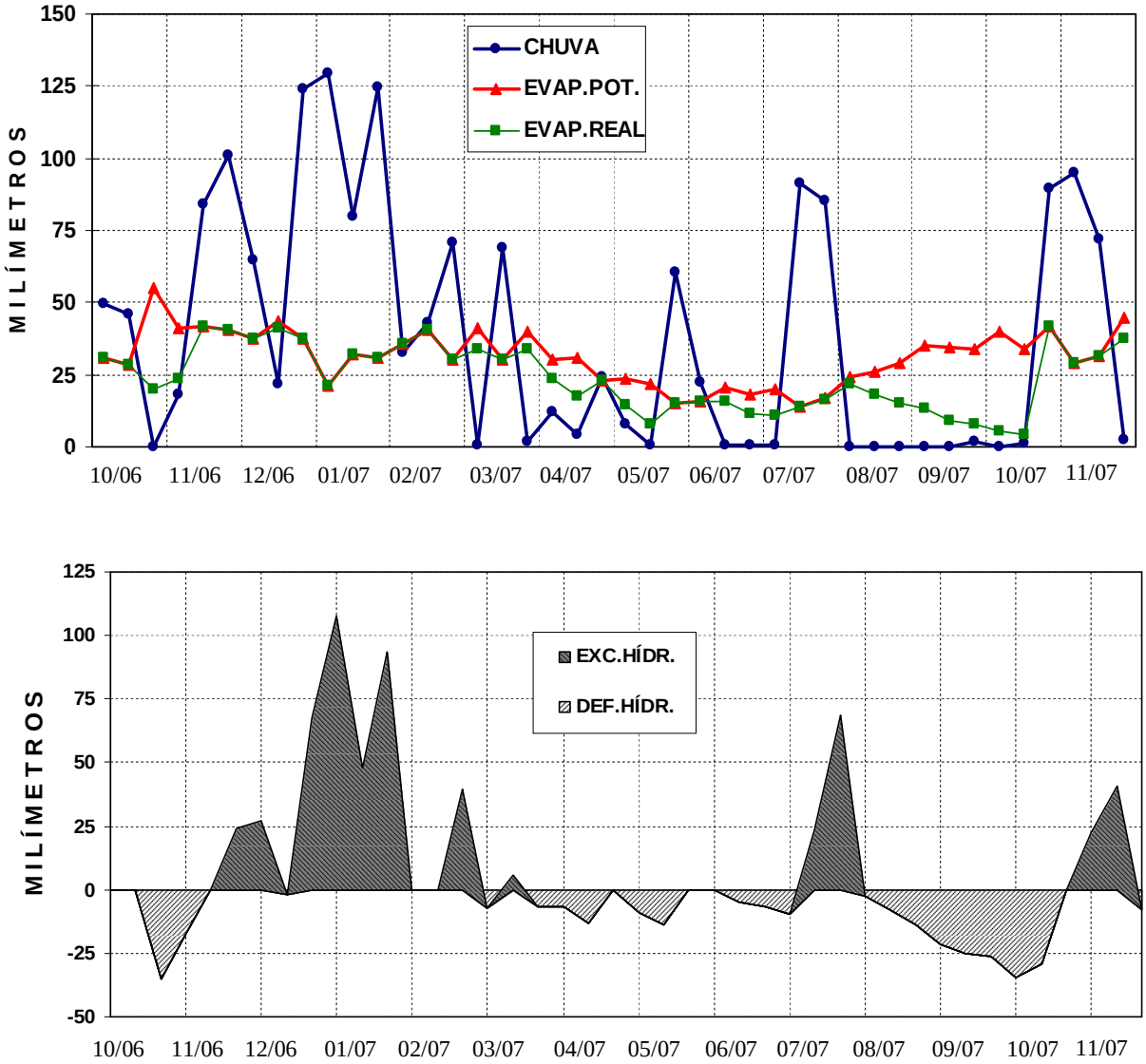

Figura 7 - Balanço hídrico climatológico da área experimental no ciclo agrícola de segunda rebrota de cana-de-açúcar (outubro de 2006 a novembro de 2007). EVAP. POT.: Evapotranspiração potencial da cultura; EVAP. REAL: Evapotranspiração real da cultura; EXC. HÍDR.: Excedente hídrico do solo; DEF. HÍDR.: Déficit hídrico do solo

De acordo com MOURA FILHO et al. (2007), a adubação com nitrogênio influência significativamente os rendimentos de colmo, açúcar e álcool em áreas que não há restrição hídrica. No entanto, maiores valores de ascensão capilar e de evapotranspiração apresentados por plantas de cana-de-açúcar adubadas com nitrogênio podem não se traduzir em maior produção de colmos que em plantas não adubadas com nitrogênio, que, por sua vez, tem um uso mais eficiente da água (BRITO, 2006).

A evapotranspiração real da cultura atingiu os maiores valores na fase de máximo crescimento, cerca de 3,2 mm dia^{-1}, ao passo que na fase final (maturação) atingiu aproximadamente 1,7 mm dia^{-1}. A evapotranspiração potencial máxima da cultura foi de 3,6 mm dia^{-1}. O déficit hídrico total foi de 302 mm, concentrando-se nas fases de crescimento inicial e de maturação, sendo pequeno na fase de máximo crescimento, não apresentando efeitos expressivos na diminuição da produtividade.

Em condições de déficit hídrico há redução do crescimento radicular nas camadas mais superficiais devido, principalmente, ao aumento da resistência mecânica do solo seco, enquanto as camadas mais profundas, com o aumento da manutenção da umidade por mais tempo, proporcionam menor resistência à penetração das raízes mais novas (VASCONCELOS, 2002), interferindo diretamente na produtividade da cultura.

Ramesh e Mahadevaswamy (2000) avaliaram o efeito da seca severa, moderada e condições hídricas ideais de cultivo sobre a mortalidade de perfilhos, características morfológicas, produtividade e qualidade de quatro cultivares de cana-de-açúcar. Os autores afirmaram que o déficit hídrico durante a fase vegetativa reduziu o número de colmos viáveis para colheita, causou diminuição na altura e do comprimento dos internódios, no número de internódios e no peso das plantas.

O conhecimento isolado da evapotranspiração potencial e real, assim como do déficit hídrico no ciclo da cana-de-açúcar pode não ser tão valioso como a avaliação desses parâmetros em determinados períodos de crescimento da cultura tendo em vista que ela apresenta estádios de desenvolvimento distintos. Em determinados estádios, como o de maturação, o déficit hídrico não apresenta influência tão marcante na produtividade, enquanto que em outros, como no estádio de máximo crescimento,

déficits hídricos acentuados podem afetar significativamente a produtividade da cultura (OTTO, 2007).

4.1.4 Produtividade de colmos e atributos tecnológicos na colheita da cana soca (segunda rebrota) relacionados com a adubação nitrogenada

A produtividade de colmos foi significativamente influenciada pelas fontes de N (Tabela 11). Com exceção da fonte nitrato de amônio todos os tratamentos diferiram da testemunha, não diferindo, porém, entre si.

Embora a produtividade do tratamento sulfato de amônio não tenha diferido significativamente do tratamento NA, a fonte nitrogenada SA produziu aproximadamente 9 t ha^{-1} a mais de colmos (Tabela 11), valor este que deve ser levado em consideração quando computado seu custo-benefício. Além disso, o íon sulfato, pode se ligar a outros cátions formando $CaSO_4$, $MgSO_4$ etc. disponibilizando esses elementos em profundidade, importante para cana soca, em virtude da não realização da calagem e/ou gessagem.

Tabela 11 - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e rendimento em sacarose na colheita final em novembro de 2007, relacionadas a fontes de nitrogênio

		Fontes de N		
TEST	**CA 120**	**NA 120**	**SA 120**	**U 120**
		Produtividade de colmos (t ha^{-1})		
89,6 b	101,5 a	97,4 ab	106,1 a	105,0 a
	Valor F = 3,6**	**CV (%)** = 7,1		
		TPH (t ha^{-1})		
15,7 b	17,8 a	17,3 ab	18,4 a	17,5 ab
	Valor F = 2,4*	**CV (%)** = 8,6		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. *, ** signifivativos a 10 e 5 % de probabilidade respectivamente

O tratamento uréia apresentou a mesma eficiência quando comparada as demais fontes de nitrogênio, diferindo significativamente da testemunha (Tabela 11). O uso do KCl aplicado conjuntamente com a uréia, pode reduzir as perdas de amônia da uréia por volatilização como mostrado na literatura por Christianson et al. (1995); Fenn et al. (1990). Neste experimento foram aplicados 180 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio em todos os tratamentos. O KCl, quando aplicado em conjunto com a uréia ou fertilizante amoniacal, promove a redução das perdas de amônia por volatilização, possivelmente, pela formação paralela de NH_4Cl (RAPPAPORT e AXLEY, 1984; GAMEH et al., 1990; CHRISTIANSON et al., 1995).

Outro fator que deve ser considerado são os dados de pluviosidade da área, tendo em vista que a ocorrência de chuvas após a aplicação de N-uréia auxiliou na incorporação dessa fonte diminuindo as perdas de N por volatilização. Além de possível reabsorção pela folhagem das plantas de N-NH_3 volatilizado da uréia, tendo em vista que a adubação foi realizada quando as plantas já haviam brotado e estavam com cerca de 50cm aproximadamente.

No Brasil, Coelho et al. (2006) obtiveram maior eficiência agronômica na cultura de milho para o cloreto de amônio quando comparado à uréia. A maior eficiência do NH_4Cl foi interpretada pelos autores como devido à ausência de volatilização de NH_3 desta fonte , a qual pode ter ocorrido com os outros fertilizantes amídicos/amoniacais. Em contrapartida, Barati et al. (2006), estudando o efeito de fontes de nitrogênio: uréia revestida de enxofre, cloreto de amônio e uréia na produtividade do arroz, concluíram que o tratamento cloreto de amônio, resultou em menor produção de grãos quando comparado às demais fontes.

O rendimento de sacarose foi influenciado pelas fontes de nitrogênio, apenas em função da diferença de produtividade de colmos (Tabela 11), já que não foi observada diferença significativa em relação aos atributos tecnológicos (Tabela 12). A adubação nitrogenada é comumente associada com maior produtividade, porém com prejuízos no acúmulo de sacarose (KORNDÖRFER; MARTINS, 1992; MALAVOLTA; MORAES, 2007). Para cada aumento porcentual na produtividade pode ocorrer uma diminuição de 0,01% no teor de açúcar (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

Tabela 12 - Parâmetros tecnológicos: ºBrix, Pol, pureza, fibra, ATR e AR, em função das fontes de N

	Parâmetros Tecnológicos					
Fontes N	**º Brix**	**Pol %**	**Pureza (%)**	**Fibra (%)**	**ATR (kg t^{-1})**	**AR (%)**
CA 120	23,2	17,6	86,9	10,5	173,9	0,7
NA 120	23,4	17,8	87,1	10,3	175,9	0,7
SA 120	22,9	17,3	86,4	10,2	172,0	0,8
U 120	22,4	16,7	85,1	10,1	166,9	0,9
TEST	23,1	17,6	86,8	10,2	173,9	0,7
CV (%)	4,6	4,5	1,3	6,4	3,9	14,
Valor F	$0,6^{NS}$	$1,2^{NS}$	$1,8^{NS}$	$0,2^{NS}$	$1,0^{NS}$	$1,7^{NS}$

NS: não significativo

Na região Centro-Sul, em função das condições para maturação, a cana-de-açúcar atinge índices mais elevados de Pol (%) cana nos meses de agosto e setembro, valendo a pena lembrar, que as variedades precoces, via de regra, mostram maior riqueza em sacarose no início do período de moagem (abril), como é o caso da variedade utilizada neste experimento (SP 89 1115). Para as variedades colhidas nos meses de setembro a novembro um teor de sacarose de 17% é considerado ótimo (Tabela 12).

Com relação às doses de nitrogênio para a fonte cloreto de amônio, pode-se verificar que a produtividade de colmos (TCH) na colheita final, foi significativamente influenciada pelo incremento de N, respondendo linearmente (Tabela 13 e Figura 8a). Da mesma forma, Vitti et al. (2007) verificaram efeito linear altamente significativo entre as doses de N com nitrato de amônio e a produtividade de colmos de uma segunda soca. É importante ressaltar que o conceito de eficiência ou de uso eficiente de N pode variar de acordo com a perspectiva de produção, porém, não se deve priorizar alta eficiência em detrimento da produtividade. Sabe-se, pela lei dos rendimentos decrescentes, que com o aumento da dose de N os aumentos na produtividade são menores e, portanto, menores as eficiências obtidas.

Tabela 13 - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e rendimento em sacarose na colheita final em novembro de 2007 em função das doses de nitrogênio de cloreto de amônio

Doses de N (kg ha^{-1})			
0	**60**	**120**	**180**
TCH (t ha^{-1})			
89,6	94,3	101,5	103,5
Valor F = 9,4***		**CV (%)** = 7,3	
TPH (t ha^{-1})			
15,7	16,1	17,8	18,0
Valor F = 6,19**		**CV (%)** = 9,19	

NS: não significativo; ***, ** signifivativos a 1 e 5 % de probabilidade respectivamente

A adubação nitrogenada de cana soca resultou em maior produção de açúcar por hectare (Tabela 13 e Figura 8b). A adição de N pode incrementar a produção de açúcar por área, ou seja, o teor de açúcar no colmo pode até diminuir com a adubação nitrogenada, porém a quantidade total de açúcares produzidos por hectare é maior como decorrência da maior produtividade em TCH (KORNDÖRFER et al., 1997, 2002; PAES et al., 1997; TRIVELIN et al., 2002; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; FRANCO, 2008a).

Levando-se em consideração que para uma produtividade esperada de colmos em torno de 100 t ha^{-1} a dose de N recomendada para a cana soca é de 100 kg ha^{-1} (RAIJ et al., 1996), pode-se concluir que o CA na dose de 60 kg ha^{-1} de N não foi suficiente para se obter produtividade satisfatória (Tabela 13), provavelmente em função do menor desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar.

Não houve efeito das doses de N na cana soca em nenhum dos parâmetros tecnológicos avaliados (Tabela 14). Orlando Filho e Zambello Junior (1980), Azeredo et al. (1986), Espironelo et al. (1987), Korndörfer et al. (1997), Orlando Filho et al. (1999), Trivelin et al. (2002), Korndörfer et al. (2002), Bologna-Campbell (2007) e Franco (2008a) encontraram condições semelhantes de resposta a adubações nitrogenadas.

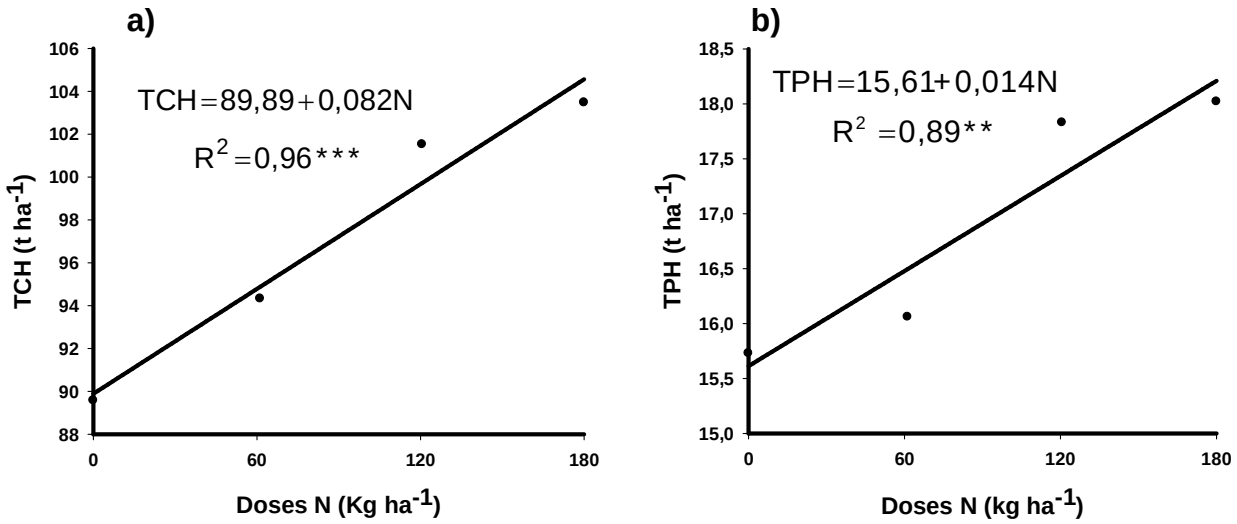

Figura 8 - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e rendimento em Sacarose em função das doses de nitrogênio na forma de Cloreto de Amônio

Tabela 14 - Parâmetros tecnológicos: ºBrix, Pol, pureza cana, fibra cana, ATR e AR, em função das doses de N do cloreto de amônio

	Parâmetros Tecnológicos					
Doses N	**º Brix**	**Pol %**	**Pureza (%)**	**Fibra (%)**	**ATR (kg t^{-1})**	**AR (%)**
0	23,1	17,6	86,8	10,2	173,9	0,7
60	22,7	16,9	85,9	10,4	169,1	0,8
120	23,2	17,6	86,9	10,5	173,9	0,7
180	23,3	17,4	86,4	10,8	172,9	0,8
F – R.L	$0,2^{NS}$	$0,01^{NS}$	$0,01^{NS}$	$1,7^{NS}$	$0,02^{NS}$	$0,01^{NS}$
F – R.Q	$0,3^{NS}$	$0,3^{NS}$	$0,1^{NS}$	$0,1^{NS}$	$0,3^{NS}$	$0,1^{NS}$
CV (%)	4,4	4,4	1,3	6,6	3,9	13,9

NS- não significativo

A Tabela 15 apresenta os dados de produtividade de colmos e rendimento de sacarose por hectare da cana soca de segunda rebrota para o experimento completo, a fim de avaliar a eficiência da fonte alternativa cloreto de amônio nas doses de 60, 120 e 180 kg ha^{-1} em comparação com as fontes de N comumente utilizadas em cana soca (uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio na dose de 120 kg ha^{-1}).

A produtividade final de colmos (t ha^{-1}) para os tratamentos sulfato de amônio e uréia foi significativamente superior aos tratamentos CA60 e testemunha, indicando, como já mencionado anteriormente, que o N tem papel fundamental na produtividade de soqueiras (Tabela 15). Nesse contexto, o sulfato de amônio apresenta algumas vantagens em relação à uréia e a outras fontes nitrogenadas, pois apresenta reduzidas perdas por volatilização de NH_3, além de ser uma fonte que contém enxofre (24% S). O S do sulfato de amônio melhora a absorção e o aproveitamento do N e de outros nutrientes pelas culturas devido à sinergia positiva entre eles.

Avaliando a produtividade e as perdas de NH_3 por volatilização, em soqueira colhida mecanicamente sem queima, com fontes nitrogenadas aplicadas em superfície, Vitti et al. (2007) constataram que as fontes nitrogenadas com N-amídico: uréia e uran, foram as que apresentaram as maiores perdas de NH_3 por volatilização, principalmente quando aplicadas em faixa, sendo que perdas de N por volatilização causaram redução na produtividade da cana-de-açúcar. Verificaram também, que a utilização do N (^{15}N) do sulfato de amônio pela cana-de-açúcar foi o dobro ao da uréia.

Segundo Oliveira et al. (1997) quando a uréia é alocada superficialmente em solos cobertos por palha, as perdas por volatilização são elevadas atingindo níveis entre 50% a 94%. No entanto, apesar de os fertilizantes terem sido aplicados sobre a palha, após a adubação ocorreu precipitação pluvial da ordem de 211 mm durante os 30 dias após a adubação, contribuindo para que as perdas de N por volatilização do tratamento uréia, não fossem tão acentuadas, e a produtividade do tratamento não diferisse dos demais tratamentos, já que a água pode arrastar o N-fertilizante em profundidade no solo, reduzindo as perdas por volatilização e aumentando a eficiência agronômica do fertilizante.

A adubação nitrogenada com sulfato de amônio para o experimento completo além de aumentar a produção de colmos (TCH) (Tabela 15) proporcionou incrementos na produção de açúcar por hectare (TPH) em relação à testemunha, sendo este efeito devido ao aumento na produção de colmos, haja vista que nenhum parâmetro tecnológico analisado na colheita da cultura foi influenciado pelos tratamentos com aplicação de nitrogênio. Portanto, esses resultados demonstram que a substituição da uréia assim como de outras fontes de nitrogênio por cloreto de amônio, em cana soca

de segundo corte, não interferiu na qualidade e valorização da matéria-prima para a agroindústria.

Tabela 15 - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar e rendimento em sacarose em função dos tratamentos (experimento completo) na colheita final em novembro de 2007

TEST	CA 60	CA 120	CA 180	NA 120	SA 120	U 120
Produtividade de colmos (t ha^{-1})						
89,6 c	94,3 bc	101,5 ab	103,5 ab	97,4 ab	106,11 a	105,0 a
Valor F = 2,4*				**CV (%)** = 7,6		
TPH (t ha^{-1})						
15,5 b	16,3 b	17,6 ab	17,9 ab	16,9 ab	18,3 a	18,2 ab
Valor F = 1,4*				**CV (%)** = 9,7		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}.
* significativo a 10% de probabilidade

Em contrapartida, Prado e Pancelli (2006), avaliando os efeitos da nutrição nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar, em sistema de colheita mecanizada, sobre a qualidade tecnológica de soqueiras de cana-de-açúcar verificaram que a adubação nitrogenada não afetou a qualidade da cana-de-açúcar do primeiro corte, entretanto, no segundo corte aumentou a Pol (%) da cana e o Rendimento de Açúcar Total Recuperável (ATR) da cana-de-açúcar.

As margens de contribuição agrícola foram positivas para todos os tratamentos, inclusive para a testemunha, não diferindo entre si pelo teste de Duncan a 10% de probabilidade (Tabela 16). Observa-se que as margens de contribuição agrícola nos tratamentos com CA, independente da dose aplicada, são inferiores à da testemunha. Apesar de os tratamentos com CA terem estimulado a produtividade da segunda rebrota de cana-de-açúcar, o ganho em TCH não foi suficiente para cobrir o custo da adubação nitrogenada. Esses resultados, muito provavelmente são devidos ao custo de CCT, já que a adubação nitrogenada na dose de 180 kg ha^{-1} N aumentou a TCH gerando, com isso, maior custo com o CCT ha^{-1}.

Tabela 16 - Rendimento financeiro (MCA) em função da adubação nitrogenada no ciclo da segunda rebrota de cana-de-açúcar

Trat	TCH	ATR	Açúcar	Receita Bruta	Custo CCT	Custo adubo	Custo total	MCA#
	t ha^{-1}	kg t^{-1}	kg ha^{-1}	R$ ha^{-1}				
TEST	89,6	173,9	15.581,4	4.278,6	1.415,7	0,0	1.415,7	2.862,9
CA60	94,3	169,1	15.946,1	4.378,8	1.489,9	225,0	1.714,0	2.664,8
CA120	101,5	173,9	17.650,8	4.846,9	1.603,7	450,0	2.053,7	2.793,2
CA180	103,5	172,9	17.895,1	4.913,9	1.635,3	675,0	2.310,3	2.603,6
NA120	97,4	175,9	17.132,7	4.704,6	1.538,9	247,2	1.786,1	2.918,5
SA120	106,1	172,0	18.249,2	5.011,2	1.676,4	399,6	2.076,0	2.935,2
U120	105,0	166,9	17.524,5	4.812,2	1.659,0	260,4	1.919,4	2.892,8
Valor F# = 0,73^{NS}				**CV(%)** = 11,8		**DMS** = 682,5		

NS: Não significativo. TCH: toneladas de colmos industrializáveis por hectare; ATR: açúcar total recuperável por tonelada de colmos; Açúcar = TCH x ATR; Receita Bruta = Açúcar x 0,2746 (preço médio do ATR março 2009); CCT: custo do corte, carregamento e transporte (CCT = R$15,80 t^{-1}) (preço médio da Usina Iracema); Custo CCT = CCT(R$) x TCH; Custo dos fertilizantes em março de 2009: uréia = R$1000 t^{-1} ou R$2,17 kg^{-1} de N; sulfato de amônio = R$700,0 t^{-1} ou R$3,33 kg^{-1} de N; nitrato de amônio = R$700,0 t^{-1} ou R$2,06 kg^{-1} de N; cloreto de amônio = R$ 937,5 t^{-1} ou R$ 3,75 kg^{-1} de N. Custo Total = CCT + adubo. MCA: Margem de contribuição agrícola; MCA = Receita bruta - Custo total

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a utilização da fonte nitrogenada cloreto de amônio em adubação de soqueira de cana-de-açúcar é agronomicamente eficiente em relação às fontes de N tradicionalmente utilizadas pelo setor canavieiro como: sulfato de amônio, nitrato de amônio e uréia, e pode vir a ser empregada, caso seja produzida comercialmente como fertilizante em grande escala, com preço por unidade de N compatível com outros fertilizantes nitrogenados, podendo vir a substituir outras fontes de N, principalmente quando os riscos de perdas de N por volatilização forem altos (“Cana-crua”). Para tanto devem ser avaliadas as relações custo-benefício dos fertilizantes nitrogenados e seus benefícios, não somente em um ciclo agrícola, mas também seu efeito residual nos ciclos subseqüentes, que promovam aumento da longevidade do canavial.

4.2 Efeito do N-residual no ciclo da cana soca de terceira rebrota

4.2.1 Concentrações de macronutrientes na folha-diagnóstico e características químicas do solo

As concentrações foliares de macronutrientes foram comparadas aos valores sugeridos como adequados por Raij e Cantarella (1997) e os teores de nutrientes no solo comparados aos sugeridos por Raij et al. (1997). Em relação às fontes de nitrogênio não houve efeito do N-residual nas concentrações de macronutrientes (Tabela 17). Os coeficientes de variação para este teste, em geral, foram baixos e também não houve diferença entre os blocos, o que atribui confiabilidade à análise.

De maneira geral, as concentrações de nutrientes obtidas nas análises químicas das folhas-diagnóstico estão na faixa de suficiência sugerida para a cultura de cana-de-açúcar cultivada no Estado de São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1997). A exceção ficou por conta das concentrações de enxofre que estavam pouco abaixo do limite inferior de suficiência (Tabela 17). Contudo, os valores de S não foram devidos à disponibilidade do nutriente no solo, pois os teores de S (Tabela 18) variaram de médio a alto (RAIJ et al., 1997). Portanto, esses resultados são devidos, provavelmente, ao efeito de diluição, proporcionado pelo crescimento da cultura (JARRELL; BEVERLY, 1981), ocorrido na época de colheita das folhas-diagnóstico.

O N-residual influenciou as concentrações de N na folha F+1 (Tabela 17), sendo o tratamento SA120 o que apresentou menor concentração, diferindo significativamente dos demais, como este tratamento foi o que proporcionou maior produtividade (Tabela 23), pode ter ocorrido efeito de diluição. Diversos trabalhos encontrados na literatura mostram a importância do N para a cana-de-açúcar, principalmente para as soqueiras. Fundamentalmente, sua deficiência reduz a síntese de clorofila, de aminoácidos e da energia que utiliza para produzir carboidratos e esqueletos carbônicos (MALAVOLTA et al., 1997).

Tabela 17 - Concentração de macronutrientes da diagnose foliar da soqueira de cana-de-açúcar (terceira rebrota) aos 60 d.a.a. em relação ao efeito residual das fontes de N (amostragem de folha +1)

	Concentrações adequadas para o estado de São Paulo#					
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
Faixa de suficiência	g kg^{-1}					
	18,0 – 25,0	1,5 – 3,0	10,0 – 16,0	2,0 – 8,0	1,0 – 3,0	1,5 – 3,0
	Concentração Foliar					
Tratamentos	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
TEST	22,0 a	2,4 b	15,3 a	6,5 a	2,2 a	1,3 a
CA 120	22,6 a	2,5 a	15,2 a	6,0 a	2,3 a	1,3 a
U 120	22,0 a	2,6 a	17,1 a	5,9 a	2,1 a	1,3 a
NA 120	22,0 a	2,6 a	16,1 a	5,7 a	2,2 a	1,4 a
SA 120	20,8 b	2,5 ab	15,3 a	5,5 a	2,2 a	1,4 a
CV (%)	4,2	4,4	11,8	21,0	13,8	11,6
Valor F	$2,2^{**}$	$1,9^{NS}$	$0,8^{NS}$	$0,4^{NS}$	$0, 2^{NS}$	$0,6^{NS}$

Teores adequados para o Estado de São Paulo, segundo Raij et al. (1997)
Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. **, NS: significativo a 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente

Com exceção ao teor de cálcio (profundidade de 25 - 50 cm), nenhum dos resultados de caracterização química do solo, após a colheita da cana soca (segunda rebrota), mostraram diferença significativa em relação ao N-residual para fontes de N (Tabela 18). Esse fato mostra que a resposta aos tratamentos de cana soca em relação às fontes de N, se ocorrer, não terá influência de diferenças na fertilidade do solo, ao menos em relação aos atributos avaliados.

No entanto, não houve efeito significativo do N-residual das fontes nitrogenadas nas concentrações foliares de Ca (Tabela 17), o que mostra a suficiência do nutriente encontrado no solo, ao qual não foi limitante às respostas de produtividade da cana soca. O cálcio é um nutriente estrutural que se liga a polissacarídeos na parede celular, é ativador e regulador enzimático e serve como contra-íon na absorção de outros íons (EPSTEIN; BLOOM, 2006). A resposta da cana-de-açúcar ao nitrogênio é extremamente dependente da disponibilidade de Ca. Quando as células crescem, estimuladas pelo N, aumenta a superfície de contato entre elas, aumentando também a necessidade do suprimento de Ca (MALAVOLTA et al., 1997).

Tabela 18 - Características químicas do solo LVE em função das fontes de nitrogênio (dose de 120 kg ha^{-1} de N), na profundidade de 0 – 25 e 25 – 50 cm, após a colheita da segunda rebrota de cana-de-açúcar em novembro de 2007

	M.O	pH	S-SO_4	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
TRAT	**g dm^{-3}**	**$CaCl_2$**	**mg dm^{-3}**		**$mmol_c$ dm^{-3}**						**%**
					0 – 25 cm de profundidade						
TEST	33,8	4,5	32,0	17,8	2,0	24,5	11,0	57,5	37,5	95,0	39,3
CA	35,0	4,5	25,3	19,5	2,1	23,8	9,0	65,0	34,8	99,8	34,5
NA	33,8	4,5	37,3	25,3	2,1	21,3	8,8	60,5	32,1	92,6	35,0
SA	34,0	4,4	60,5	17,3	1,8	19,8	8,3	71,5	29,8	101,3	30,3
U	33,3	4,6	20,8	15,8	1,7	27,0	9,8	59,5	38,4	97,9	39,8
Valor F	$0,35^{NS}$	$0,28^{NS}$	$1,72^{NS}$	$1,35^{NS}$	$0,45^{NS}$	$0,44^{NS}$	$0,41^{NS}$	$0,62^{NS}$	$0,38^{NS}$	$0,89^{NS}$	$0,42^{NS}$
					25 – 50 cm de profundidade						
TEST	26,0	4,7	40,0	10,2	1,0	21,0 b	7,3	43,8	29,3	73,0	40,0
CA	25,3	4,9	37,3	21,3	0,8	28,5 ab	9,5	38,3	38,8	77,0	49,8
NA	23,3	4,9	20,0	11,8	0,8	23,0 b	7,8	42,0	31,5	73,5	43,3
SA	23,3	5,2	52,3	11,3	0,6	28,5 ab	9,3	33,3	38,4	71,6	53,8
U	25,5	5,1	68,3	21,5	0,7	32,8 a	9,0	36,8	42,5	81,7	52,3
Valor F	$0,84^{NS}$	$1,99^{NS}$	$1,49^{NS}$	$1,22^{NS}$	$1,13^{NS}$	2,54*	$0,80^{NS}$	$1,25^{NS}$	$2,27^{NS}$	$1,19^{NS}$	$2,11^{NS}$

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. NS: não significativo; * significativo a 10% de probabilidade.

O N-residual de doses de N-CA aplicadas na cana soca de segunda rebrota, não alterou as concentrações foliares de macronutrientes da terceira rebrota de cana-de-açúcar (Tabela 19). Em geral, quando se eleva o teor de N na planta, a cana-de-açúcar produz mais fitomassa e esse aumento do nutriente nas folhas está relacionado ao aumento do seu conteúdo no solo ou no fornecimento de N pela adubação (CLEMENTS et al., 1941; BOLTON; BROWN, 1980).

O conteúdo total de N e Ca na folha diagnóstico não foram afetados pelas doses de N-CA (Tabela 19), estando as concentrações dentro da faixa considerada adequada para cana-de-açúcar. Com exceção da concentração de enxofre, no qual apresentou valor pouco abaixo do limite inferior adequado para o Estado de São Paulo, os demais nutrientes apresentaram concentrações adequadas e acima da média. A possível variação na disponibilidade de nitrogênio no solo, com as doses de N-CA aplicados em 2006 não teve efeito direto no estado nutricional das plantas da terceira rebrota (Tabela 19).

Tabela 19 - Concentração de macronutrientes da diagnose foliar da soqueira de cana-de-açúcar (terceira rebrota) aos 60 d.a.a. em relação ao efeito residual das doses de N

	Teores adequados para o estado de São Paulo #					
	N	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	g kg^{-1}					
Faixa de suficiência	18,0 – 25,0	1,5 – 3,0	10,0 – 16,0	2,0 – 8,0	1,0 – 3,0	1,5 – 3,0
0	22,0	2,4	15,3	6,5	2,2	1,3
60	20,5	2,5	16,8	5,3	2,2	1,4
120	22,6	2,5	15,2	6,0	2,3	1,3
180	21,8	2,5	15,4	6,6	2,2	1,3
F – R.L	0,3^{NS}	1,6^{NS}	0,2^{NS}	0,7^{NS}	0,01^{NS}	0,01^{NS}
F – R.Q	0,4^{NS}	2,0^{NS}	1,0^{NS}	2,4^{NS}	0,05^{NS}	0,2^{NS}
CV (%)	3,5	4,5	8,7	19,4	11,4	14,2

NS: não significativo

Dentre os fatores que proporcionam melhora na qualidade do solo destaca-se a matéria orgânica (M.O) que desempenha múltiplas funções, especialmente sob condições de clima tropical e subtropical, onde a fração mineral encontra-se em avançado estádio de intemperismo. Aumentar o conteúdo de MO, nestas condições, significaria elevar a CTC nas camadas superficiais do solo e, conseqüentemente, aumentar a retenção de cátions, incrementar a atividade biológica e promover fornecimento de nutrientes às plantas.

Os maiores conteúdos de M.O foram encontrados na camada superficial do solo (0-25 cm), indicando que os sistemas de manejo conservacionistas do solo, como é o caso da cana colhida sem a queima da palhada, podem contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, da fertilidade do solo. O N-residual das doses de CA parece ter influenciado no conteúdo de M.O no solo na camada de 0-25 cm, sendo este efeito representado pelo modelo quadrático de regressão, onde a partir da dose de 80 kg ha^{-1} de N seu conteúdo foi reduzido (Tabela 20 e Figura 9a). Estes resultados, embora com amparo da estatística, devem ser interpretados com cuidado uma vez que o tempo decorrido entre a aplicação dos tratamentos e a amostragem do solo foi inferior a um ano o que, em princípio, não seria um tempo plausível para que se obtivesse alterações no conteúdo de MOS. Uma possível explicação poderia ser devido ao desenvolvimento diferencial do sistema radicular da cana soca nessa camada do solo, com as doses de N-CA, influenciada por possível efeito tóxico de concentração de Cl- no meio. De qualquer forma essa é uma evidência que merece ser melhor avaliada em futuros estudos.

O efeito residual das doses de nitrogênio na CTC do solo na camada de 0 – 25 cm de profundidade mostrou tendência semelhante ao conteúdo de M.O, sendo representado por modelo quadrático de regressão, diminuindo a partir da dose de 80 kg ha^{-1} (Tabela 20 e Figura 9c). Segundo Brady (1989), a capacidade de troca catiônica (CTC) é uma medida da distribuição das cargas elétricas disponíveis na superfície das partículas do solo para a retenção de água e cátions dispersos na solução do solo. Os valores de CTC de um solo dependem da classe textural, do tipo de mineral de argila presente e do conteúdo de matéria orgânica. Estes resultados como os de MOS, discutidos anteriormente, reafirmam a necessidade de serem melhor avaliados em futuros estudos.

Tabela 20 - Características químicas do solo LVE em das doses de nitrogênio da fonte cloreto de amônio, na profundidade de 0 –25 e 25 – 50 cm, após a colheita da segunda rebrota de cana-de-açúcar em novembro de 2007

Doses	M.O	pH	S-SO_4	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
N	g dm^{-3}	$CaCl_2$	mg dm^{-3}		mmol$_c$ dm^{-3}						%
0 – 25 cm de profundidade											
0	33,7	4,5	32,0	17,7	1,9	24,5	11,0	57,5	37,5	94,9	39,2
60	36,2	4,5	23,2	21,2	2,2	23,5	9,7	65,5	35,4	100,9	35,0
120	35,0	4,5	25,3	19,5	2,1	23,8	9,0	65,0	34,8	99,8	34,5
180	32,5	4,3	27,2	21,2	1,9	17,7	6,2	69,0	25,9	94,9	28,0
F – R.L	0,6^{NS}	1,2^{NS}	0,2^{NS}	0,4^{NS}	0,02^{NS}	1,2^{NS}	5,0**	1,6^{NS}	2,1^{NS}	0,01^{NS}	2,3^{NS}
F – R.Q	3,9*	0,1^{NS}	0,7^{NS}	0,1^{NS}	0,2^{NS}	0,3^{NS}	0,2^{NS}	0,1^{NS}	0,4^{NS}	3,88*	0,05^{NS}
25 – 50 cm de profundidade											
0	26,0	4,7	40,0	10,2	1,0	21,0	7,2	43,7	29,3	73,02	40,0
60	24,7	4,9	35,2	21,2	1,0	27,7	10,5	41,0	39,2	80,25	48,5
120	25,3	4,9	37,3	21,3	0,8	28,5	9,5	38,3	38,8	77,0	49,8
180	23,5	5,1	44,2	10,2	0,6	23,0	6,5	41,0	30,1	71,07	41,5
F – R.L	2,1^{NS}	12,8***	0,2^{NS}	0,01^{NS}	5,8**	0,1^{NS}	0,2^{NS}	0,5^{NS}	0,01^{NS}	0,2^{NS}	0,05^{NS}
F – R.Q	0,05^{NS}	0,9^{NS}	0,6^{NS}	5,5**	0,2^{NS}	2,0^{NS}	6,3**	0,6^{NS}	3,1^{NS}	2,2^{NS}	2,4^{NS}

NS: não significativo; *, ** e *** significativos a 10%, 5% e 1% de probabilidade respectivamente

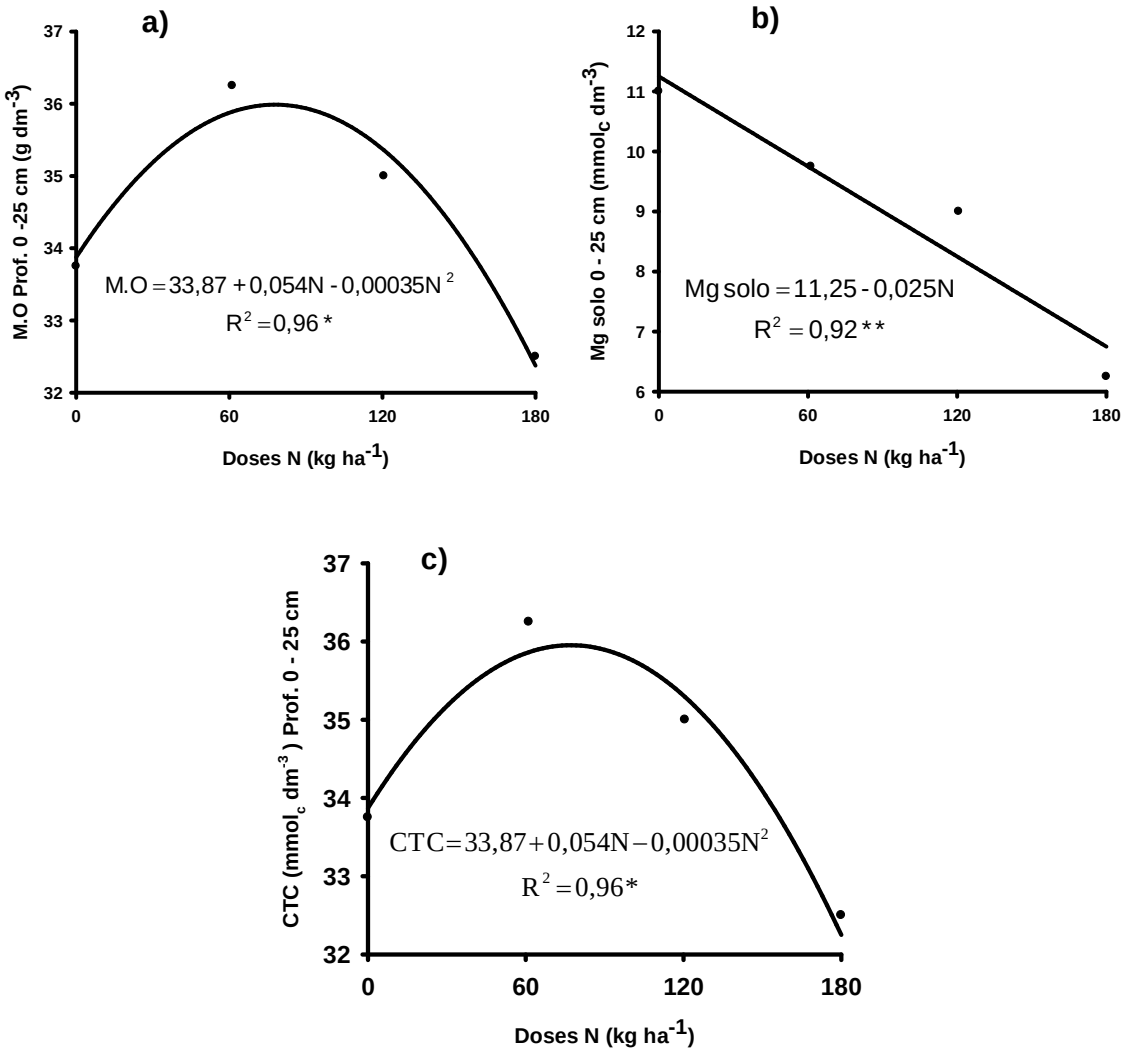

Figura 9 **-** Teores de M.O, magnésio e CTC do solo, em função das doses de nitrogênio (fonte CA), na profundidade de 0 – 25 cm, após a colheita da cana soca (segunda rebrota) em novembro de 2007. * e ** significativos a 10% e 5% de probabilidade respectivamente

Um aspecto importante é que, em um solo argiloso, com alta capacidade tampão, isto é, maior resistência à alteração do pH, foi possível, já no primeiro ano, verificar pequenas mas significativas diferenças nos valores de pH (camada de 25 – 50 cm) devido ao efeito das doses de N-CA (Figura 10d). O aumento das doses de N-CA aplicado no ciclo anterior resultou em aumento do pH do solo, diferentemente dos resultados encontrados por Coelho et al. (2006), que observaram redução no pH do solo em função da aplicação de NH_4Cl.

Os teores de magnésio na camada de 0 – 25 cm (Tabela 20 e Figura 9b) e potássio na camada de 25 – 50 cm (Tabela 20 e Figura 10b) sofreram reduções lineares em função do N-residual da fonte cloreto de amônio. É importante ressaltar o antagonismo que exerce o amônio (NH_4^+) sobre magnésio e potássio. O uso massivo e desbalanceado de fertilizantes amoniacais ou uréia pode afetar seriamente a nutrição magnesiana e/ou potássica. Ainda, no caso do cloreto de amônio o excesso de cloreto pode provocar desequilíbrio iônico, que prejudica a seletividade da membrana das raízes, afetando a seletividade de outros nutrientes (ALVES, 2000).

Os teores de fósforo na camada de 25 – 50 cm do solo foram afetados significativamente pelas doses de N-residual do cloreto de amônio (Tabela 20 e Figura 10a), mostrando a relação positiva da adubação nitrogenada no teor de P do solo, levando em consideração que este passou em média de 11 mg dm^{-3} para 21 mg dm^{-3}, antes da instalação do experimento (outubro 2006) e após a colheita em novembro de 2007, sendo este efeito representado pelo modelo quadrático de regressão.

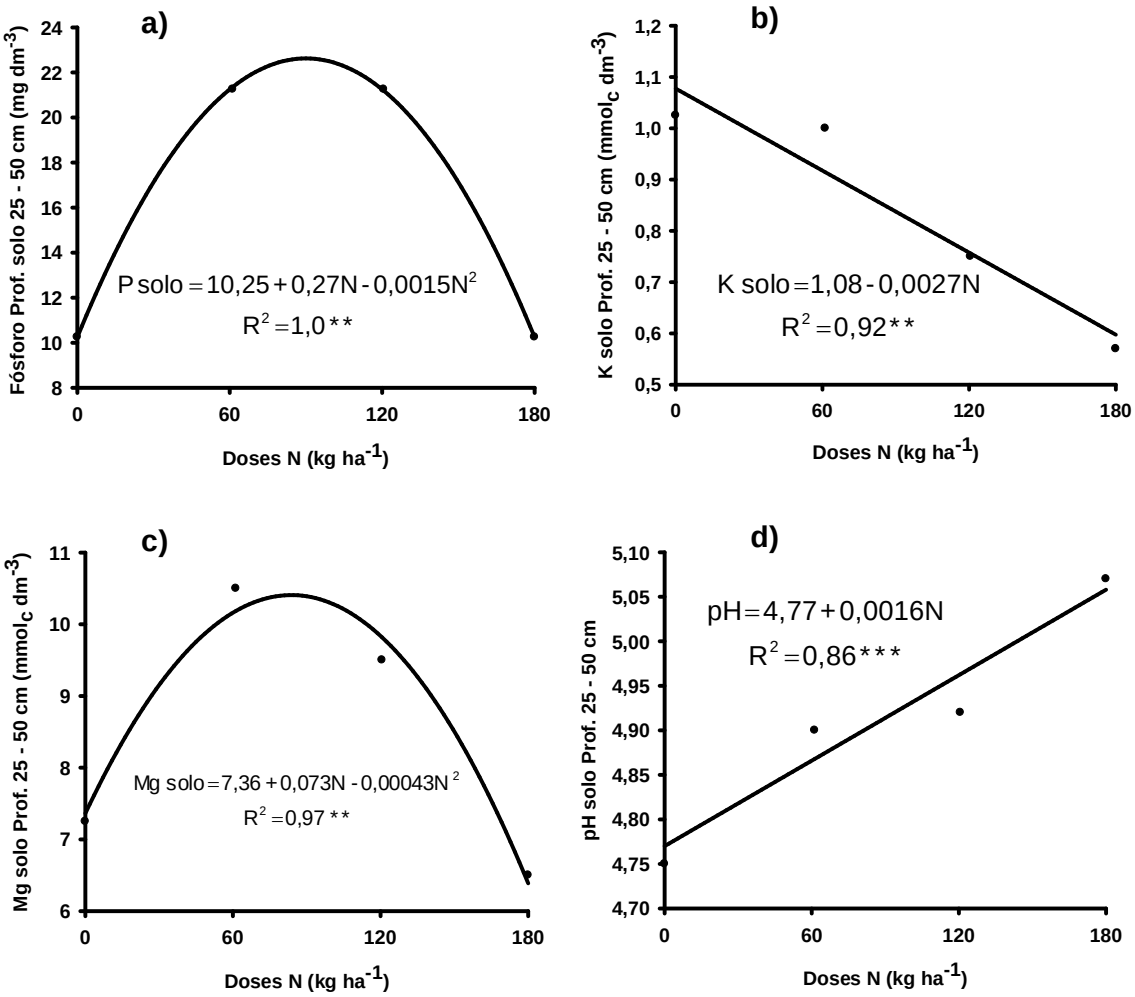

Figura 10 - **T**eores de fósforo, potássio e magnésio e pH do solo na profundidade de 25 – 50 cm, em função do efeito residual das doses de nitrogênio (fonte CA), após a colheita da cana soca (segunda rebrota) em novembro de 2007. ** e *** significativos a 5% e 1% de probabilidade respectivamente

A Tabela 21 apresenta as correlações de Pearson entre os parâmetros químicos do solo na camada de 0-25 e 25-50 cm do solo. Dentre os resultados apresentados destaca-se a correlação negativa do pH com os teores de S-SO_4 (camada 25-50 cm). Com o aumento do pH ocorre aumento das cargas negativas (OH^-), dessa forma o sulfato que também é um ânion, é repelido, reduzindo portanto, seu teor no solo.

Tabela 21 - Correlações de Pearson entre os parâmetros químicos do solo após a colheita da segunda rebrota de cana-de-açúcar

0-25 cm	M.O	P	S-SO_4	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
pH	0,35*	0,01 ^{NS}	**-0,73*** **	-0,30*	**0,89*** **	**0,84*** **	**-0,89*** **	**-0,91*** **	**0,89*** **	-0,32^{NS}	**0,96*** **	**-0,90*** **
M.O	-	0,23 ^{NS}	-0,42*	0,16 ^{NS}	**0,48** **	**0,54** **	-0,31*	-0,10^{NS}	**0,52** **	**0,48** **	0,37*	-0,34*
P		-	-0,12 ^{NS}	0,37*	0,02 ^{NS}	0,14^{NS}	0,13 ^{NS}	-0,06^{NS}	0,08^{NS}	0,01^{NS}	0,07^{NS}	0,09^{NS}
S-SO_4			-	0,01 ^{NS}	**-0,71*** **	**-0,64*** **	**0,75*** **	**0,67*** **	**-0,71*** **	0,17^{NS}	**-0,72*** **	**0,79*** **
K				-	-0,35*	-0,17 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,21^{NS}	-0,25^{NS}	0,02^{NS}	-0,25^{NS}	0,25^{NS}
Ca					-	**0,92*** **	**-0,78*** **	**-0,76*** **	**0,99*** **	0,03^{NS}	**0,95*** **	**-0,81*** **
Mg						-	**-0,75*** **	**-0,74*** **	**0,97*** **	0,04^{NS}	**0,92*** **	**-0,78*** **
Al							-	**0,84*** **	**-0,78*** **	0,34*	**-0,85*** **	**0,99*** **
H+Al								-	**-0,76*** **	**0,61*** **	**-0,91*** **	**0,84*** **
SB									-	0,04^{NS}	**0,96*** **	**-0,81*** **
CTC										-	-0,25^{NS}	0,31*
V											-	**-0,87*** **

25-50 cm	M.O	P	S-SO_4	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
pH	-0,03^{NS}	-0,15^{NS}	-0,38**	-0,28^{NS}	**0,76*** **	**0,59** **	**-0,88*** **	**-0,89*** **	**0,75*** **	0,10^{NS}	**0,91*** **	**-0,86*** **
M.O	-	0,10^{NS}	**-0,70*** **	0,12^{NS}	0,29*	0,25^{NS}	-0,07^{NS}	0,17^{NS}	0,30*	**0,55** **	0,11^{NS}	-0,20^{NS}
P		-	-0,13^{NS}	0,22^{NS}	0,01^{NS}	0,08^{NS}	0,10^{NS}	0,04^{NS}	0,03^{NS}	0,12^{NS}	-0,03^{NS}	0,07^{NS}
S-SO_4			-	0,01^{NS}	**-0,58*** **	-0,30*	**0,50** **	0,29*	**-0,55** **	**-0,41* **	-0,47*	**0,56** **
K				-	-0,39**	0,03^{NS}	0,11^{NS}	0,08 ^{NS}	-0,27^{NS}	-0,15^{NS}	-0,27^{NS}	0,10^{NS}
Ca					-	**0,72*** **	**-0,73*** **	**-0,60*** **	**0,98*** **	**0,65*** **	**0,92*** **	**-0,80*** **
Mg						-	**-0,54** **	**-0,48** **	**0,85*** **	**0,62*** **	**0,76*** **	**-0,63*** **
Al							-	**0,80*** **	**-0,72*** **	-0,15^{NS}	**-0,84*** **	**0,94*** **
H+Al								-	**-0,61*** **	0,15^{NS}	**-0,84*** **	**0,81*** **
SB									-	**0,68*** **	**0,93*** **	**-0,80*** **
CTC										-	0,35*	-0,22^{NS}
V											-	**-0,91*** **

NS, *, ** e ***: não significativo, significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente

O teor de matéria orgânica do solo apresentou correlação positiva com SB, Ca e Mg (camada de 0-25 cm) e CTC (camada de 25-50 cm), indicando que a retenção de cátions está relacionada ao teor de matéria orgânica do solo. A soma de bases (SB) do solo, especialmente de cálcio tem grande importância no crescimento radicular abaixo da camada arável. Esse fato é muito importante, pois a cana-de-açúcar apresenta significativo crescimento do sistema radicular em subsuperfície, principalmente nos ciclos de soqueira (LANDELL et al., 2003).

Embora, em curto prazo, problemas de fertilidade possam ser resolvidos com adição de adubos solúveis, alternativas de manejo que preservem teores de M.O no solo garantem as boas produções a longo prazo. Trabalhos anteriores relatam o efeito do cultivo contínuo de cana-de-açúcar sobre as propriedades químicas de solos, ocorrendo diminuição considerável na soma de bases (CERRI et al., 1988) ou, dependendo do manejo adotado, elevando a sua fertilidade (SILVA; RIBEIRO, 1998).

4.2.2 Balanço climatológico no ciclo da cana soca (terceira rebrota)

A colheita da cana soca de segunda rebrota ocorreu no final de novembro de 2007, quando as condições climáticas eram totalmente favoráveis à brotação do ciclo subsequente. Desse período até o mês de junho de 2008 a evapotranspiração real da cultura foi muito próxima da potencial, devido às condições favoráveis de temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica, possibilitando o máximo crescimento da planta, período esse chamado de estádio de máximo desenvolvimento da cana-de-açúcar (Figura 11).

Cesnik e Miocque (2004) relatam que o ponto máximo de vegetação da cana-de-açúcar situa-se anualmente em dezembro. Esta época esta próxima ao equinócio de verão, períodos em que fatores como luz e comprimento do dia complementam-se com fatores hidrotérmicos, mostrando assim, a importância dos mesmos na produção de cana-de-açúcar. Por outro lado, a intensidade de acúmulo de sacarose é fortemente influenciada pelas condições ambientais, desfavoráveis ao crescimento e desenvolvimento vegetativo, sendo que temperaturas mais baixa, períodos de seca moderados e carência de nitrogênio favorecem a qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar.

Durante o ciclo da cana soca de terceira rebrota, o déficit hídrico foi de aproximadamente 500 mm, o que pode ser considerado moderadamente elevado

para a cana-de-açúcar. Entretanto, o déficit hídrico acumulado foi maior nos estádios finais, ou de maturação (devido às baixas precipitações no inverno), que não apresenta efeitos expressivos na redução da produtividade. No estádio de máximo crescimento (de novembro a fevereiro, em um total de 120 dias) foram observadas as maiores precipitações e o déficit hídrico foi baixo. O baixo déficit hídrico nesse período, aliado às condições favoráveis de temperatura e radiação solar, possibilitaram um elevado crescimento vegetativo da cultura nesse estádio. Por outro lado, o acentuado déficit hídrico no estádio final do ciclo da cana soca pode prejudicar a brotação e o vigor da soqueira no ciclo agrícola subseqüente.

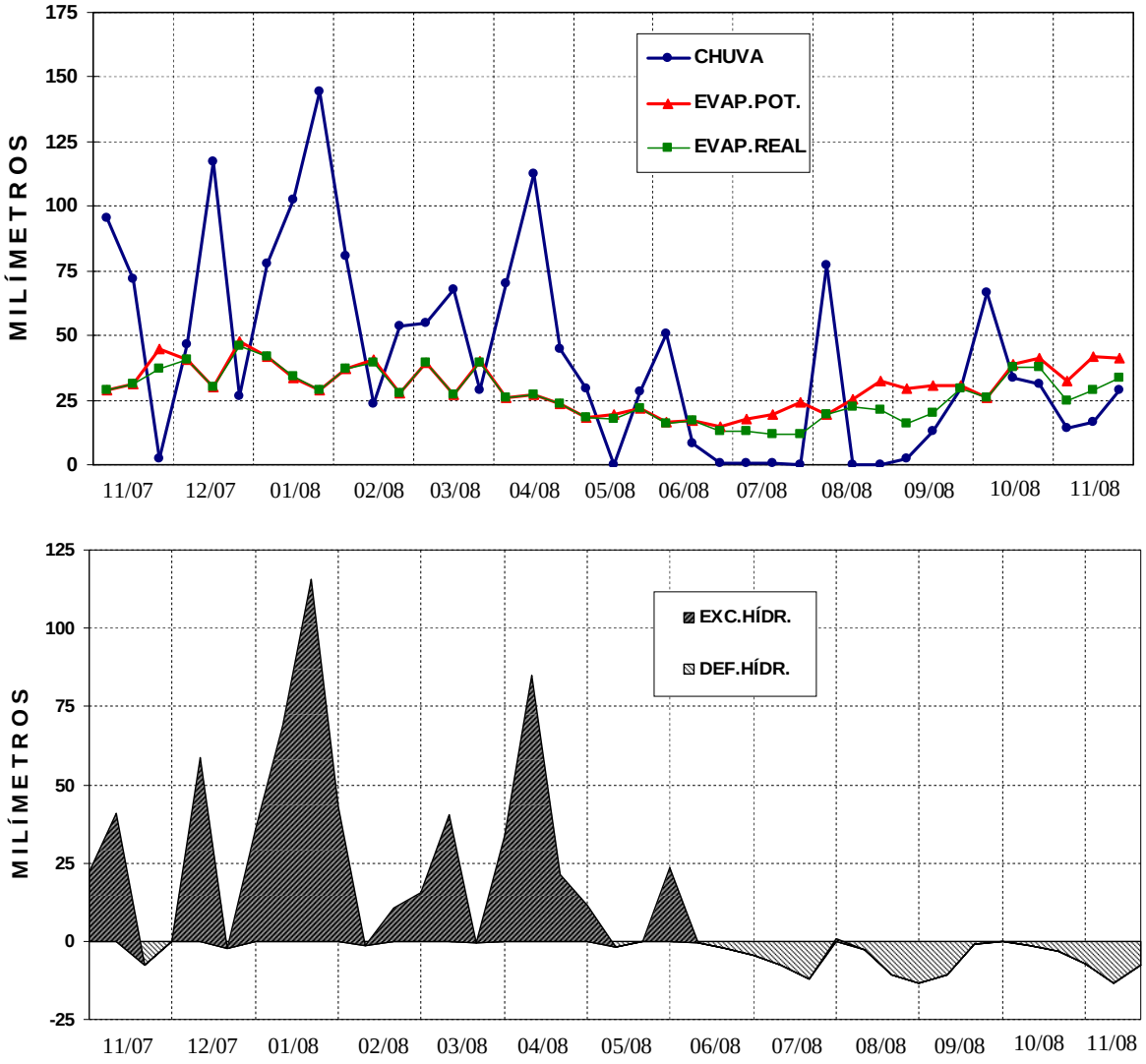

Figura 11 - Balanço hídrico climatológico da área experimental no ciclo agrícola de terceira rebrota de cana-de-açúcar. EVAP. POT.: Evapotranspiração potencial da cultura; EVAP. REAL: Evapotranspiração real da cultura; EXC. HÍDR.: Excedente hídrico do solo; DEF. HÍDR.: Déficit hídrico do solo

O período de excedente hídrico se estendeu até junho de 2008, mês em que as precipitações diminuíram. Somente o mês de janeiro de 2008 registrou pluviosidade acumulada de 325 mm, praticamente 26% da precipitação ocorrida na fase vegetativa da cana soca (novembro a junho de 2008). Durante todo esse período a evapotranspiração real foi igual a potencial. Ao final de junho, com a diminuição das chuvas e com a elevação da evapotranspiração potencial, o solo passou a apresentar déficit hídrico.

4.2.3 Produtividade de colmos e atributos tecnológicos na colheita da cana soca (terceira rebrota) relacionados ao N-residual

Quanto à produtividade de colmos (TCH) na safra agrícola 2007/2008, constatou-se que com o aumento das doses de nitrogênio aplicadas na safra 2006/2007, houve significativa redução na produção de colmos por área, sendo este efeito representado por meio de regressão quadrática inversa (Figura 12a).

A alta produtividade de colmos na ausência de N pode ter ocorrido em função do maior fornecimento de nitrogênio a partir da mineralização da matéria orgânica. A palha depositada sobre o solo segundo diversos autores contém de 50 a 100 kg ha^{-1} de N, após alguns anos de implantação com diminuição nas perdas de solo por erosão e aumento contínuo na palha, ocorrerão aumentos nos teores de matéria orgânica e nitrogênio do solo, podendo representar menor necessidade nas doses de N, como verificado neste experimento (ABRAMO FILHO et al., 1993; FURLANI NETO et al., 1997; CANTARELLA, 1998; COSTA, 2001; VITTI, 2003).

Outro fator que deve ser levado em consideração é que, devido ao uso crescente de adubo potássico clorado na maior parte das culturas, vem se acentuando o problema, que se constitui no acúmulo de cloro nas plantas, principalmente nas perenes e naquelas cujos restos de cultura voltam ao solo anualmente. Levando-se em consideração que 180 kg ha^{-1} de N na forma de CA corresponde a aproximadamente 554 kg ha^{-1} de Cl, além de 173,6 kg ha^{-1} de Cl na forma de cloreto de potássio, a redução na produtividade pode ter ocorrido em função do efeito tóxico do Cl residual, que em elevadas concentrações no solo refletiu negativamente no potencial produtivo da cultura.

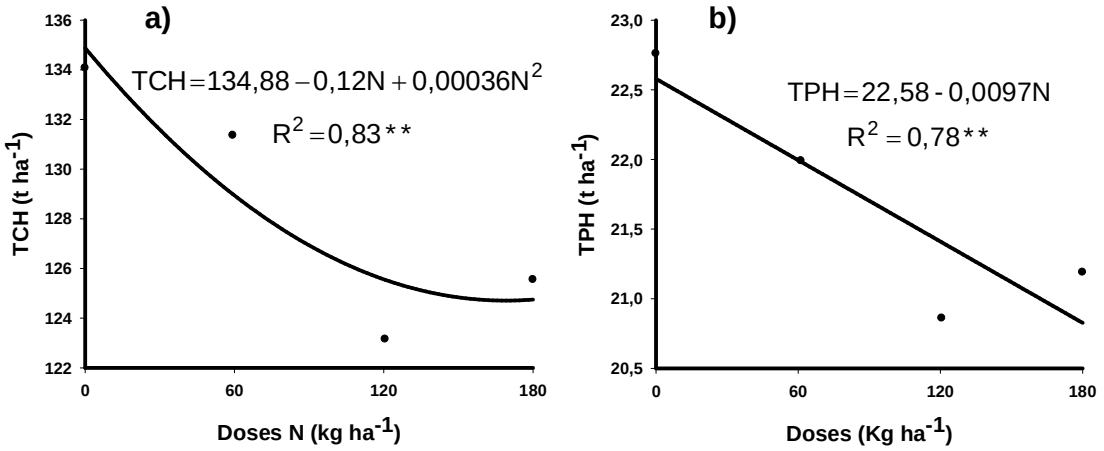

Figura 12 - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar de terceira rebrota e rendimento em sacarose (safra 2007/2008) relacionados ao efeito residual de doses de N aplicadas na safra 2006/2007. **: significativo a 5% de probabilidade

Como a cana-de-açúcar é considerada, moderadamente sensível à salinidade do solo (SANTANA et al., 2007), o decréscimo de produtividade com aumento da dose de nitrogênio pode ter sido agravado pelo efeito salino provocado pelo cloro residual, tendo em vista, que a acumulação de sais na rizosfera prejudica o crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando um decréscimo de produtividade. Isto ocorre em razão da elevação do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos de íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo (FAUCONNIER; BASSEREAU, 1975; MAULE et al., 2001).

Não foi observada diferença significativa para os parâmetros tecnológicos da cana de terceira rebrota em função do N-residual da fonte CA (Tabela 22), ocorrendo redução na produção de açúcar por área apenas em função da redução na produtividade de colmos (Figura 12b). No entanto, todos os parâmetros estão dentro dos considerados adequados para a variedade utilizada neste experimento (SP89 1115). É importante ressaltar, que aos 180 d.a.a. o canavial se apresentava com alto índice de tombamento dos colmos, o que pode ter impedido a expressão da máxima produtividade tanto de colmos quanto de açúcar. Segundo Berding et al. (2005), com o tombamento é induzido o aparecimento de brotões, que são brotos desenvolvidos após a estabilização dos colmos principais na cultura, e cujo comportamento é similar ao de uma cana jovem. Diferenciam-se, todavia, pelos caules mais grossos e folhas mais largas e curtas do que os dos colmos principais. Ao serem colhidos juntamente com a cana madura, há uma tendência para

diminuição da qualidade da matéria-prima, devido ao reduzido teor de sacarose e elevado teor de açúcares redutores nos mesmos.

Tabela 22 - Parâmetros tecnológicos: ºBrix, Pol, pureza, fibra, ATR e AR de colmos da terceira rebrota de cana-de-açúcar (safra 2007/2008), em função do efeito residual das doses de nitrogênio (cloreto de amônio) aplicados na segunda rebrota (safra 2006/2007)

	Parâmetros Tecnológicos					
Doses N	**º Brix**	**Pol %**	**Pureza (%)**	**Fibra (%)**	**ATR (kg t^{-1})**	**AR (%)**
0	21,6	17,0	90,2	10,3	166,1	0,47
60	21,2	16,7	90,2	10,2	163,5	0,47
120	21,4	16,9	90,2	9,8	165,6	0,48
180	21,4	16,9	89,8	9,9	165,3	0,49
F – R.L	$0,01^{NS}$	$0,01^{NS}$	$0,1^{NS}$	$0,3^{NS}$	$0,01^{NS}$	$0,1^{NS}$
F – R.Q	$0,2^{NS}$	$0,3^{NS}$	$0,03^{NS}$	$0,01^{NS}$	$0,11^{NS}$	$0,05^{NS}$
CV (%)	4,4	4,4	1,8	11,6	4,0	12,0

NS: não significativo

As fontes nitrogenadas mostraram efeito significativo para N-residual na produção de colmos por área (Tabela 23). O tratamento SA foi o que apresentou a maior produção de colmos por área, diferindo dos tratamentos U e CA, não diferindo, porém dos demais tratamentos, inclusive da testemunha. A maior eficiência do sulfato de amônio pode ter ocorrido em função da maior quantidade de N-residual disponível às plantas. De acordo com Strong et al. (1997), a adição de sulfato de amônio causa uma rápida queda no pH do solo, inibindo a nitrificação. Deve-se salientar, ainda, que uma redução na nitrificação não é de todo indesejável, por permitir uma maior manutenção do nitrogênio na superfície do solo, já que o íon amônio pode ser adsorvido pelos colóides do solo (VICTORIA et al., 1992).

A produtividade de açúcar (TPH) não foi influenciada pelo nitrogênio residual de nenhum tratamento aplicado no ciclo anterior. Apesar das médias dos tratamentos sulfato de amônio e cloreto de amônio na dose 120 kg ha^{-1} N diferirem entre si, a análise de variância não mostrou significância para o parâmetro avaliado (Tabela 23). Com relação à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar não foi verificada diferença significativa para nenhum parâmetro avaliado (Tabela 24).

Tabela 23 - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar (TCH) e rendimento em sacarose (TPH) de terceira rebrota (safra 2007/2008) em função do N-residual de fontes nitrogenadas aplicadas na safra 2006/2007.

TEST	CA 120	NA 120	SA 120	U 120
		Produtividade de colmos (t ha^{-1})		
134,1 ab	123,1 c	130,7 abc	138,6 a	128,1 bc
	Valor F = 2,4*	**CV (%)** = 5,7	**DMS**= 14,4	
		TPH (t ha^{-1})		
22,8	20,9	22,3	23,4	21,9
	Valor F = 1,7^{NS}	**CV (%)** = 6,7	**DMS**= 2,9	

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. NS: não significativo, * significativo a 10% de probabilidade

Tabela 24 - Parâmetros tecnológicos: ºBrix, Pol % cana, pureza % cana, fibra % cana, ATR e AR de terceira rebrota de cana-de-açúcar (safra 2007/2008) em função do N-residual das fontes nitrogenadas aplicadas na safra 2006/2007.

	Parâmetros Tecnológicos					
Tratamentos	**º Brix**	**Pol %**	**Pureza (%)**	**Fibra (%)**	**ATR (kg t^{-1})**	**AR (%)**
TEST	21,6	17,0	90,2	10,3	166,1	0,47
CA 120	21,4	16,9	90,2	9,8	165,6	0,48
NA 120	21,9	17,1	90,2	10,7	167,0	0,48
SA 120	21,5	16,9	90,0	10,6	167,1	0,49
U 120	21,9	17,1	89,6	10,9	166,9	0,46
CV (%)	3,1	2,8	1,4	7,9	3,2	9,3
Valor F	0,4^{NS}	0,1^{NS}	0,3^{NS}	1,0^{NS}	0,1^{NS}	0,3^{NS}

NS: não significativo

Para o experimento completo foi constatada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 25). O N-residual do sulfato de amônio na dose de 120 kg ha^{-1} de N foi o que proporcionou maior produtividade de colmos, não diferindo da testemunha e do tratamento cloreto de amônio na dose de 60 kg ha^{-1} de N. Por outro lado, os tratamentos U120 e CA nas doses 120 e 180 kg ha^{-1} de N foram os que apresentaram as menores produtividades no ciclo subseqüente ao de sua aplicação. O rendimento de açúcar por área foi significativo apenas em função do aumento de produtividade de colmos, visto que os parâmetros tecnológicos não diferiram entre os tratamentos.

Esses resultados podem ser explicados pelo efeito mais duradouro do N no solo, quando na forma amoniacal, refletindo em maior efeito residual, tanto do N quanto do enxofre, como discutido anteriormente. Estudo realizado por Vitti et al. (2003) mostrou que o sulfato de amônio proporcionou maior efeito residual na produtividade da quarta soca da cana, comparado à uréia e ao nitrato de amônio, indicando aumento na eficiência de aproveitamento do N pelas plantas.

Além do S contido no sulfato de amônio melhorar a absorção e o aproveitamento do N pelas culturas devido à sinergia positiva entre esses nutrientes, outra possível vantagem advinda do uso de sulfato de amônio diz respeito ao aumento da solubilidade do fósforo e do manganês do solo, melhorando o aproveitamento desses nutrientes pelas plantas e aumentando a produtividade das culturas (COLLAMER et al., 2007).

É interessante, portanto, realizar os cálculos da margem de contribuição agrícola, para saber qual a fonte e a dose economicamente viável, que apresente aumento de produtividade dos canaviais e redução dos custos de produção para os ciclos subsequentes.

Tabela 25 - Produtividade de colmos de cana-de-açúcar (TCH) e rendimento em sacarose (TPH) de terceira rebrota de cana-de-açúcar (safra 2007/2008) em função do N-residual dos tratamentos implantados na safra 2006/2007 (experimento completo)

TEST	CA 60	CA 120	CA 180	NA 120	SA 120	U 120
Produtividade de colmos (t ha^{-1})						
134,1 ab	131,4 abc	123,1 c	125,5 bc	130,7 abc	138,6 a	128,1 bc
Valor F = 2,2*		**CV (%)** = 5,3		**DMS**= 14,6		
TPH (t ha^{-1})						
22,8 ab	22,0 ab	20,9 b	21,2 b	22,3 ab	23,4 a	21,9 ab
Valor F = 1,6*		**CV (%)** = 6,2		**DMS= 3,2**		

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. *significativo a 10% de probabilidade. DMS: Diferença mínima significativa

A análise de variância para a produtividade acumulada de colmos nas safras 2006/2007 e 2007/2008, não mostrou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 26). No entanto, o tratamento nitrato, que obteve a maior produtividade (244,7 t ha^{-1}) apresentou cerca de 21 t ha^{-1} a mais quando comparado à testemunha (223,7 t ha^{-1}). Este aumento de produção acumulada de colmos de cana também sugere a necessidade de uma análise econômica, com o objetivo de definir a viabilidade ou não, da adubação nitrogenada em ciclos subseqüentes de cana soca. Para o rendimento em sacarose, apesar das médias dos tratamentos SA120 e CA60 diferirem entre si, a análise de variância não mostrou significância para o parâmetro avaliado (Tabela 26).

Tabela 26 - Produtividade de colmos e rendimento de açúcar acumulados (safra 2006/2007 + 2007/2008) relacionada aos tratamentos com fontes e dose de N

TEST	CA 60	CA 120	CA 180	NA 120	SA 120	U 120
Produtividade de colmos acumulada (t ha^{-1})						
223,7	225,7	224,7	229,0	228,1	244,7	233,1
	Valor F = 1,7^{NS}		**CV (%)** = 4,8	**DMS**= 39,5		
Rendimento em sacarose acumulado (t ha^{-1})						
38,5	38,0	38,7	39,2	39,6	41,82	39,4
	Valor F = 0,89^{NS}		**CV (%)** = 6,6	**DMS**= 5,4		

NS: Não significativo. DMS: Diferença mínima significativa

Com exceção ao SA, a margem de contribuição agrícola relacionada o N-residual (produtividade da terceira rebrota de cana-de-açúcar; safra 2007/2008), independente da dose ou fonte aplicada, apresentaram-se com médias inferiores à da testemunha, embora não tenha sido constatada a diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 27).

É importante ressaltar que as estimativas de custo apresentadas poderão ser diferentes daquelas obtidas pelos produtores, em função das diferenças nos sistemas de produção, nível tecnológico, gerência da propriedade, estrutura e valores dos custos de produção. O cenário para os valores de margem de contribuição agrícola poderão se alterar em função de preços da ATR e CCT, mas especialmente com os preços de adubos nitrogenados.

Tabela 27 - Rendimento financeiro em função do efeito do N-residual da terceira rebrota de cana-de-açúcar (safra 2007/2008)

TRAT	TCH	ATR	Açúcar	Receita Bruta	Custo CCT	Custo NPK	Custo total	MCA#
	t ha^{-1}	kg t^{-1}	kg ha^{-1}	----------	----------	R$ ha^{-1}	----------	----------
TEST	134,1	166,1	22.274,0	6.116,4	2.118,8	558,0	2.676,8	3.439,6
CA60	131,4	163,5	21.483,9	5.899,5	2.076,1	558,0	2.634,1	3.265,4
CA120	122,1	165,6	20.219,8	5.552,3	1.929,2	558,0	2.487,2	3.065,1
CA180	125,6	165,3	20.761,7	5.701,2	1.984,5	558,0	2.542,5	3.158,7
NA120	130,7	167,0	21.826,9	5.993,6	2.065,1	558,0	2.623,1	3.370,5
SA120	138,6	167,1	23.160,1	6.359,8	2.189,9	558,0	2.747,9	3.611,1
U120	128,1	166,9	21.379,9	5.870,9	2.024,0	558,0	2.582,0	3.288,9

Valor F# = 1,1^{NS} **CV (%)** = 9,6 **DMS** = 656

NS: Não significativo. TCH: toneladas de colmos industrializáveis por hectare; ATR: açúcar total recuperável por tonelada de colmos; Açúcar = TCH x ATR; Receita Bruta = Açúcar x 0,2746 (preço médio do ATR); CCT: custo do corte, carregamento e transporte (CCT = R$15,80 t^{-1} – preço médio usina Iracema); Custo CCT = CCT(R$) x TCH; Custo NPK: Custo da adubação NPK de terceira rebrota – fórmula 20-5-19 (450 kg ha^{-1} da fórmula NPK = R$558,0). Custo Total = CCT + Custo NPK. MCA: Margem de contribuição agrícola (MCA = Receita bruta - Custo total)

4.2.4 Atividade da enzima redutase do nitrato (RNO_3)

A análise de variância para o conteúdo de nitrogênio total na folha +1 não mostrou diferença significativa do N-residual para fontes dentro de uma mesma época de avaliação (Tabela 28). Os valores encontrados variaram de 22,8 – 22,0; 18,5 – 19,4 e 18,0 – 19,6 g de N kg^{-1} de matéria seca, respectivamente, para os meses de fevereiro, abril e junho de 2008 e estão de acordo com os teores adequados para o Estado de São Paulo (18,0 – 25,0 g kg^{-1} MS), segundo Raij et al. (1997).

Com exceção ao tratamento com N-residual da fonte SA, houve redução altamente significativa nas concentrações de N total da folha +1 de cana-de-açúcar em função do tempo, especificamente nos meses de fevereiro e abril, não sendo observada diferença para as médias nos meses de abril e junho (Tabela 28). Esse fenômeno ocorre em razão do início do processo de maturação, onde grande parte do nitrogênio integrante dos tecidos vegetativos é transferido para os colmos em desenvolvimento, num processo denominado de remobilização.

Tabela 28 - Concentração de nitrogênio na folha +1 de cana-de-açúcar aos 60, 120 e 180 d.a.a. em função do efeito residual das fontes de N (dose: 120 kg ha^{-1} de N)

TEMPO	Concentração de N F+1 (g kg^{-1})						
	TEST	CA 120	NA 120	SA 120	U 120	CV (%)	Valor F
FEVEREIRO	22,0 aAB	22,6 aA	22,0 aAB	20,8 aB	22,0 aA	2,85	$3,7^{NS}$
ABRIL	18,5 bA	19,3 bA	19,3 bA	19,0 aA	19,4bA	5,65	$0,4^{NS}$
JUNHO	18,0 bA	19,6 bA	19,3 bA	19,0 aA	19,3 bA	6,21	$1,1^{NS}$
Valor F	13,1***	23,0***	7,9***	$1,9^{NS}$	15,0***	-	-
CV (%)	6,2	3,7	5,5	6,4	3,9		

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. ***, ** significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

A RNO_3 apresentou maior atividade nas folhas da cana-de-açúcar para o tratamento com N-residual do nitrato de amônio nas três épocas avaliadas (Tabela 29), sugerindo a indução dessa enzima pelo substrato nitrato. A atividade da RNO_3 no tratamento com nitrato de amônio foi maior, possivelmente, devido à maior disponibilidade de nitrato translocado para as folhas, conforme indicado por Stewart e Schmidt (1998).

No entanto, o nitrato de amônio, fonte que apresentou maior atividade da enzima, não diferiu do tratamento cloreto de amônio aos 60 d.a.a. (Tabela 29). Andrade (1994) trabalhando com capim-colonião e proporções de NH_4^+:NO_3^- detectou que a atividade “in vitro” da redutase do nitrato aumentou significativamente quando foram fornecidas ambas as fontes de nitrogênio, indicando certa ação estimulatória do íon amônio na atividade da enzima.

Tabela 29 - Atividade da enzima redutase do nitrato (µmol NO_2^- g^{-1} h^{-1}) na folha +1 de cana-de-açúcar, em função do efeito residual das fontes de N e do tempo (60, 120 e 180 dias após a adubação – d.a.a.)

Fontes N	Tempo (d.a.a.) 60	120	180	Valor F
TEST	$2,0x10^{-4}$ cA	$1,2x10^{-4}$ dB	$1,7x10^{-4}$ dC	24,5***
CA 120	$1,4x10^{-3}$ aA	$1,6x10^{-3}$ bB	$1,3x10^{-3}$ bB	11,7***
NA 120	$1,6x10^{-3}$ aA	$2,2x10^{-3}$ aA	$2,3x10^{-3}$ aB	9,9 ***
SA 120	$4,7x10^{-4}$ bcA	$6,9x10^{-4}$ cAB	$9,3x10^{-4}$ cB	9,2***
U 120	$5,9x10^{-4}$ bA	$7,8x10^{-4}$ cAB	$3,5x10^{-4}$ dB	7,2**
Valor F	53,5 ***	100,3 ***	173,6 ***	-

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. ***, ** significativo a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

A análise de variância referente à atividade da enzima RNO_3, para níveis eqüidistantes de tempo, mostrou-se significativa (Tabela 29). Com exceção da testemunha, a atividade da RNO_3 aumentou significativamente aos 120 dias após a adubação, período em que as temperaturas e precipitações foram mais elevadas (Figura 13). Por outro lado, aos 180 dias após a adubação houve pequeno incremento na atividade da redutase para o efeito residual dos tratamentos, nitrato e sulfato de amônio e decréscimo para os tratamentos cloreto de amônio e uréia, período em que se inicia a estiagem com conseqüente redução na temperatura. Ackerson et al. (1977) verificaram que a RNO_3^- foi adversamente afetada em plantas de algodão submetidas ao estresse hídrico. O déficit hídrico tem sido responsável pela redução da atividade dessa enzima em cevada (HUFFAKER et al., 1970; BANDURSKA, 1991), milho (MORILLA et al., 1973) e sorgo (TEARE et al., 1974).

Segundo Sinha e Nicholas (1981), é possível que a inibição da RNO_3 se constitua em processo regulatório na ausência de crescimento ativo em plantas submetidas a estresse hídrico, que evoluiu no sentido de conservar energia quando a fotossíntese é diminuída. Assim, como a conservação de energia é um requisito essencial para a sobrevivência durante o estresse, supõe-se que uma rápida redução da atividade da RNO_3 se traduza em uma vantagem metabólica.

Tabela 30 - Concentrações de nitrato e amônio na folha +1 de cana-de-açúcar (mg kg^{-1} de MS) em função do efeito residual das fontes nitrogenadas aos 60, 120 e 180 dias após adubação

Fontes N	Tempo (d,a,a,) 60		120		180		Valor F	
	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
	mg kg^{-1}							
Test	376aA	709abA	490aA	831bA	713abA	1122aA	$2,94^{NS}$	$2,64^{NS}$
CA120	280aA	639bA	359aB	997abA	697abB	1146aA	26,51***	$2,89^{NS}$
NA120	464aA	779aA	341aA	1024aA	518bcA	847abA	$3,97^{NS}$	$4,45^{NS}$
SA120	350aA	657abA	367aB	647bA	748aB	1237aA	14,60***	5,21**
U120	368 aA	654abA	332aA	1321aAB	447cA	688bB	$0,90^{NS}$	5,50**
Valor F	$1,15^{NS}$	3,45 **	$1,26^{NS}$	6,95 ***	3,80 **	$3,02^{NS}$	-	-

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. NS: não significativo; ***, ** e * significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade respectivamente

Para a concentração de amônio nas folhas, aos 60 e 120 d.a.a. (Tabela 30) não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, no entanto, mesmo sem o apoio da estatística, houve maior concentração de amônio para o efeito residual do nitrato de amônio. Pode-se observar ainda, que aos 60 d.a.a. o N-residual do NA apresentou maior concentração de nitrato foliar diferindo significativamente do tratamento CA, não diferindo, porém dos demais tratamentos, mantendo a mesma tendência aos 120 d.a.a., sendo superado, no entanto, pela uréia no qual foi constatada maior concentração de $N\text{-}NO_3$ na folha +1 de cana-de-açúcar.

Em trabalho realizado por Souza e Lobato (2002), aplicando nitrogênio amoniacal no solo, os autores verificaram que a concentração foliar de $N\text{-}NH_4^+$ foi detectada nos primeiros cinco dias após o fornecimento do nutriente, apresentando concentrações foliares semelhantes (50 %) entre as formas $N\text{-}NH_4^+$ e $N\text{-}NO_3^-$ 15 dias após a aplicação. Depois de 25 dias da aplicação 100 % do nitrogênio determinado na planta estava na forma nítrica. Pelo exposto, verifica-se que na ausência de impedimentos à nitrificação esse processo é muito rápido, o que explica a absorção de nitrogênio, predominantemente, na forma nítrica.

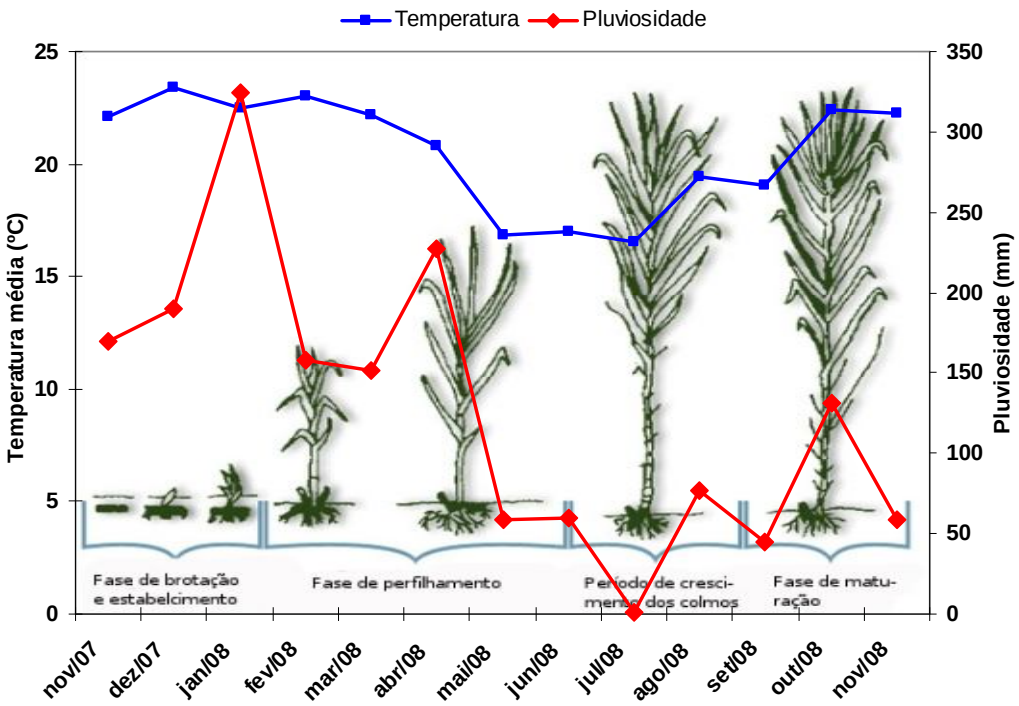

Figura 13 - Pluviosidade e temperatura média durante o período de amostragem de folha +1 para fins de diagnose nutricional e avaliação da RNO_3. Fonte: Adaptado de Gascho e Shih (1983)

Apesar de aos 180 d.a.a. a concentração de nitrato foliar dos tratamentos não terem diferido significativamente observou-se que o tratamento nitrato de amônio apresentou baixa concentração de $N\text{-}NO_3^-$ na folha (Tabela 30), possivelmente em função da maior atividade da enzima redutase do nitrato, sabendo que no processo de assimilação, o NO_3^- é reduzido a nitrito (NO_2^-) no citosol pela enzima redutase do nitrato (RNO_3); posteriormente, o NO_2^- é reduzido a NH_4^+ nos plastídeos da raiz ou nos cloroplastos pela enzima redutase do nitrito, ao qual é incorporado na forma de glutamina e glutamato (TISCHNER 2000; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Surpreendentemente, o tratamento que não recebeu adubação nitrogenada no ano agrícola de 2007 (Tabela 30) apresentou em todas as épocas de avaliação concentrações de NH_4^+ e NO_3^- equivalentes aos tratamentos onde se procurou avaliar o efeito residual das fontes nitrogenadas. Isso mostra mais uma vez, que nas condições do estudo não ocorreu efeito residual mensurável por meio dessas medidas, sendo as diferenças nas concentrações de N foliar e na atividade da redutase oriundas de outros fatores genético-fisiológicos.

Silveira e Crocomo (1990) estudando os efeitos de doses elevadas de N e de vinhaça no solo na assimilação de nitrogênio ao longo do crescimento de cana-de-

açúcar, verificaram que os teores de nitrato nas folhas, foram muito baixos (menores que 1 μmol g^{-1} MS). Aos 90 dias após o plantio (DAP), as concentrações de nitrato em colmos e bainhas decresceram acentuadamente até níveis baixíssimos a partir dos 180 DAP. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Takashi (1965) e Teixeira (1980), indicando que a cana-de-açúcar apresenta sistema de absorção, redução de nitrato e assimilação de amônia bastante ativo nas fases jovens das plantas.

De modo geral, foram baixas as quantidades do N-NH_4^+ no solo ao final do ciclo da cana soca (Tabela 31), não sendo verificado, portanto, diferença significativa entre os tratamentos. Os maiores teores de N-NH_4^+ foram encontrados no tratamento CA com valor médio de 9,5 mg kg^{-1} de solo. A adição de fertilizantes nitrogenados amoniacais a solos ácidos retarda a percolação de N em relação aos adubos nítricos porque mantém o NH_4^+ adsorvido por certo tempo nas cargas elétricas negativas. Os íons NH_4^+ movimentam-se apenas por difusão, podendo ficar ligados às argilas do solo, negativamente carregadas. Já os íons NO_3^- apresentam grande mobilidade na solução do solo, sendo transportados por difusão e por fluxo de massa.

Os resultados sugerem ainda, que as baixas quantidades do N-NH_4^+ presente no solo, podem ser atribuídas à imobilização líquida do N durante o ciclo da cana soca, pela microbiota, em resposta a elevada quantidade de palha, que apresenta relação C/N alta. Silva et al. (1999), concluíram que em presença de palha de cana-de-açúcar, os teores nos solos de N-NH_4^+ e N-NO_3^- provenientes da vinhaça mostraram-se muito baixos, independentemente do tipo de solo.

Outra observação importante é a predominância de amônio (NH_4) sobre nitrato (NO_3) após a aplicação das fontes de nitrogênio (Tabela 31), indicando um retardamento do processo de nitrificação. Esses resultados estão de acordo com observações anteriores de experimentos realizados por Mello Jr. et al. (1994) e Coelho (1995), os quais verificaram que, em solos de cerrado, o processo de nitrificação não é tão rápido, prolongando a permanência do N na forma amoniacal, o que contribui para a redução das perdas por lixiviação de nitrato.

Tabela 31 - Concentrações de nitrato e amônio no solo (mg kg^{-1}) em função do efeito residual das fontes nitrogenadas, após colheita da cana soca em novembro 2007

N-mineral	**Tratamentos**				
(mg kg^{-1})	**Test**	**CA120**	**NA120**	**SA120**	**U120**
$N\text{-}NH_4^+$	6,6 a	9,5 a	8,2 a	7,9 a	6,0 a
	Valor F = 1,3 ^{NS}	**CV (%)** = 32,9		**DMS** = 4,8	
$N\text{-}NO_3^-$	1,8 b	2,5 a	2,1 ab	1,6 b	2,5 a
	Valor F = 5,6 ***	**CV (%)** = 17,3		**DMS** = 0,7	

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 10% de probabilidade. O número em frente ao símbolo da fonte nitrogenada representa a dose de N em kg ha^{-1}. NS: não significativo; *** significativo a 1% de probabilidade

As quantidades de $N\text{-}NO_3^-$ no solo para as fontes de nitrogênio ao final do ciclo da cana soca (2007), variaram de 1,6 a 2,5 mg kg^{-1}, apresentando diferença significativa entre os tratamentos, com destaque para o efeito residual do CA, que diferiu significativamente da testemunha, provavelmente, em função de que grande parte do amônio produzido pelo cloreto de amônio no solo tenha sofrido nitrificação (Tabela 31).

Com relação ao efeito do N-residual das doses de cloreto de amônio na atividade da enzima RNO_3 (Figura 14), verificou-se que esta foi diretamente influenciada pelo incremento de nitrogênio (significância ao nível de 1%), nas três épocas avaliadas, apresentando ajuste linear.

Em geral, o melhor aproveitamento do fertilizante pelas culturas está relacionado com a dose aplicada e com o potencial de absorção dos nutrientes. Para a atividade da redutase do nitrato, pode-se observar que nas três épocas de avaliação esta foi significativamente influenciada pelo incremento das doses do N-residual (Figura 14). Silveira e Crocomo (1981) verificaram que o aumento excessivo na disponibilidade de N no estádio de crescimento da cana-de-açúcar provocou decréscimo na concentração de sacarose e de açúcares redutores ao mesmo tempo em que aumentou a atividade da redutase do nitrato e da concentração de αNH_2 no colmo de cana.

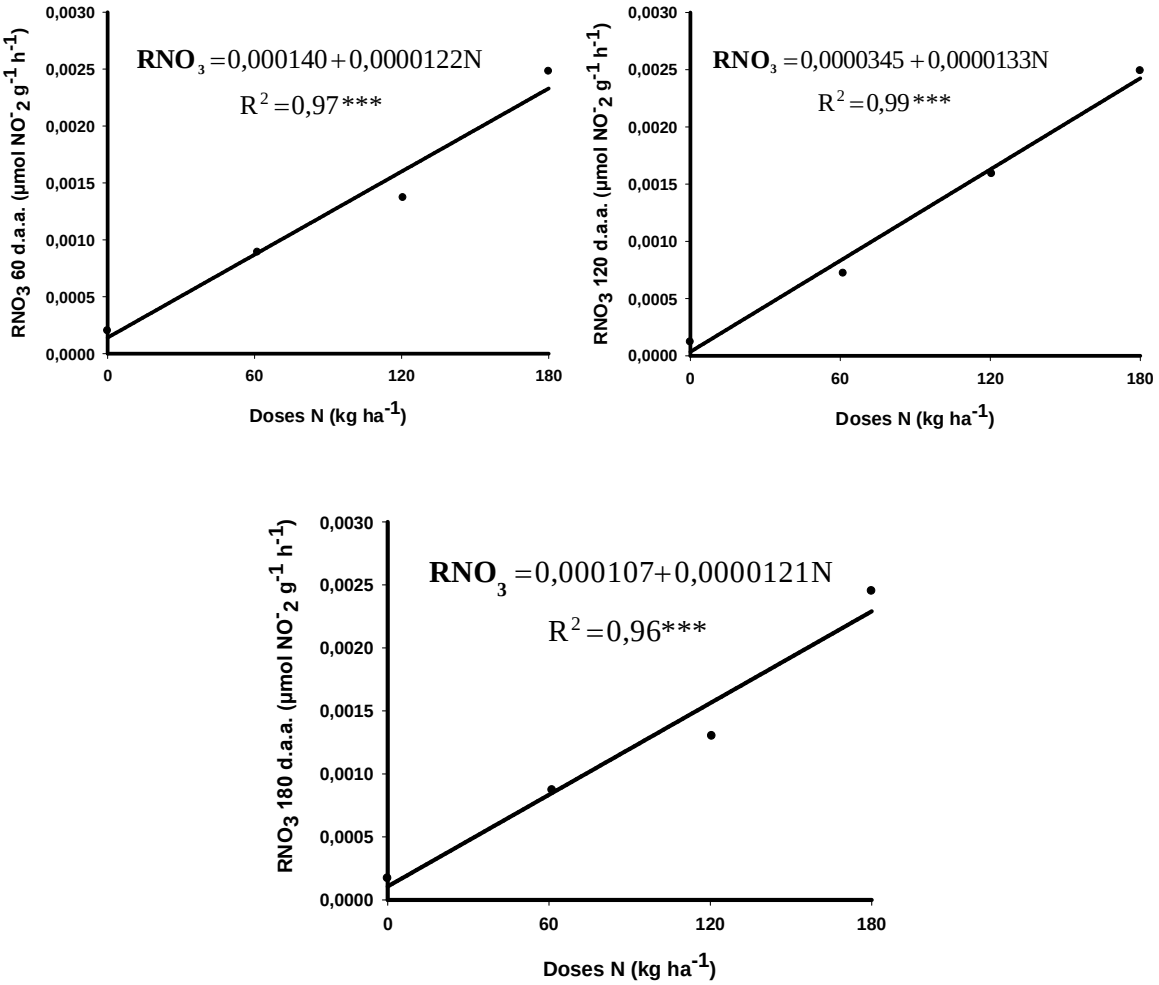

Figura 14 - Atividade da redutase do nitrato em folhas +1 de cana-de-açúcar, aos 60, 120 e 180 dias após a adubação, em função do efeito residual das doses de N

Os teores de N-NO_3^- no solo aumentaram linearmente com as doses de cloreto de amônio (Figura 15). O mesmo efeito não foi verificado para os teores de amônio no solo em resposta à aplicação de N, provavelmente em função da intensa nitrificação do N-NH_4^+ da fonte CA. Com o objetivo de determinar o nível crítico de N-NO_3^- no solo para a cultura do milho, Rambo et al. (2007) verificaram que os teores de N-NO_3^- no solo aumentaram proporcionalmente às doses de N aplicadas. Devido à grande variação nas concentrações de NH_4^+ no solo, como indicado pelo coeficiente de variação (CV = 32%), não foram detectados efeitos significativos do N-residual no teor de NH_4^+, encontrando valores entre 6,6 e 9,5 mg kg^{-1} de NH_4^+ no solo para o tratamento testemunha e a maior dose de N-residual (180 kg ha^{-1} de N), respectivamente.

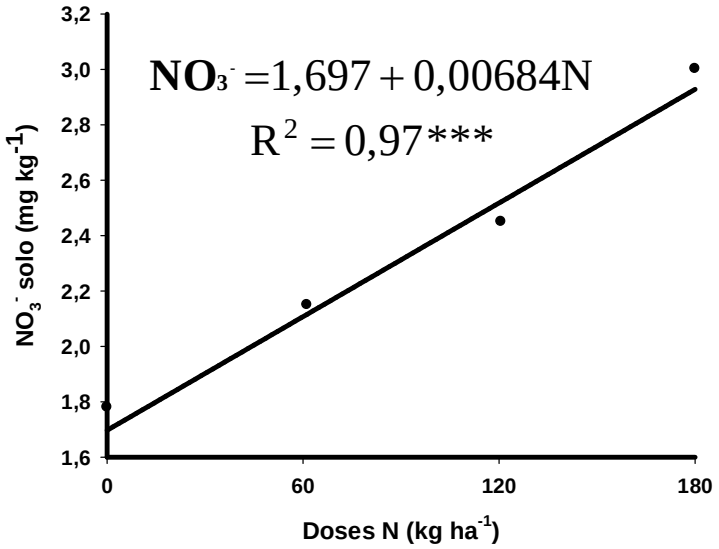

Figura 15 - Teores de nitrato no solo (mg kg^{-1}), em função do efeito residual das doses de N-CA

Os resultados apresentados na Figura 16 mostram aumento linear altamente significativo (ao nível de 1%) na atividade da enzima RNO_3 para o N-NO_3^- residual no solo correspondente ao N-residual das doses de cloreto de amônio, ao longo de todo o período de observações (60, 120 e 180 d.a.a.). Esses resultados reforçam a hipótese de que a atividade da RNO_3 nas folhas e raízes pode ser induzida pela presença de NO_3^-, levando-se em consideração que o aumento das doses de CA, pode ter levado ao aumento do teor de NO_3^- no solo e conseqüentemente à maior atividade da enzima RNO_3. Por outro lado, em relação à concentração de NO_3^- nas folhas de cana-de-açúcar, não foi detectada variações significativas para o efeito residual do CA com incremento das doses de nitrogênio.

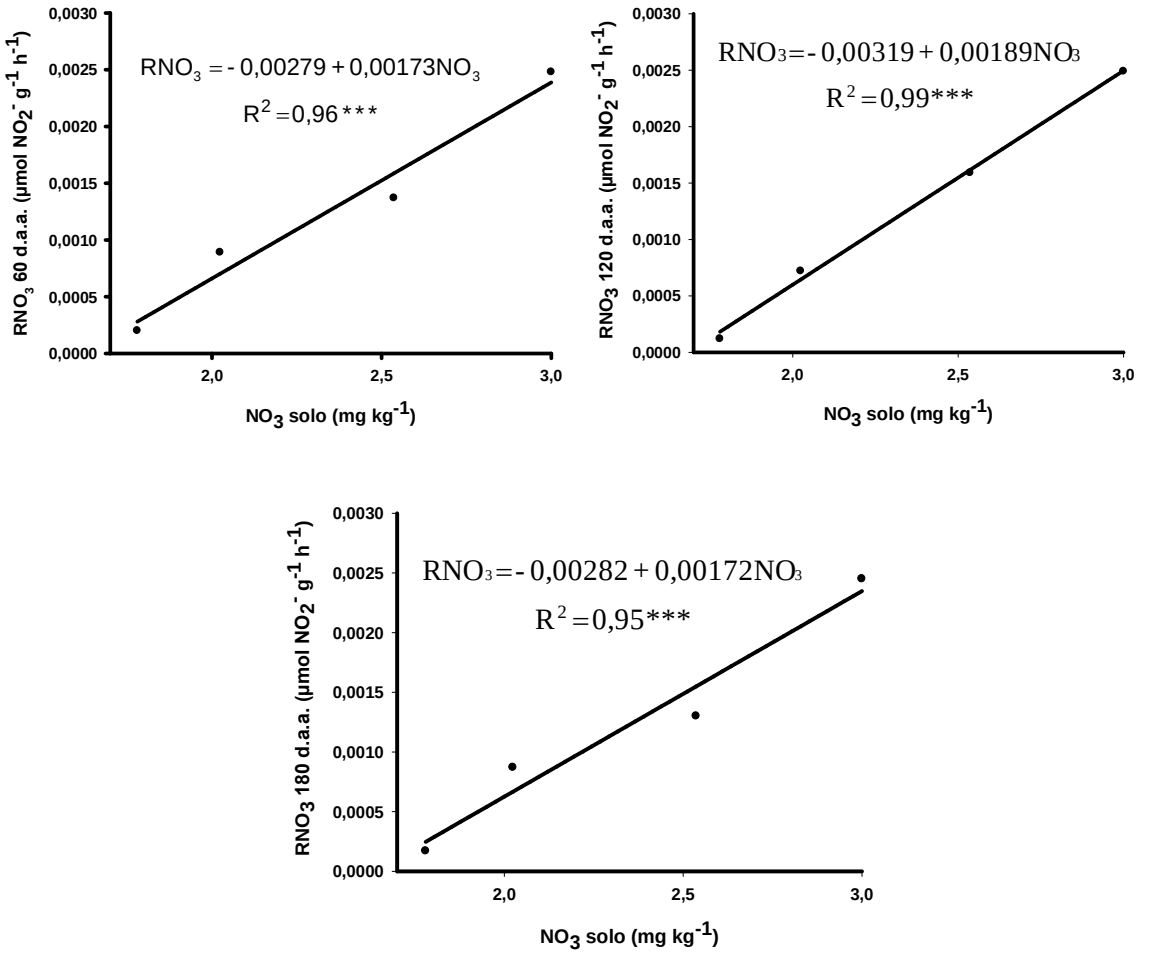

Figura 16 - Atividade da redutase do nitrato em folhas +1 de cana-de-açúcar, aos 60, 120 e 180 dias após a adubação, em função dos teores de nitrato no solo

Com respeito à atividade da RNO_3 avaliada aos 120 d.a.a. em função da produtividade de colmos, pode-se observar que o efeito residual das doses de CA provocou reduções significativas na atividade da enzima RNO_3 (Figura 17), apresentando uma regressão quadrática inversa, em que, a partir da produtividade de 126 t ha^{-1} de colmos ocorreu redução na atividade da enzima. Silveira (1990) constatou que a cana-de-açúcar “respondeu” positivamente a aplicação de alta dose de N-fertilizante no solo em termos de N acumulado na parte aérea. A reposta foi diretamente relacionada aos maiores teores de N e as maiores produções de fitomassa. Após período de elevadas e crescentes taxas de acúmulo de N na parte aérea (principalmente nos colmos), a cultivar apresentou, acentuado decréscimo, com taxas muito baixas a partir do início da maturação. Concluiu ainda que, a

atividade de redutase do nitrato nas folhas é várias vezes maior nos estádios mais jovens, decrescendo acentuadamente no início da maturação, permanecendo com valores muito baixos até o final do ciclo da cultura.

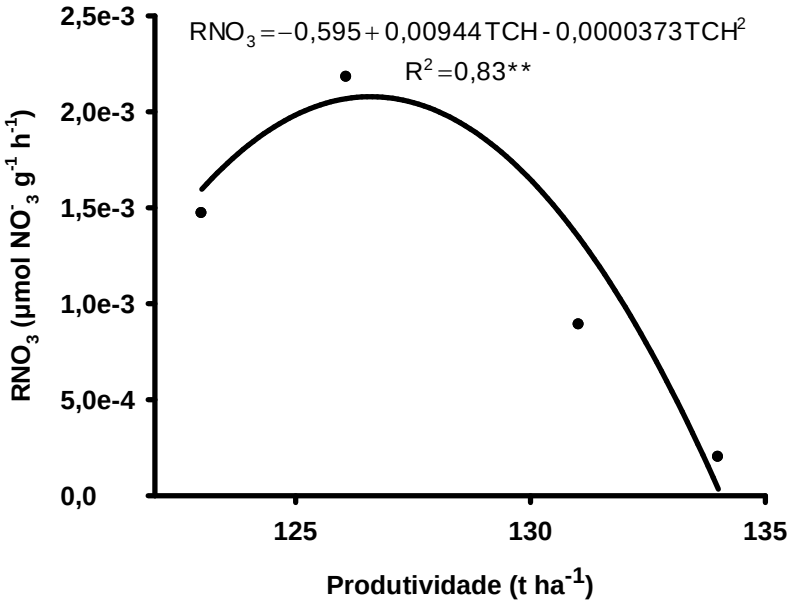

Figura 17 - Atividade da redutase do nitrato aos 120 d.a.a, em folhas +1 de cana-de-açúcar, em função da produtividade (t ha^{-1})

É importante ressaltar que neste experimento não foram realizadas avaliações da produção de fitomassa na cana-de-açúcar ao longo do ciclo vegetativo, não sendo, portanto, possível afirmar que a atividade da enzima RNO_3 não se correlacionou de forma positiva com a produção de fitomassa. Os dados apresentados foram referentes à avaliação da atividade da RNO_3 realizada no quarto mês do seu ciclo (120 d.a.a.), fase de máximo desenvolvimento da cultura, e a produção final de colmos (12 meses após colheita da safra anterior).

No Brasil Purcino et al. (1994), com o objetivo de verificar a possível existência de correlação entre a atividade da RNO_3 e as produtividades de milho, observaram que não ocorreu significância dos coeficientes de correlação, indicando que a produção de espigas não estava associada aos valores da atividade da RNO_3 in vivo nas folhas do milho, e concluíram ainda que a atividade da RNO_3 não foi diferente entre os níveis de adubação com N.

Silveira (1985), avaliando as interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar observou que durante a fase inicial de crescimento, as maiores atividades de RNO_3 (principalmente no tratamento “alto N”) foram positivamente relacionadas com maiores teores de proteínas e com maior crescimento de área foliar. Entretanto, provocaram grandes decréscimos nos teores de açúcares, indicando que os “custos energéticos” para estes processos são elevados. É possível que estes custos estejam relacionados com a capacidade de resposta da cultura em termos de quilo de açúcar produzido por N absorvido.

Com a diminuição do pH, o molibdênio torna-se indisponível para a planta, e em casos de deficiência do nutriente a atividade da enzima redutase do nitrato em plantas não leguminosas foi reduzida em cerca de 26% e (XU; ZHAO, 2003). Dessa forma, o maior fornecimento do nitrogênio utilizando como fonte o cloreto de amônio pode ter promovido maior extrusão de íons H^+ pelas raízes das plantas e, conseqüentemente, ocasionado diminuição do pH da rizosfera e da disponibilidade de molibdênio. Tal comportamento foi observado por Primavesi et al. (2005), com o capim-Coastcross.

Como o molibdênio é um elemento estrutural das enzimas redutase do nitrato e nitrogenase, responsáveis pela assimilação do nitrato e pela fixação biológica, respectivamente; deduz-se que a nutrição com nitrogênio depende entre outros aspectos, da disponibilidade do micronutriente no solo. Cazzeta e Villela (2004) observaram que a aplicação de 20 kg ha^{-1} de molibdênio como H_2MoO_4 incrementou o desenvolvimento do capim *Brachiaria radicans* Napper e a atividade da enzima redutase do nitrato.

Pelo exposto, pode-se inferir que a questão da resposta ou não da cana-de-açúcar ao N-fertilizante aplicado, assim como do seu efeito residual no solo, deve envolver, dentre outros fatores, mecanismos de controles genético-fisiológicos assim como influencias do meio. Quanto à interação positiva entre a produtividade final e a atividade da enzimática da redutase do nitrato, com base nos resultados deste trabalho aliado aos relatados na literatura, pode-se inferir, finalmente, que os dados disponíveis ainda são insuficientes para responder a questão.

5 CONCLUSÕES

1. O cloreto de amônio como adubo nitrogenado no ciclo de segunda rebrota de cana-de-açúcar apresentou a mesma eficiência agronômica e viabilidade econômica das fontes nitrogenadas tradicionalmente utilizadas pelo setor canavieiro, não apresentando retorno econômico a partir da dose de 120 kg ha^{-1} de N, considerado os preços de ATR, custos de CCT e do adubo de abril de 2009.

2. A substituição de fontes de nitrogênio por cloreto de amônio na segunda rebrota de cana-de-açúcar, não interferiu na qualidade e valorização da matéria-prima para a agroindústria.

3. A adubação nitrogenada no ciclo agrícola da segunda rebrota de cana-de-açúcar promoveu efeito positivo nas concentrações foliares de P, Mg e S nas folhas-diagnóstico (folha +1).

4. O sulfato de amônio apresentou maior eficiência agronômica para o N-residual (terceira soca), resultando em aumento na produção de colmos e açúcar por área.

5. O aumento das doses de N na forma de cloreto de amônio na segunda rebrota de cana-de-açúcar resultou em decréscimo de produtividade de colmos e açúcar no ciclo subseqüente (terceira rebrota).

6. O N-residual independente da fonte nitrogenada não interferiu nos atributos tecnológicos dos colmos, resultando em redução de açúcar por área apenas em função da redução na produtividade de colmos.

7. A atividade da RNO_3 nas folhas sofreu influência do N-residual, não refletindo, diretamente, na produtividade de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D.; MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar**, Piracicaba, v. 67, p. 23-25, 1993.

ALLEN, R.G.; PERIERA, L.S.; RAES. D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEGRE, A.; SILVESTRE, J.; MORARD, P.; KALLERHOFF, J.; PINELLI, E. Nitrate reductase regulation in tomato roots by exogenous nitrate: a possible role in tolerance to longterm root anoxia. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2625-2634, 2004.

ALVES, R. E. Melão Pós–colheita. Frutas do Brasil. Fortaleza: **EMBRAPA/CNPAT**. 43p. 2000.

ANDA, ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Principais indicadores do setor de fertilizantes http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx. Acesso em: 26 jan. 2009.

ANDRADE, S.R.M. **Efeito da proporção NH_4^+/NO_3^- na composição da fração nitrogenada e na atividade das enzimas de redução e assimilação de nitrogênio em plantas de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq).** 1994. 49 p. Dissertação (M. S.) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

ANJOS, I.A. **Avaliação do potencial forrageiro e industrial de variedades de cana-de-açúcar (cana soca), sob diferentes doses de nitrogênio**. (Dissertação – Mestrado em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras 1995, 59 p..

ACKERSON, R.C.; KRIEG, D.R.; HARING, C.L.; CHANG, N. Effects of plant water status on stomatal activity, photosynthesis and nitrate reductase activity of field grown cotton. **Crop Science**, Madison, v. 17, p. 81-84, 1977.

ASHRAF, M.Y.; ALVI, A.K.; SARWAR, G.; QURESHI, M.S.; ASHRAF, M.; HUSSAIN, M. Effect of ammonium chloride on the growth and nutrient uptake by cotton grown in alkaline soil. **Agrochimica**, Paquistão, v. 49, n. 3/4, p. 153-164,. 2005.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29)

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

BANDURSKA, H. Effect of proline on nitrate reductase activity in water-stressed barley leaves. **Acta Physiologiae Plantarum,** Polônia, v. 13, p. 3-11, 1991.

BAR-TAL, A.; FEIGENBAUM, S.; SPARKS, D.L. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. **Irrigation Science**, New York, v. 12, p. 27-35, 1991.

BARATI, V.; EMAM. Y.; MAFTOUN, M. Responses of two lowland: rice cultivars to the different sources and levels of nitrogen. **Agrochimica**, Iran., v. 50, n. 3/4, p. 158-164, 2006.

BARNES, A.; HOLE, C.C. A theoretical basis of growth and maintenance respiration. **Annals of Botany,** London, v. 12, p. 1217-221, 1978.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênesis, 1999. p. 1 – 26.

BEEVERS, L.; SHRADER, L.E.; FLISCHER, D.; HAGEMAN, R.H. The role of light and nitrate in the induction of nitrate reductase in radish cotyledons and maize seedings. **Plant Physiology**. Rockville. v. 40, p. 691-698, 1969.

BERDING, N.; HURNEY, A.P.; SALTER, B.; BONNETT, G.D. Agronomic impact of sucker development in sugarcane under different environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 203-217, 2005.

BETHKE, P.C.; DREW, M.C. Stomatal and non-stomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. **Plant Physiology**, Rockville, v.99, n.1, p.219–226, 1992.

BLAIR, G.J.; MAMARIL, C.P.; MILLER, M.H. Influence of nitrogen source on phosphorus uptake by corn from soils differing in pH. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 235-238, 1971.

BLOOM, A.J.; SUKRAPANNA, S.S.; WARNER, R.L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. **Plant Physiology**. Rockville, v. 99, p. 1294-1301, 1992.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço 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.

BOLTON, J.K.; BROWN, R.H. Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. V. Response of Panicum maximum. Panicum milioides and tallfescue (Festuca arundinacea) to nitrogen nutrition. Plant Physiology, Bethesda, v. 66, p. 97-100, 1980.

BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 647p.

BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties.** Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of American,1965. , p.1191-1206,

BRITO, A.S. **Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-deaçúcar.** 2006. 82 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço 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.

CANTARELLA, H. Adubação nitrogenada em sistema de cana crua. **STAB. Açúcar. Álcool e Subprodutos**, cidade, v. 16, n. 4. p, 21-22, 1998.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: _____**Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. cap.19, p. 270-276.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007. Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: IPNI, 2007. p. 355-392,

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 sem queima prévia. **STAB. Açúcar. Ácool e subprodutos**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 25, 1999.

CARNAÚBA, B. A. A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos,** Piracicaba, v. 8, n. ¾, p. 24-41, 1990.

CARNEIRO, P.T.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.*;* SOARES, F.A.L. Germination and initial growth of precocious dwarf cashew genotypes under saline conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.6, n.2, p.199-206, 2002.

CARVALHO, G.L.; ANDRADE, L.A.B.; ANJOS, I.A.; FIGUEIREDO, P.A.M. Efeitos de restos culturais da colheita, com e sem queima prévia, na rebrota e rendimentos de soqueiras de cana-de- açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 27, 1996.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991. 157p.

CASSMAN, K.G.; MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture. temperature and depth. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, n. 6, p. 1233-1237, 1980.

CASTRO, P.R.C.; CHRISTOFFOLETTI, P.J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A.F. (Ed.). **Cigarrinha da cana-de-açúcar**: controle biológico. Maceió: INSECTA, 2005. p. 3-48.

CAZZETA, J.O.; VILLELA, L.C.V. Nitrate reductase activity in leaves and stems of tanner grass (*Brachiaria radicans* Napper). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 640-648, 2004.

CERRI, C.A. Dynamique de la matiere organique du sol aprés défrichement et mise em culture. Utilisation du traçage isotopique naturel em 13C. **CAHIERS . ORSTOM**, cidade, v. 24, p. 335-336, 1988.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. 2004. 307p.

CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B. C.; SAFFIGNA, P.G.N cycling in cane fields from 15N labelled trash and residual fertiliser. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. 14., 1992. Brisbane. **Proceedings…,** Brisbane:Watson Ferguson, 1992. p. 84-89.

CLARKE, S.M.; EATON-RYE, J.J. Amino acid deletions in loop C of the chlorophyll a-binding protein CP47 alter the chloride requirement and/or prevent the assembly of photosystem II. **Plant Molecular Biology**, New York, v. 44, p. 591-601, 2000.

CLEMENTS, H.F.; MARTIN, S.P.; MORIGUCHI, S. Composition of sugar cane plants grow in deficiency nutrient solution. **Hawaiian Planters' Record**, Honolulu, n. 45, p. 227-239, 1941.

COELHO, A.M. Efeito de níveis de N-uréia na dinâmica de amônio e nitrato em latossolo cultivado com milho irrigado. In: Congresso Nacional de la Ciencia del Solo, 7., 1995,Temuco. **VII CONACISU**: [Resumen]...Temuco: Universidad de la Fontera: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1995. p. 6.

COELHO, A.M.; RIBEIRO, B.N.; RESENDE, F.A.; TEIXEIRA, Z.K. **Eficiência agronômica do cloreto de amônio e do bicarbonato de amônio como fontes de nitrogênio para a cultura do milho**., 6 p., 2006. (Comunicado Técnico EMBRAPA, n.136)

COLLAMER, D. J..; GEARHART, M.; MONESMITH, F. L. **Sulfato De Amônio** 2007. p. 7-8, **(**Informações Agronômicas, 120)

COOPERATIVA DOS PLANTADORES DE CANA (COPLANA). Região Centro-Sul moerá 16% a mais de CANA NA SAFRA 2008/2009. Disponível em: http://www.coplana.com/gxpfiles/ws001/design/RevistaCoplana/2008/maio/pag05.pdf . Acesso em: 29 Jan. 2009.

COSTA, M.C.G. Eficiência de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo. Dissertação (Mestrado na área de...) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo,Piracicaba, 2001, 79 p.

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

COURTAILLAC, N.; BARAN, R.; OLIVER, R.; CASABIANCA, H.; GANRY, F. Efficiency of nitrogen fertilizer in sugarcane-vertical system in Guadeloupe according to growth and ratoon age of the cane. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. Amsterdam, v. 52, p. 9-17, 1998.

CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; SOARES FILHO, W. dos S.; CASTRO NETO, M.T.; COELHO, E.F.; DIAS, A.T.; PAES, R.A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do limoeiro 'Cravo' submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.528-531, 2003.

CHRISTIANSON, C.B.; CARMONA, G.; KLEIN, M.O.; HOWARD, R.G. Impact on ammonia volatilization losses of mixing KCl of high pH with urea. **Fertilizer Research**, Alabama, v. 40, n. 2, p. 89-92, 1995.

DAS, U. K. Nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant Physiology**, Califórnia, v. 5, n. 11, p. 251-317, 1936.

DELÚ-FILHO, D.N. OLIVEIRA, L. E. M. ; ALVES, J. D. Atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg): Otimização das condições de ensaio e ritmo circadiano. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 21, p. 329-336, 1998.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Tradução de H.R. Gheyi et al. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

ESPIRONELO, A.; COSTA, A.A.; LANDELL, M.G.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; IGUE, T.; CAMARGO, A. P. de; RAMOS, M.T.B. Adubação NK em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 1, p. 247-268, 1987.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas:** princípios e perspectivas. Trad. de E. Malavolta. São Paulo: EDUSP; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341 p.

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

FACRE, W. R. Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 120, p. 5-6, 2007.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. Disponível em: https://www.fao.org.br/. Acesso em 04 fev. 2009.

FARONI, C.E. **Eficiência agronômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar.** 2008. 191 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azucar**: técnicas agricolas y producciones tropicales. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.

FENN, L.B.; TATUM, G.; HORST, G. Ammonia losses from surface-placed mixtures of ureacalcium- potassium salts in the presence of phosphorus. **Fertilizer Research**, Texas, v. 21, n. 3, p. 125-131, 1990.

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

FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, p. 111-148, 1995.

FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; SILVA, M. A.; ZIMBACK, L.; ARÉVALO, R. A.; ROSSETO, R.; RAIJ, B. V.; SPIRONELLO, A. Cana-de-açúcar in: Boletim 200. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Boletim, IAC, n. 200, 6 ed., 396 p., 1998.

FLORES, H.E. Polyamines and plant stress. In: LASCHER, R.G.; CUMMING, J.R. Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. Wiley-liss, New York, 1990, p. 217- 239.

FNP CONSULTORIA & COMERCIO. **Agrianual 2009** anuário da agricultura brasileira. Álcool de segunda geração promete mudanças nas perspectivas do setor. São Paulo, 2009. p. 235-239,

FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32 – 36, 2007.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E. F.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008a.

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

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C.; VILLA NOVA, N. A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhiço remanescente de colheita mecânica. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 4, p. 24-27, 1997.

GAMEH, M.A.; ANGLE, J.S.; AXLEY, J.H. Effects of urea-potassium chloride and nitrogen transformations on ammonia volatilization from urea. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 6, p.1768-1772, 1990.

GASCHO, G.J.; SHIH, S F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.). Crop-water relations. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

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 na área de Energia Nuclear da Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 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. Balanço do nitrogênio da uréia (^{15}N) e da palhada (^{15}N) no sistema solo-cana-de-açúcar (cana soca). In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TECNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Resumos....** Olinda: STAB. 2002, p. 245-251.

GAVA, G.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 do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 621-230, 2003.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South África. **Soil Biology & Biochemistry,** Oxford, v. 34, p. 93-102, 2002.

HARLING, H.; CZAJA, L.SCHELL, J.; WALDEN, R. A plant cation-chloride co-transporter promoting auxin-independent tobacco protoplast division, **EMBO**, New York, v. 16, p. 5855-5866, 1997.

HOPKINS, G.W. **Introduction to plant physiology**, New York: John Wiley , 1999, 512 p.

HOLTAN-HARTWING, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norwegian, suppl, v. 14, p. 1-41, 1994.

HUFFAKER, R.C.; RADIN, T.; KLEINKOPF, G.E.; COX, E.L. Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of carboxylative phase of photosynthesis in barley. **Crop Science**, Madison, v. 10, p. 471-474, 1970.

IAA/PLANALSUCAR**. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba, 1983, v. 2, 369 p.

IGUE, K.; PAVAN, M.A. Uso eficiente de adubos orgânicos In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais ...** Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 383-418.

INMAN-BAMBER, N.G.; MCGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research,** Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

JANZEN, H.H.; KUCEY, R.M.N. C. N and mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. **Plant and Soil**, Dordrecht. v. 106, p. 35-41, 1988.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, New York, v. 34, p. 197-224, 1981.

JESCHKE, W.D.;ASLAM, Z.;GREENWAY, H. Effects of NaCl on ion relations and carbohydrate status of roots and on osmotic regulation of roots and shoots of *Atriplex amnicola*. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.9, n.7, p.559–569, 1986.

KAISER, W. M.; HUBER, S. C. Post-translational regulation of nitrate reductase in higher plants. **Plant Physiology**. Rockville, v. 106, p. 817–827, 1994.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I: development and performace of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 27-36, 1999.

KILLHAM, K. **Soil ecology.** Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 242 p.

KORNDÖRFER, G.H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da canade- açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, n. 3, p. 26-31, 1992.

KORNDÖRFER, G.H.; VALLE, M.R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana-planta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21. p. 23- 26, 1997.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; CHIMELLO, M. A.; LEONI, P.L.C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL., 8., 2002, Recife.**Anais...**Piracicaba: STAB, 2002. p. 234-238

LANDELL, M.G.A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A.C.M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, M.A.; XAVIER, M.A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba , v. 60, p. 741-745, 2003.

LARA CABEZAS, W.A.R.; YAMADA, T. Uréia aplicada na superfície do solo: um péssimo negócio! **Informações Agronômicas,cidade,** n. 86, p. 9-10, 1999.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MORENO, O.G. Volatilização de amônia de fontes nitrogenadas aplicadas em diferentes condições de umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 22. 1989. Recife. **Resumos...** Campinas: SBCS, 1989. p. 165.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531 p.

LAVRES JUNIOR, J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim–Mombaça.** 2001. 103 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.

LEA, P.J. Primary nitrogen metabolism. In: DAY, P.M.; HARBORN, J.B. (Ed.). **Plant Biochemistry**, New York: Academic Press, v. 7, p. 273-313, 1997.

LEA, P. J.; HUGHES, J. S.; MIFLIN, B. J. Glutamine and asparagine dependent protein synthesis in maturing legume cotyledons cultured in vitro. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 30, p. 529-537, 1979.

LEE, H.J.; TITUS, J.S. Factors affecting the ***in vivo*** nitrate reductase assay from MM106 apple trees. **Communications of Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, p. 981-991, 1992.

LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 41, p. 181-201, 1984.

LI, X. Z.; OAKS, A. Induction and turnover of nitrate reductase in *Zea mays*. Influence of NO_3^-. **Plant Physiology,** Rockville, v. 102, p. 1251–1257, 1993.

LIU, D. L.; KINGSTON, G.; BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phonological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 90, p. 119-139, 1999.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.L.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.17, p.1323-1329, 1982.

MALAVOLTA, E. Matéria orgânica. In: ___. **Manual de Química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo.** São Paulo: Crês, 1976. p. 177-256.

MALAVOLTA, E. **Nutrient and fertilizer management in sugarcane**. Basel: International Potash Institute, 1994. 104 p.

_____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007, cap. 6, p. 189-249.

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**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, 1986, 674 p.

MAULE, R.F.; MAZZA, A.J.; MARTHAR JÚNIOR, G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MEGURO, N.E.; MAGALHÃES, A.C. Atividade da redutase de nitrato em cultivares de café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, p. 249-257, 1982.

MELLO JUNIOR, A. V.; COELHO, A. M.; ALBUQUERQUE, P. E. Níveis de água e nitrogênio na movimentação e recuperação do N em latossolo cultivado com trigo. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21., 1994, Petrolina. **Anais**... Petrolina: SBCS: EMBRAPACPATSA, 1994. p. 275-277.

MESQUITA, L. A. V**.** Nitrato de amônio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 120, p. 6-7, dez. 2007.

MIFLIN, B.J.. LEA, P.J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, New York, v. 15, p. 873-885, 1976.

MORILLA, C.; BOYER, J.S.; HAGEMAN, R.H. Nitrate reductase activity and polyribosomal content of corn having low leaf water potential. **Plant Physiology**, Illinois, v. 51, p. 817-824, 1973.

MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.da; SILVA, V.T. da; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; SILVA, J.V.T. da. Acúmulo e Alocação de fósforo pelas variedades RB72454, SP81-3250 e RB83594, no ciclo de cana soca, sob gotejamento subsuperficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

MULDER, E.G.; BOXMA, R.; van VENN, W.L. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissue. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 10, p. 335-355, 1969.

MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J.(Ed..). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce Publications, 1994. p. 81-112.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Biological immobilization of fertilizer nitrogen in humid tropical soils of Mauritius. **Soil Science**, Baltimore, v. 141, p. 195-199, 1986.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**. Dordrecht, v. 102, p. 79-93, 1987.

NORMAN, R. J.; WILSON JR, C. E.; STATON, N. A. Soil fertilization and mineral nutrition in U.S, mechanized rice culture. In: SMITH, C. W.; DILDAY, R. H. (Ed..). Rice: origin. History, Technology, and production. Hoboken, New Jersey: John Wiley., 2002. p. 331-411.

NOVOA, R.; LOOMIS, R.S. Nitrogen and plant production. **Plant and Soil,** The Hague, v. 58, p. 177-204, 1981.

OLIVEIRA, F. A.; BERNARDI, A. C. C.; BITTENCOURT, V. C.; CAMARGO CARMELLO, Q. A. Adubação de soqueira de cana-de-açúcar com soluções de

carbonato/ bicarbonato de amônio em misturas com sais de potássio e de fósforo. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1027-1033, 1999a.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J. de C.; PENATTI, C.P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.

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

OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; VITTI, A.C.; BENDASSOLLI, J.A.; TRIVELIN, P.C.O. Volatilização de amônia proveniente da uréia (15N) aplicada em solo cultivado com cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE PÓSGRADUANDOS DO CENA – USP, 3., Piracicaba, 1997. **Anais.**.. Piracicaba, CENA, 1997. p. 28.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H. P.; ZAMBELLO JR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar varidade CB41-76, em função da idade em solos do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 1-128, fev.1980.

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

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada.** 2007, 116 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

PAES, J. M.V.; MARCIANO, N.; BRITO, C.H. de; CARDOSO, A.A.; MARTINEZ, H.H.P.; MENDES, A. Estudo de espaçamentos e doses de nitrogênio na produção e em algumas características biométricas de três variedades de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 6, p. 18-20, 1997.

PENATTI, C.P.; FORTI, J.A. Adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar. Resultados preliminares. In: SEMINÁRO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., 1994. Piracicaba, SP. **Anais...**Piracicaba: COPERSUCAR. 1994. p. 99-104.

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. 129-135, 2006.

PRIMAVESI, A.A.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 247-253, 2005.

PURCINO, A. A. C.; MAGNAVACA, R.; MACHADO, A. T.; MARRIEL, I. E. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, cidade., v. 6, n. 1, p. 41-46, 1994.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Fundação IAC, 1997. cap. 22, p. 233-243. (IAC. Boletim, 100).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1996. p. 237- 239. (IAC. Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; BAYER, C.; ARGENTA, G.; STRIEDER, L. M.; SILVA, A.A. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 31, p. 731-738, 2007.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science,** Berlin, v. 185, p. 249-258, 2000.

RAPPAPORT, B.D.; AXLEY, J.H. Potassium chloride for improved urea fertilizer efficiency. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 399-401, 1984.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 49, p.104-108, 1987.

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

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSSIELLO, R.O.P. **Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. cv. NA56-79) em resposta à adubação nitrogenada em Cambissolo**. 1987. 172 p. (Doutorado na área de Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba,1987.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUSA, A. M. G.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e agrotecnologia,** Lavras, v. 31, n. 5, p. 1470-1476, 2007.

SAS INSTITUTE CORPORATION. Propriety software release 6.11. **Cary**, 1996.

SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In. ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Álcool, 1983. cap 4, p. 77-99.

SILVA, A.J.N.;RIBEIRO, M.R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 291-299, 1998.

SILVA, V. M.; TRIVELIN, P. C. O.; COLAÇO, W.; ENCARNAÇÃO, F. A. F.; RUBEN, W. A.; CABEZAS, L. Mineralização e volatilização do nitrogênio da vinhaça-^{15}n na presença ou não de uréia e de palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba v. 56, n. 1, 1999.

SILVEIRA, J.A.G. da. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cultivada em condições de campo.** 1985. 152 p. (Doutorado na área de Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba,1985.

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

SILVEIRA, J.A.G. da; CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspoects of sugarcane (*Saccharum* spp;) I. Effect of NO_3 nitrogen concentration on the metabolism of sugars and nitrogen. **Energia Nuclear na Agricultura***,* Piracicaba, v. 3, p. 19-33, 1981.

SIMÕES, M.S.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Growth indices and productivity in sugarcane. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v. 62, n. 1, p. 23-30, 2005.

SINHA, S.K.; NICHOLAS, D.J.D. Nitrate Reductase. In: PALEG, L.G.; ASPINALL, D. (Ed.) **The physiology and biochemistry of drought resistance in plants**. New York: Academic Press, 1981. p.145-168.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988. 236 p.

SOARES, F.A.L.; GHEYI, H.R.; VIANA; S.B.A.; UYEDA, C.A.; FERNANDES, P.D. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.3, p. 491-497, 2002.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrógeno. In: SOUZA, D.M.G.; LOBATO, L (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, , 2002. p. 129-145.

SRIVASTAVA, H.S. Regulation of nitrate reductase activity in higher plants. **Phytochemistry,** New York, v. 19, p. 725-733, 1990.

STRONG, D. T.; SALE, P. W. G.; HELYAR, K. R. Initial soil pH affects the pH at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 35, n. 3, p. 565-570, 1997.

STEWART, G.R.; SCHMIDT, S. Evolution and ecology of plant mineral nutrition. In: M.C. Press, J.D. Scholes e M.G. Barker (Ed.). **Physiological plant ecology**. Oxford: Blackwell Science, 1998. p. 91-113.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Tradução de R.E. Santarém. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAKASHI, D. Nitrate in sugarcane. In: HAWAIIAN SUGAR PLANTER'S ASSOCIATION. **Annul Report***.* Hawaii, 1965. 34 p.

TEARE, I.D.; MANAM, R.; KANEMASU, E.T. Diurnal and seasonal trends in nitrate reductase activity in field grown plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, p. 733-736, 1974.

TEIXEIRA, N.T. **Comportamento do nitrogênio "solúvel" em cana-de-soca em condições de campo e em variedade de cana- de-açúcar cultivadas em solução nutritiva**. 1980. 83 p. (Doutorado na área de Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba,1980.

TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant, Cell and Environment**, Alemanha, v. 23, p. 1005-1024, 2000.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil and fertilizer nitrogen. In:_____ **Soil Fertility and Fertilizer.** New York: Macmillan Publishing, 1985. p. 112-188.

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

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, 2002.

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

TRIVELIN, P.C.O.; STEFANUTTI, R.; LIMA FILHO, O.F.; TZIBOY, E.A.T.; OLIVEIRA, J.A.; BENDASSOLLI, J.A. Volatilização de amônia do solo associada à aplicação superficial de solução nitrogenada com uréia e nitrato de amônio In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996. Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: SLACS, 1996. (1 CD-ROM)

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L; RODRIGUÊS, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-^{15}N e uréia-^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; COLETI, J.T.; LARA CABEZAS, W.A.R. Efeito residual na soqueira de cana-de-açúcar do nitrogênio da uréia aplicada por via foliar na cana-planta. In: SEMINÁRIO SOBRE TÉCNICAS NUCLEARES NA PRODUÇÃO DE PLANTAS AGRÍCOLAS. 1984. Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: CENA, 1984, p. 119-124.

UDOP, ASSOCIAÇÃO PROFISSIONAL DA INDÚSTRIA DA FABRICAÇÃO DE ÁLCOOL. AÇÚCAR, SIMILARES E CONEXOS. Características mais marcantes das principais variedades de cana da região Centro-Sul. Disponível em: http://www.udop.com.br/index.php?item=caracteristicas. Acesso em: 22 jan. 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Safra 2008/09 de cana da região Centro-Sul chega perto de meio bilhão de toneladas. Disponível em: http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7BC484D1B2-0D1A-40DF-AB77-BF3189916CA4%7D. Acesso em: 03 fev. 2009.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D.H.V. **Importância de não queimar a palha de cana-de-açúcar**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1991. 12 p. (Comunicado Técnico, 5).

VALLIS, I.; CATCHPOOLE, V.R.; HUGHES, R.M.; MYERS, R.J.K.; RIDGE, D.R.; WEIER, K.L. Recovery in plants and soil of 15N applied as subsurface bands of urea to sugarcane. **Australian Journal of Agricultural Research**. Melbourne, v. 47, p. 355-370, 1996.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita:** crua mecanizada e queimada manual, 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

VENKATESAN, S.; GANAPATHY, M.N.K. Nitrate reductase activity in tea as influenced by various levels of nitrogen and potassium fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, v. 35, p. 1283-1291, 2004.

VICTORIA, R.L., PICCOLO, M.C., VARGAS, A.A.T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S.M., NEVES, M.C.P. (Coords.). **Microbiologia do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

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, p. 491-498, 2007.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.. PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J.F. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007a.

VITTI, G. C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal: FUNEP, 1989. 37 p.

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

VITTI, G.C.; TAVARES, 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, M.G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, p. 746- 749, 1959.

VOSE, P.B. Plant nutrition relationships at the wholeplant level. In: BALIGAR, V.C. ; DUNCAN, R.R. (Ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic Press. 1990. p. 65-80.

WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agricultural Water Management.** Elsevier, v. 43 p. 173-182, 2000.

WILLCOX, T. Prosepine growers develop new fertilizers applicators. **BSES Bulletin**, Austrália, v. 29, n. 32, p. 20-21, 1990.

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

YADAV, D.V.; TODI, S.; SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N for higher cane yield. **Biological Wastes**, Barking, v. 20, p. 133-141, 1987.

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.21, n.7, p. 1439-1451, 1998.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Como melhorar a eficiência da dubação nitrogenada do milho? **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 91, 16 p., 2000.

XU, Y.C.; ZHAO, B.L. The main origin of endogenous NO in higher non-leguminous plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.41, p. 833-838, 2003.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANFO FILHO, J. A. Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 526, 1981.

ZULLO, J.J.; ARRUDA, F.B. **Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 31 p. (IAC. Boletim Técnico, 113).

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

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