

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

RAUL HENRIQUE SARTORI

**Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar
(primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista
(sem queima)**

**Piracicaba
2010**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

RAUL HENRIQUE SARTORI

**Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar
(primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista
(sem queima)**

**Tese apresentada ao Centro de Energia
Nuclear na Agricultura da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Doutor
em Ciências**

**Área de concentração: Energia Nuclear na
Agricultura e no Ambiente**

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze
Trivelin**

**Piracicaba
2010**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Sartori, Raul Henrique

Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima) / Raul Henrique Sartori; orientador Paulo Cesar Ocheuze Trivelin. - - Piracicaba, 2010.

112 p.: fig.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Fertilizantes nitrogenados 2. Fertilizantes sulfatados 3. Isótopos estáveis 4. Nutrição vegetal 5. Práticas culturais (Fitotecnia) I. Título

CDU 631.811:633.61

Aos meus queridos pais ***Odair Sartori*** e ***Solange Aparecida Gry Sartori***, por não terem medido esforços para que eu progredisse em meus estudos, pelo amor, incentivo e compreensão nesses anos de vida. Aos meus irmãos ***Ronan*** e ***Rafaela*** pelo companheirismo e apoio em todos os momentos.

DEDICO

A razão de meu viver, minha filha ***Laura Carolina***
e minha amada esposa ***Taís Carolina***,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre ao meu lado e permitir a concretização desta etapa.

Ao Professor e amigo Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pela confiança, ensinamentos, orientação e pela amizade nestes anos de convívio.

Aos meus pais, Odair e Solange, pelo apoio incondicional e incentivo e a minha esposa pelo amor e companheirismo, e por me iluminar com a vinda de nossa filha “Laura Carolina Franqueira Sartori”, eu vos amo muito.

Aos meus avôs e avós, tios e tias, pelos momentos de confraternização e apoio.

Ao Professor Dr. José Albertino Bendassolli pela colaboração, amizade e pelos ensinamentos.

Ao Professor Dr. Takashi Muraoka e aos Pesquisadores Dr. André Cesar Vitti e Dr. Glauber José de Castro Gava, pelas sugestões no exame de qualificação.

Ao CENA/USP, em especial ao Laboratório de Isótopos Estáveis, pelo suporte técnico, laboratorial e pessoal.

Ao Professor Dr. Antonio Enedi Boaretto pelos ensinamentos e amizade.

Ao químico Hugo Batagello e aos estagiários Rafael Toloti Schiavuzzo (*in memoriam*) e Cintia Bonassi pelo auxílio e colaboração nas análises de enxofre.

Aos colegas de Pós-Graduação: André C. Vitti, Rafael Otto, Henrique C. J. Franco, Virgínia Damin, Emídio C. A. Oliveira, Eduardo Mariano, Michele X. Vieira, Caio Fortes, Carlos E. Faroni pela amizade, valiosos auxílios e agradável convívio.

Aos estagiários: Caroline Lopes, Matheus Olivetti Trivelin, João Gabriel Tovajar, Rafael Toloti Schiavuzzo (*in memoriam*), Viviane C. Martins, Danilo Alves Ferreira, Cintia Bonassi sem os quais grande parte do que será apresentado não seria possível.

À equipe do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP): Professores José Albertino Bendassolli, Jefferson Mortatti e Helder de Oliveira; e aos funcionários Clélber, Hugo, Miguel, José Bonassi, Magda, Bento, Juliana e Glauco pelo auxílio constante e prazeroso convívio.

Aos amigos da Pós-Graduação Carlos Sant'Ana Filho, Alexandre, João Paulo, Diego, Renato, Felipe, Ademir, Carlos, Marcio, Milton, José Lavres, Denis, Víncius, Hector, Freddy, Robinho, Anderson, Zaqueu, Edson, Tatiana, Fernanda, pela amizade e convívio.

Aos amigos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul de Minas Gerais, Campus Muzambinho pelos momentos de descontração, apoio e amizade.

À FAPESP (Processo Nº. 2007/04670-0) pela concessão da bolsa de estudos de outubro de 2007 a dezembro de 2008.

À Usina Santa Adélia (USA) por ceder a área para a pesquisa e pelo apoio logístico na realização deste trabalho.

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

A Honeywell (SN-Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio) pelo suporte financeiro.

Aos funcionários da Biblioteca do CENA/USP, Marília, Raquel, Renata e Celsinho.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação do CENA/USP, Neuda, Sonia, Alzira, Claudia e Fabio pelo cordial atendimento e amizade.

A todos aqueles que embora não citados participaram de mais essa etapa da minha vida.

MUITO OBRIGADO.

"Sonhe com o que você quiser. Vá para onde você queira ir. Seja o que você quiser, porque você possui apenas uma vida e nela só temos uma chance de fazer aquilo que queremos. Tenha felicidade bastante para fazê-la doce. Dificuldades para fazê-la forte. Tristeza para fazê-la humana. E esperança suficiente para fazê-la feliz."

Clarice Lispector

RESUMO

SARTORI, R. H. **Eficiência de uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima)**. 2010. 112 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

O trabalho teve por objetivos avaliar as respostas de uma primeira soqueira de cana-de-açúcar à fertilização com nitrogênio e enxofre, relacionadas com dose de N aplicada no plantio da cultura, e o efeito dessas combinações de N e S na produtividade da soqueira subsequente (efeito residual); avaliar o uso e a redistribuição do N e S em primeira e segunda soca, utilizando-se os isótopos estáveis ^{15}N e ^{34}S . O experimento foi instalado em campo, em área comercial, com o cultivar SP81 3250, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd) de textura média. O delineamento experimental no ciclo agrícola de cana-planta foi de blocos casualizados, com quatro repetições, tendo sido estabelecido os seguintes tratamentos: testemunha (sem adubação nitrogenada) e a dose de N de 80 kg ha⁻¹ com a fonte uréia (U). Na primeira soqueira, as parcelas da cana-planta foram subdivididas em quatro subparcelas, que receberam cada uma as doses de sulfato de amônio (SA): 236, 471 e 707 kg ha⁻¹, além da testemunha sem aplicação de SA. As doses de SA correspondem a 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N e 57, 114 e 171 kg ha⁻¹ de S respectivamente. No ciclo de primeira soca, nos tratamentos com 236 e 471 kg ha⁻¹ de SA, foram instaladas microparcelas com aplicação de sulfato de amônio enriquecido em 2,96 e 2,15% átomos de ^{15}N e 8,0 e 10,5% átomos de ^{34}S respectivamente. Nessas microparcelas foi estimada a contribuição do N e S do fertilizante no acúmulo total de N e S pela cana-de-açúcar ao longo do ciclo de primeira soca. A colheita da primeira soca deu-se 12 meses após o corte da cana-planta. No ciclo agrícola de segunda soca (SC) foi mantida a adubação nitrogenada com a aplicação de nitrato de amônio nas doses de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N, nos tratamentos correspondentes às doses de N, permanecendo a testemunha sem fertilização com N, sendo conservadas as microparcelas, nas quais também foi estimada a contribuição do N- e do S-fertilizante no acúmulo total de N e S pela cana-de-açúcar, ao final desse ciclo. Para a primeira soca foram avaliadas: a produtividade de colmos por hectare (TCH), os atributos tecnológicos, a fitomassa da parte aérea, a utilização do $^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$ do SA e o efeito dos tratamentos de cana-planta na utilização de nitrogênio e enxofre pela primeira soca. No terceiro corte (segunda soca) foram avaliadas: a produtividade de colmos por hectare (TCH), os atributos tecnológicos e o efeito residual do $^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$ do SA. As maiores porcentagem de N e S provenientes do SA foram verificadas nos estádios iniciais de crescimento da cultura, com decréscimos na colheita. A fertilização nitrogenada de plantio proporcionou aumento na produção de colmos da primeira soca. A recuperação (kg ha⁻¹) do N e S do fertilizante aumentou com a dose de SA, porém a eficiência de utilização foi a mesma. O aproveitamento avaliado na parte aérea da cana-de-açúcar foi de 37 kg ha⁻¹ (50%) para N-fertilizante e 2,6 kg ha⁻¹ (3%) para o S-fertilizante. Do N e S fertilizante aplicado na primeira soca a segunda soca aproveitou em média 3,8 kg ha⁻¹ (5%) e 1,2 kg ha⁻¹ (1,4%) respectivamente.

Palavras-chave: Nutrição vegetal. Isótopos estáveis. *Saccharum spp.* Macronutrientes.

ABSTRACT

SARTORI, R. H. **Efficiency of the use of nitrogen and sulfur by sugar cane (first and second ratoon) in a conservationist system (without burning)**. 2010. 112 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

The objectives of this study were to evaluate the responses of a first ratoon of sugar cane to fertilization with nitrogen and sulfur related to the dose of N applied at planting of the crop and the effect of these combinations of N and S on the productivity of the subsequent ratoon (residual effect); and evaluate the use and redistribution of N and S in the first and second ratoon, using the stable isotopes ^{15}N and ^{34}S . The experiment was installed in the field in a commercial area with the cultivar SP81 3250, in a Arenic Kandiuults of medium texture. The experimental design in the cane-plant agricultural cycle was randomized blocks, with four replications, with the following treatments having been established: control (without nitrogen fertilization) and the N dose of 80 kg ha^{-1} from urea (U). In the first ratoon, the cane-plant plots were subdivided into four subplots, with each one receiving doses of ammonium sulfate (SA): 236, 471 and 707 kg ha^{-1} , as well as the control without application of SA. The doses of SA correspond to 50, 100 and 150 kg ha^{-1} of N and 57, 114 and 171 kg ha^{-1} of S respectively. In the first ratoon cycle, in the treatments with 236 and 471 kg ha^{-1} of SA, microplots were installed with the application of enriched ammonium sulfate with 2.96 and 2.15% atoms of ^{15}N and 8.0 and 10.5% atoms of ^{34}S respectively. In these microplots, the contribution of the N and S of the fertilizer in the total accumulation of N and S by the sugar cane throughout the first ratoon cycle was estimated. Harvest of the first ratoon occurred 12 months after the cutting of the cane-plant. In the second ratoon (SC) agricultural cycle, nitrogen fertilization was maintained with the application of ammonium nitrate at the doses of 50, 100 and 150 kg ha^{-1} of N, in the treatments corresponding to the doses of N, with the control remaining without fertilization with N, and the microplots preserved in which the contribution of the N fertilizer and of the S fertilizer in the total accumulation of N and S by the sugar cane at the end of this cycle was also estimated. For the first ratoon, the following were evaluated: stalk productivity per hectare (TCH), the technological attributes, the dry matter of the above ground part, the use of the $^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$ of the SA and the effect of the cane-plant treatments on the use of nitrogen and sulfur by the first ratoon. In the third cutting (second ratoon), the following were evaluated: stalk productivity per hectare (TCH), the technological attributes and the residual effect of the $^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$ of the SA. The greatest percentages of N and S arising from the SA were verified in the initial growth stages of the crop, with decreases at harvest. The nitrogen fertilization at planting provided for an increase in stalk production of the first ratoon. The recovery (kg ha^{-1}) of the N and S of the fertilizer increased with the dose of SA; however, the use efficiency was the same. The utilization evaluated in the above ground part of the sugar cane was 37 kg ha^{-1} (50%) for N fertilizer and 2.6 kg ha^{-1} (3%) for the S fertilizer. Of the N and S fertilizer applied on the first ratoon and second ratoon, 3.8 kg ha^{-1} (5%) and 1.2 kg ha^{-1} (1.4%) was used respectively, on average.

Keywords: Plant nutrition. Stable isotopes. *Saccharum spp.* Macronutrients.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui da área experimental no ciclo de cana-planta 2005/2006	41
Figura 2 - Croqui da área experimental no ciclo de primeira soca 2006/2007	42
Figura 3 - Esquema de amostragem do sistema radicular com sonda no ciclo de primeira soca.....	46
Figura 4 - Espectrômetro de Massas 20-20 ANCA-SL, da Europa Scientific, Crewe, UK, do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP), Piracicaba, SP	48
Figura 5 - Espectrômetro de Massas Atlas Mat CH4 do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP), Piracicaba, SP.....	48
Figura 6 - Balanço hídrico climatológico no ciclo agrícola de primeira soca. ETP: evapotranspiração potencial da cultura; ETR: evapotranspiração real da cultura; DEF: deficiência hídrica do solo; EXC: excedente hídrico do solo; P: precipitação pluvial	53
Figura 7 - Contribuição do N proveniente do fertilizante sulfato de amônio (NPPF, %) e do N de outras fontes (N-outras fontes, %) no acúmulo de N-total (%) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	55
Figura 8 - Contribuição do S proveniente do fertilizante sulfato de amônio (SPPF, %) e do S de outras fontes (S-outras fontes, %) no acúmulo de S-total (%) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	56
Figura 9 - Acúmulo do N proveniente do fertilizante sulfato de amônio (NPPF, kg ha^{-1}) e do N de outras fontes (N-outras fontes, kg ha^{-1}) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	57
Figura 10 - Acúmulo do S proveniente do fertilizante sulfato de amônio (SPPF, kg ha^{-1}) e do S de outras fontes (S-outras fontes, kg ha^{-1}) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	58
Figura 11 - Teor de S nas folhas-diagnóstico (F+1), na época de máximo crescimento da primeira soca de cana-de-açúcar.....	74
Figura 12 - Teor de Mn nas folhas-diagnóstico (F+1), na época de máximo crescimento da primeira soca de cana-de-açúcar.....	75

Figura 13 - Balanço hídrico climatológico no ciclo agrícola de segunda soca. ETP: evapotranspiração potencial da cultura; ETR: evapotranspiração real da cultura; DEF: deficiência hídrica do solo; EXC: excedente hídrico do solo; P: precipitação pluvial80

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química de amostras de terra em quatro profundidades antes da instalação do experimento.....	36
Tabela 2 - Caracterização física de amostras de terra.....	36
Tabela 3 - Análise química de amostras de terra da área experimental, após a colheita da cana-planta	37
Tabela 4 - Análise química de amostras de terra da área experimental, após a colheita da primeira soca	38
Tabela 5 - Tratamentos do ciclo agrícola de cana-planta e primeira soca	40
Tabela 6 - N-total (kg ha^{-1}) na primeira soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2007 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	60
Tabela 7 - S-total (kg ha^{-1}) na primeira soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2007 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	61
Tabela 8 - Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	65
Tabela 9 - Enxofre na planta proveniente do fertilizante (SPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	66
Tabela 10 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do N da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	68
Tabela 11 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do S da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	69
Tabela 12 - Concentrações adequadas de macronutrientes e micronutrientes na folhas-diagnóstico (F+1) para os canaviais do Estado de São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1997) e concentrações macro e micronutrientes nas folhas-diagnóstico (F+1), na época de máximo crescimento da primeira soca de cana-de-açúcar	72

Tabela 13 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), umidade da fitomassa da parte aérea (PA), fitomassa seca (kg ha^{-1}) de colmos, folhas, ponteiros e parte aérea, da primeira soca de cana-de-açúcar.....	76
Tabela 14 - Qualidade tecnológica de colmos na colheita da primeira soca de cana-de-açúcar	78
Tabela 15 - N-total (kg ha^{-1}) na segunda soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2008 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	82
Tabela 16 - S-total (kg ha^{-1}) na segunda soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2008 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)	82
Tabela 17 - Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	85
Tabela 18 - Enxofre na planta proveniente do fertilizante (SPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	86
Tabela 19 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do N da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	87
Tabela 20 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do S da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média).....	89
Tabela 21 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), umidade da fitomassa da parte aérea, fitomassa seca (kg ha^{-1}) de colmos, folhas, ponteiros e parte aérea, da segunda soca de cana-de-açúcar	91
Tabela 22 - Qualidade tecnológica de colmos na colheita da segunda soca de cana-de-açúcar	92

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	DESENVOLVIMENTO	20
2.1.	Panorama do setor sucroenergético	20
2.2.	Nitrogênio e enxofre na agricultura	22
2.2.1.	Nitrogênio na agricultura	22
2.2.2.	Enxofre na agricultura	25
2.3.	Nitrogênio e enxofre na cana-de-açúcar	28
2.3.1.	Nitrogênio na cana-de-açúcar	28
2.3.2.	Enxofre na cana-de-açúcar	31
2.4.	Colheita da cana sem despalha a fogo	33
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1.	Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta	35
3.2.	Delineamento experimental e tratamentos	39
3.3.	Instalação e desenvolvimento do experimento	43
3.3.1.	Ciclo agrícola de cana-planta (2005/2006)	43
3.3.2.	Ciclo agrícola de primeira soca (2006/2007)	43
3.3.2.1.	Diagnose do estado nutricional	43
3.3.2.2.	%NPPF e %SPPF e acúmulo de fitomassa seca da parte aérea e raízes da cultura	44
3.3.2.3.	Amostragem de raízes	45
3.3.2.4.	Produtividade da cana-de-açúcar no ciclo de primeira soca	47
3.3.3.	Ciclo agrícola de segunda soca (2007/2008)	47
3.3.3.1.	Produtividade da cana-de-açúcar no ciclo de segunda soca	47
3.3.3.2.	%NPPF e %SPPF e acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cultura	47
3.4.	Determinação de abundância de ¹⁵ N e de ³⁴ S	47
3.5.	Análise tecnológica	49
3.6.	Balanço hídrico climatológico da cultura	49
3.7.	Forma de cálculo e análise dos resultados	50

3.7.1. Determinação do N e do S na planta proveniente do fertilizante pela técnica isotópica com ^{15}N e ^{34}S	50
3.8. Análises estatísticas dos resultados	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1. Ciclo agrícola de primeira soca	52
4.1.1. Balanço hídrico climatológico	52
4.1.2. N e S na planta proveniente do sulfato de amônio (NPPF e SPPF) no ciclo de primeira soca: estimativas por amostragens de folha +3 (F+3)	54
4.1.3. Extração de N e S pela cana-de-açúcar avaliada na colheita da primeira soca	60
4.1.4. NPPF (%), SPPF (%) e recuperação (kg ha^{-1} e %) de N e S do fertilizante na colheita da primeira soca da cana-de-açúcar	64
4.1.5. Diagnose foliar no ciclo de primeira soca	71
4.1.6. Produtividade e qualidade tecnológica de colmos na colheita da primeira soca de cana-de-açúcar	75
4.2. Ciclo agrícola de segunda soca	79
4.2.1. Balanço hídrico climatológico	79
4.2.2. Extração de N e S pela cana-de-açúcar avaliada na colheita da segunda soca	81
4.2.3. NPPF (%), SPPF (%) e recuperação (kg ha^{-1} e %) de N e S do fertilizante aplicado após o primeiro corte (primeira soca) na colheita da segunda soca da cana-de-açúcar (terceiro corte)	84
4.2.4. Produtividade e qualidade tecnológica de colmos na colheita da segunda soca de cana-de-açúcar	90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6 CONCLUSÕES	96
REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o setor sucroenergético tem grande importância econômica, social e ambiental, em função da quantidade de empregos que gera, da área plantada com cana-de-açúcar, da geração de matéria-prima para as agroindústrias do açúcar, etanol (“álcool”) e para a cogeração de energia, substituindo de maneira significativa o uso de energia não renovável, aspecto relevante quanto à questão de sustentabilidade ambiental, tendo em vista o benefício ambiental do uso de etanol (SILVEIRA, 1985; WOOD; MUCHOW; ROBERTSON, 1996).

A utilização do álcool combustível ou etanol hidratado ou sua adição (álcool anidro) a outros combustíveis, visando diminuir a carga poluidora, vêm contribuindo para que haja redução na utilização de combustíveis fósseis (responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera), e cerca de 2,3 Mg de CO₂ deixam de ser emitidas por tonelada de álcool combustível utilizado em lugar do combustível fóssil, sem considerar outras emissões, como o SO₂, reduzindo, assim, a emissão de gases nocivos à saúde humana (BRASIL, 2006).

A queima de biomassa foliar da cana-de-açúcar previamente a colheita, para facilitar o corte dos colmos, é prática usual em várias regiões canavieiras do Brasil e do mundo. Porém, a queimada provoca vários problemas quanto à preservação do solo, do ar e da água, além de proporcionar o aumento de problemas respiratórios em áreas urbanas onde há a deposição de cinzas. Essa prática de manejo está sendo substituída gradualmente pelo sistema de colheita de cana crua, ou seja, sem queima prévia do canavial antes da colheita. Nesse sistema de manejo, permanece sobre o solo uma cobertura de palha constituída por ponteiros, folhas secas e pedaços de colmo, de 10 a 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de material seco contendo cerca de 40 a 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio e de 20 a 40 kg ha⁻¹ de enxofre os quais devem provocar mudanças no manejo da cultura, com influência direta nas práticas de adubação (ABRAMO FILHO et al., 1993; CANTARELLA, 1998, FRANCO et al., 2007a; OLIVEIRA et al., 1999; TRIVELIN; RODRIGUES; VICTORIA, 1996; TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995).

A cana-de-açúcar é uma das atividades agrícolas que mais produzem fitomassa por unidade de área, exportando de 0,7 a 1,3 kg de N por tonelada de colmos produzidos (COLETI et al., 2002; ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR, 1980; SILVA; CASAGRANDE, 1983, FRANCO et al., 2008d). Em áreas com altas

produtividades e responsivas ao N, a necessidade de S deve ser maior, em função do sinergismo entre o N e o S, especialmente pelo fato de ambos serem componentes de proteínas.

Em condições de moderada deficiência de S o conteúdo de proteína das plantas é reduzido, sem diminuição do crescimento, porém em condições de severa deficiência ocorre redução na taxa de fixação do N, o que provoca um acúmulo de N na forma não-protéica (JONES et al., 1971).

Almejando altas produtividades, o sistema será limitado pelo nutriente que estiver presente em quantidade inferior à necessária para que a planta de cana-de-açúcar possa expressar todo seu potencial, o que no caso do enxofre há grande possibilidade de ocorrência, principalmente em solos arenosos e com baixos teores de matéria-orgânica, ou naqueles com elevada adição de nitrogênio, uma vez que o aumento no fornecimento de N implica na maior utilização de S pelas plantas (BOLOGNA-CAMPBELL, 2007).

Dessa forma, o uso dos isótopos de nitrogênio (^{15}N) e enxofre (^{34}S), em estudos que venham contribuir para elucidar as reais contribuições dos diversos compartimentos de nitrogênio e enxofre no solo, é de fundamental importância para a nutrição e produção da cana-de-açúcar, visto que a eficiência de utilização do nitrogênio aplicado está relacionada com a presença de enxofre.

Pelo exposto, tendo como hipótese de trabalho que o incremento da demanda de N pelas plantas de cana-de-açúcar aumentará a demanda de S, a presente tese teve como objetivos:

- a. Avaliar as respostas de uma primeira soqueira de cana-de-açúcar à fertilização com nitrogênio e enxofre, relacionadas com a aplicação de N no plantio da cultura, e o efeito dessas combinações de N e S na produtividade das soqueiras subsequentes (efeito residual);
- b. Avaliar o uso e a redistribuição do N e S em primeira soca (parte aérea e sistema radicular) e N e S na segunda soca (parte aérea) no sistema de colheita sem queima do canavial, utilizando os isótopos estáveis ^{15}N e ^{34}S ;

2 DESENVOLVIMENTO

2.1.Panorama do setor sucroenergético

O Brasil é líder mundial na geração e na implantação de uma moderna tecnologia de agricultura tropical. Nela se destaca a cadeia produtiva do etanol, reconhecida como a mais eficiente do mundo. Por situar-se, predominantemente, nas faixas tropical e subtropical, o país, recebe durante todo o ano intensa radiação solar, que é base da produção de bioenergia, principalmente para a cana-de-açúcar pelo fato de ela ser uma planta de metabolismo de carbono tipo C4, caracterizado por altas taxas de fotossíntese líquida, sendo altamente eficiente na produção de matéria seca. (BRASIL, 2006; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Além disso, o setor produtivo sucroenergético contribui e tem condições de ampliar sua atuação como fornecedor de energia limpa e renovável, tanto em combustível como na cogeração de eletricidade advinda da queima do bagaço e da palha. Com o álcool combustível e a cogeração de eletricidade a partir do bagaço, a cana-de-açúcar é, hoje, a maior fonte de energia renovável do país. O Brasil, com 46% de energia renovável tem matriz energética limpa e renovável, movida por água, luz e fotossíntese. A participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 31%; sendo de 15,8% a participação do bagaço de cana-de-açúcar e álcool; a utilização de lenha de carvão vegetal, de 12%; e 3,2% de outras fontes renováveis (BRASIL, 2007).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com área plantada de 8,2 milhões de hectares. Desse total 86% (7 milhões de hectares) são cultivados na região Centro-Sul. A produção nacional de cana-de-açúcar na safra 2010/11, em levantamento realizado no mês de agosto/2010, indica que o volume a ser processado devesse atingir um montante de 651 milhões de toneladas, volume superior em 7,8% à safra anterior, ou seja, 47 milhões de toneladas adicionais. Do total produzido, 294 milhões de toneladas (45%) destinam-se à fabricação de açúcar produzindo 38 milhões de toneladas do produto, 358 milhões (55%) à produção de álcool gerando um volume total de 28.416 milhões de litros de álcool, deste total, 8228 milhões de litros são de álcool anidro e 20189 milhões de litros são de álcool hidratado (CONAB, 2010).

Devido à quebra de safra de cana-de-açúcar nos principais países produtores, a Índia passou de exportador para importador de açúcar, o que abriu oportunidade de novos negócios para o Brasil que exporta cerca de 40% da sua produção. Da produção total de 38 milhões toneladas de açúcar, o Brasil deverá exportar 15 milhões de toneladas na safra atual (CONAB, 2010).

Atualmente, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário mundial (MAULE; MAZZA; MARTHA, 2001). Muitas unidades sucroenergéticas estão desenvolvendo projetos para certificação de emissões de créditos de carbono pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), visto que o bagaço da cana-de-açúcar possibilita a produção de energia limpa. Há estimativas de que cada tonelada possa se transformar em US\$ 4,8 mil créditos de carbono por ano, que poderão ser vendidos no mercado internacional, sendo esta mais uma possibilidade de riqueza originada no ramo sucroenergético (MIGUEL, 2005). Nestes últimos anos o Brasil deixou de emitir 43 milhões de toneladas de CO₂ utilizando álcool combustível ou adicionando-o a outros combustíveis (BRASIL, 2008).

Além disso, deve ser destacado a expansão e a produção de aguardente derivada da cana-de-açúcar, segunda bebida alcoólica mais consumida no Brasil, foi valorizada ainda mais depois da certificação de qualidade e de ações governamentais de incentivo à produção e exportação (SORATTO; VARVAKIS; HORII, 2007). A produção oficial de cachaça é de 1,6 bilhão de litros por ano, tendo como principais estados produtores São Paulo (50% da produção nacional) e Minas Gerais (14%). A exportação, ainda considerada muito pequena, é de 11 milhões de litros por ano, havendo uma expectativa de 42 milhões para 2010 (ANDRADE, 2006).

2.2. Nitrogênio e enxofre na agricultura

2.2.1. Nitrogênio na agricultura

O grande reservatório de nitrogênio para a biosfera encontra-se na forma de N_2 gasoso que constitui cerca de 78% dos gases da atmosfera, sendo que a escassez desse nutriente em formas disponíveis às plantas pode ser explicado pela estabilidade do N_2 (SOUZA; FERNANDES, 2006). O N_2 por ser um dos gases mais abundantes na natureza, não diretamente disponível às plantas, sua utilização depende da conversão do mesmo para estados mais oxidados como nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) ou reduzido na forma de amônio (NH_4^+) (CAMARGO, 1989).

De todos os elementos essenciais às plantas, o nitrogênio é o que apresenta maior número de transformações biogeoquímicas no sistema solo-planta (CAMARGO; SÁ, 2004; STEVENSON, 1982), sendo todas as transformações no solo mediadas por microrganismos (VICTÓRIA; PICCOLO; VARGAS, 1992). Apesar de esse elemento ser abundante na atmosfera, está presente em pequenas quantidades na maioria dos solos. A maior parte do nitrogênio no solo está em forma orgânica (98%) e somente uma pequena fração ($\geq 2\%$) na forma mineral como $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$ ou $N-NH_4^+$ (CERETTA, 1995; MALAVOLTA, 2006; SCHULTEN; SCHNITZER, 1998; WIETHÖLTER, 1993).

No solo, o nitrogênio disponível para as plantas é obtido pela mineralização da matéria orgânica, fixação biológica e adição de fertilizantes nitrogenados (CARNEIRO; TRIVELIN; VICTORIA, 1995), entretanto, há outras fontes de nitrogênio que podem ser absorvidas pelas plantas, como as que estão na água de chuva (NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-) e a amônia gasosa da atmosfera que pode ser absorvida pela folhagem dos vegetais.

Outros aspectos que podem ser levados em consideração são que o nitrogênio assimilado pelos vegetais pode, em parte, perder-se tanto pelas raízes, por exsudação, como pela parte aérea, por volatilização, principalmente na forma de amônia, por lixiviação de compostos solúveis na água das chuvas, ou mesmo por gutação (DAMIN, 2009). Isso ocorre, porque na fase de senescência foliar há aumento da hidrólise de proteínas a qual é acompanhada pela redução nas atividades das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT), responsáveis pela assimilação da amônia no metabolismo do N pelos vegetais

superiores. A redução na atividade dessas enzimas resulta em perdas de NH_3 junto à corrente transpiratória. Essas perdas dependem do equilíbrio em solução, entre a forma NH_3 e a iônica NH_4^+ , que é influenciado pela temperatura e pelo pH do meio (HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994; MENGEL; KIRKBY, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2009).

As quantidades de N mineralizadas no solo dependem da natureza química da matéria orgânica (CERETTA, 1995). Durante a mineralização do N-orgânico do solo, parte dos compostos é transformada em N-inorgânico, a velocidades variáveis, os quais podem ser acumulados em função do seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (JANSSEN, 1996).

A mineralização e a imobilização são processos de transformação de N do solo, sendo ambos conduzidos pela atividade enzimática da microbiota heterotrófica. A mineralização é a transformação do N de formas orgânica em compostos inorgânicos, como o NH_4^+ . O processo é realizado por microrganismos do solo que utilizam substâncias orgânicas nitrogenadas como fonte de C, N e energia. Já a imobilização é o processo inverso da mineralização, sendo definida como a transformação do N-inorgânico (NH_4^+ , NH_3 , NO_3^- , NO_2^-) para formas orgânicas microbianas. De modo geral, a imobilização e a mineralização dependem da relação C/N da matéria orgânica, sendo assim uma relação C/N acima de 30 ocorre imobilização do N, quando esta relação for inferior a 30 ocorre mineralização (CAMARGO et al., 1999).

O nitrogênio pode ser absorvido do meio em diferentes formas; N_2 , através de bactérias fixadoras de nitrogênio; na forma mineral como N-NO_3^- , N-NH_4^+ e como uréia, que pode ser absorvida tanto pelas folhas como pelas raízes, diretamente ou após seu desdobramento pela uréase em NH_3 e CO_2 (MALAVOLTA, 2006).

A forma predominantemente absorvida pela planta, em condições naturais ou provenientes de adubos orgânicos ou minerais adicionados, é a do nitrato devido ao processo de nitrificação no solo (MALAVOLTA, 2006). O nitrato absorvido pode ser reduzido a amônio para ser incorporado aos esqueletos carbônicos das plantas. Já o NH_4^+ absorvido pelas plantas é assimilado em compostos orgânicos pelo sistema radicular formando glutamina e, a partir dela, os outros aminoácidos que são transportados, (FERNANDES; ROSSIELO, 1986; MARSCHNER, 1995). O nitrato por ser móvel na planta pode também ser armazenado nos vacúolos das células das raízes, colmos e órgãos de reserva. O acúmulo de nitrato no vacúolo é fundamental

para o balanço de cátions e ânions, assim como para o processo de osmoregulação. Porém, para que isso ocorra, é necessária que haja redução do nitrato em amônio, ocorrendo dessa forma à incorporação do nitrogênio em estruturas orgânicas nas plantas (MARSCHNER, 1995; SOUZA; FERNANDES, 2006).

O N depois de absorvido pelas raízes das plantas é incorporado a compostos nitrogenados em suas células. Parte pode ser acumulada e parte transportada via xilema para a parte aérea. O ácido aspártico, o ácido glutâmico e a arginina são os aminoácidos transportados no xilema com maior frequência. A arginina é o principal composto acumulado nas raízes, no caule e nos ramos das plantas durante o inverno. Alguns autores relataram que esta forma representa 50 a 90% do N solúvel armazenado. Os aminoácidos e as proteínas formam as reservas de N nas partes perenes das plantas (NASSAR; KLIEWER, 1966; KLIEWER, 1967; ORTIZ-LOPEZ; CHANG; BUSH, 2000).

O aumento dos estoques totais ou aportes de N no solo poderá ocorrer através da fixação biológica, pelas chuvas que arrastam óxidos de N produzidos na atmosfera por descargas elétricas, ou pela adubação orgânica e mineral. Enquanto que as perdas podem ocorrer devido à exportação pelas culturas, lixiviação, erosão, volatilização e perda pela parte aérea (SCHULTEN; SCHNITZER, 1998, BOLOGNA et al., 2006; SOUZA; FERNANDES, 2006; FRANCO et al., 2008b). Entretanto, as perdas podem ser reduzidas, quando fontes nitrogenadas com formas de N menos susceptíveis à volatilização são usadas nas adubações. Fontes de nitrogênio como nitrato de amônio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio, não estão sujeitas às perdas por volatilização de N-NH₃ em solos ácidos (CANTARELLA, 1998).

Em virtude dos diversos tipos de perdas, a eficiência de aproveitamento de N pelas plantas esta em torno de 40% a 50%. No entanto, tem-se pesquisado meios para reduzir perdas e aumentar a eficiência de uso do N-fertilizante, como, por exemplo, controle na época de aplicação, uso de revestimentos nos fertilizantes para controlar a liberação de N, além de melhorias nos métodos de aplicação. Para fontes nitrogenadas mais susceptíveis às perdas, a prática de incorporação ao solo possibilita considerável redução na volatilização (CANTARELLA et al., 1999).

Entre os nutrientes, geralmente, o N é o que tem maior efeito no crescimento das plantas, sendo que sua disponibilidade estimula o desenvolvimento e a atividade radicular, incrementando a absorção de nutrientes (OLSON; KURTZ, 1982; YANAI et al., 1996).

A maior parte do nitrogênio nas plantas está presente na forma de proteínas, e em média, as proteínas contêm 15 % a 18 % de nitrogênio (MAYNARD et al., 1979). A carência de nitrogênio nas plantas prejudica a síntese de clorofila e proteínas (MARSCHNER, 1995). A presença de enxofre proporciona aumento da eficiência da transformação do nitrogênio mineral absorvido em proteína vegetal (CRAWFORD et al., 2000). A concentração de nitrogênio considerada ótima para o crescimento das plantas pode variar de 20 a 50 g kg⁻¹ de tecido vegetal seco, dependendo da espécie da planta, estágio de desenvolvimento e do órgão vegetativo considerado (MARSCHNER, 1995).

2.2.2. Enxofre na agricultura

Na crosta terrestre os teores de enxofre total, formas orgânicas e inorgânicas, variam de 0,01 a 0,1% (MALAVOLTA, 2006). Os solos da América do Sul possuem teores de enxofre de 20 mg kg⁻¹ em solos arenosos e 600 mg kg⁻¹ em solos de textura argilosa. Aproximadamente 95% do enxofre total do solo esta na forma orgânica, entretanto, para ser absorvido pelas plantas precisa ser mineralizado por bactérias e fungos que utilizam os compostos de enxofre como fonte de energia (TABATABAI, 1984).

A maior parte do enxofre presente nas células vegetais deriva do ânion sulfato (SO₄²⁻) da solução do solo, principal forma mineral de enxofre nos solos em condições aeróbicas e também a preferencialmente absorvida pelas plantas (DYNIA; CAMARGO, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Além do SO₄²⁻ as plantas podem absorver SO₂ do ar atmosférico (THOMAS et al., 1943 apud MALAVOLTA, 2006), S elementar (LEGRIS – DELAPORTE et al., 1987; JOLIVET et al., 1995, BOARETTO et al., 1986, VITTI et al., 2007) e sulfeto, na forma de calda sulfocálcica (SÁNCHEZ et al. 2001)

O enxofre desempenha funções vitais no metabolismo das plantas por ser componente importante de aminoácidos (cistina, cisteína, metionina e taurina), proteínas, coenzimas (tiamina e biotina) e ésteres com polissacarídeos. Tem sua ação mais comum na fotossíntese, participando da síntese de clorofila e da fixação não fotossintética de CO₂, da respiração e da síntese de gorduras (COLEMAN, 1966; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARSCHNER, 1995; CRAWFORD et al., 2000). Além disso, o enxofre faz parte da ferredoxina molécula responsável pela transferência de elétrons na fotossíntese, na fixação de nitrogênio atmosférico, na redução de compostos oxidados, tal como o nitrato (MENGEL; KIRKBY, 2001) e exerce influência, também, no nível de clorofila, o qual aumenta nas plantas que recebem adubação sulfatada (TISDALE, 1977).

Grande parte do enxofre nas plantas está na forma de proteínas, as quais apresentam aproximadamente 0,5% a 2,0% de enxofre (MAYNARD et al., 1979) e a concentração de enxofre na massa seca vegetal varia de 1 a 5 g kg⁻¹ (MARSCHNER, 1995). Algumas plantas como a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), o café (*Coffea arabica* L.), e o coco (*Cocos nucifera*), em função da espécie, exportam em torno de 50 kg ha⁻¹ de S (FRANCO, 2008; FRANCO et al., 2008d; HOEFT; FOX, 1986; KAMPRATH; JONES, 1986; KAMPRATH; NELSON; FITTS, 1957).

Deficiência e queda na produção das culturas podem ocorrer quando os teores de S na forma de SO₄²⁻ (S-SO₄²⁻) na camada 0–20 cm do solo forem menor que 10 mg dm⁻³ (MALAVOLTA; MORAES, 2007). A deficiência de S acarreta diminuição da produção de aminoácidos e as proteínas que os contêm não poderão 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, por esse motivo, os sintomas de deficiência de enxofre relembram os de nitrogênio: plantas cloróticas, espigadas e mal desenvolvidas. A clorose causada pela deficiência de enxofre surge primeiramente nas folhas jovens, pois o elemento não se redistribui das partes mais velhas (VITTI, 1989; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A qualidade de alguns produtos pode ser afetada pela falta de S como, por exemplo: o volume do pão, que diminui com a deficiência de enxofre na farinha de trigo (MALAVOLTA; MORAES, 2007), o peso das sementes e o micronaire do

algodão melhoram com a adição de superfosfato simples, que contém S (SABINO; SILVA, 1984).

Quando o S no solo é limitante, a aplicação de doses elevadas dos demais nutrientes, principalmente N, P e K, pode não resultar em aumento de produtividade, devido ao desequilíbrio nas relações N/S e P/S na planta. Elevada relação N/S pode acarretar acúmulo de N na forma não-protéica, principalmente N-NO_3^- e N orgânico solúvel (HAQ; CARLSON, 1993; STEWART; PORTER, 1969).

As limitações que a falta de enxofre podem causar a produção agrícola em solos brasileiros foram relatadas por diversos trabalhos (McCLUNG et al., 1958, 1961; McCLUNG; FREITAS, 1959) que evidenciaram a baixa capacidade dos solos brasileiros em atender as exigências de S dos vegetais (WOLFFENBÜTTEL; TEDESCO, 1981; TABATABAI, 1984, MALAVOLTA, 2006). Sendo assim, a necessidade de aplicação desse nutriente nas culturas brasileiras tem-se tornado mais freqüente nos últimos anos, principalmente, devido ao baixo teor de enxofre nos solos tropicais, ao aumento de produtividade e exportação de S, à redução dos teores de matéria orgânica do solo devido à erosão e mineralização, ao aumento na utilização de fertilizantes concentrados isentos de enxofre como uréia, fosfato trissódico (TSP), fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP) e cloreto de potássio (KCl) e ainda pela redução do uso de S como pesticida (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985; VITTI et al., 2008).

O gesso agrícola é uma ótima fonte de Ca e S para as plantas, pois quando aplicado no solo reage com a água e libera os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} . O sulfato para manter sua eletroneutralidade liga-se a outros cátions formando pares iônicos como: AlSO_4^+ , CaSO_4 , MgSO_4 , K_2SO_4 e muitos outros, que na solução do solo percolarão em profundidade, facilitando a movimentação dos elementos no perfil do solo (DIAS; ROSSETTO, 2006).

Medeiros et al. (2004), trabalhando com doses e fontes de nitrogênio na cultura do algodoeiro, no cerrado, verificaram melhor performance do sulfato de amônio, em termos de produtividade, em relação à uréia como fonte de N, o que, pode ser atribuída, provavelmente à volatilização de amônia com uso da uréia e à presença do enxofre contido no sulfato de amônio que, de qualquer maneira, é um outro fator importante, já que este elemento é absorvido pela planta fazendo parte de aminoácidos, proteínas e coenzimas, além de estar intimamente ligado ao metabolismo do nitrogênio (WERNER; MONTEIRO, 1988).

2.3. Nitrogênio e enxofre na cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas que mais produzem matéria verde por unidade de área, entretanto, as maiores limitações do meio à produtividade da cana-de-açúcar estão relacionadas disponibilidade adequada no solo de nutrientes minerais e de água (TRIVELIN, 2000).

2.3.1. Nitrogênio na cana-de-açúcar

A grande importância do nitrogênio para a cana-de-açúcar, diz respeito ao fato deste nutriente contribuir com 1%, em média, da matéria seca da cana-de-açúcar, seu papel é tão importante quanto à do carbono, hidrogênio e oxigênio que constituem juntos, mais de 90% da matéria seca. O nitrogênio é parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas, coenzimas, citocromos e ácidos nucleicos, participando direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos; a sua carência promoverá a diminuição na síntese de clorofila, e aminoácidos, assim como também da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (BÜLL, 1993; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A adubação nitrogenada está normalmente associada ao aumento na produção de colmos, que invariavelmente resultaria em plantas com maior teor de umidade, porém com prejuízos no acúmulo de sacarose (KORNDÖRFER; MARTINS, 1992). Dos nutrientes exigidos pela cana-de-açúcar o nitrogênio é o que mais contribui para melhor brotação e perfilhamento, quando aplicado em cobertura na cana planta (CASAGRANDE, 1991). A deficiência de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar acarreta diminuição do diâmetro de colmos e redução no perfilhamento (AZEREDO et al., 1986).

O N é um nutriente mineral extraído em grandes quantidades pela cultura da cana-de-açúcar, geralmente sendo menor apenas que o potássio (FRANCO, 2008; MALAVOLTA, 1994; SILVA; CASAGRANDE, 1983; TASSO JÚNIOR et al., 2007;). Conforme pode ser observado pela ordem de extração de nutrientes pela cana-de-açúcar $K > N > Ca > S > Mg > P$ (FRANCO et al., 2007a; FRANCO, 2008), sendo que a cultura exporta cerca de 0,7 a 1,3 kg de N por tonelada de colmos produzidos

(COLETI et al., 2002; FRANCO et al., 2008d; ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR, 1980; SILVA e CASAGRANDE, 1983). Korndörfer et al. (1997), estudando o aproveitamento de nitrogênio, estimaram a extração média de quatro variedades em 1,4 kg de N por tonelada de colmos, valor próximo aos obtidos por Franco (2008) e por Trivelin et al. (2002b), onde a exigência de N variou de 1,6 a 1,7 kg N por tonelada de colmos

Orlando-Filho e Zambello Junior (1980) relataram que cultura de cana-de-açúcar apresenta alto acúmulo de N tanto em cana-planta (180–250 kg ha⁻¹ de N) como em socas (120–180 kg ha⁻¹ de N). Entretanto, uma questão não esclarecida na cultura da cana-de-açúcar se refere à baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. A literatura é bastante rica em trabalhos que avaliaram o efeito de doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio na cana-de-açúcar, principalmente os seus efeitos na produtividade de colmos por área e nas características químicas e tecnológicas do caldo. Sendo as respostas bem heterogêneas para cana-planta e relativamente homogênea para cana-soca (CARNAÚBA, 1990).

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para esta cultura, pois os estudos sobre nitrogênio apresentam resultados muito variáveis, muitas vezes até contraditórios, sendo que os mecanismos de resposta ao nitrogênio pela cana-de-açúcar não estão ainda suficientemente elucidados (KORNDÖRFER et al., 2002).

A falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada tem sido atribuída à fixação biológica do nitrogênio atmosférico; às perdas por lixiviação do N-fertilizante; ao vigor do sistema radicular da cana-planta comparada ao de soqueiras; ao estoque de nitrogênio no colmo-semente; às condições climáticas, como temperatura e pluviosidade; à melhoria da fertilidade solo, após a reforma dos canaviais, associada à calagem, ao preparo mecânico e à incorporação de restos da cultura anterior (AZEREDO et al., 1986; CARNAÚBA, 1990; CARNEIRO; TRIVELIN; VICTORIA, 1995; ORLANDO FILHO et al., 1999; URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992).

O aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados pela cultura da cana-de-açúcar varia em função das condições ambientais e do manejo. Takahashi (1967; 1970) verificou que o aproveitamento do N de fertilizantes por cana-planta e socas, em vários solos do Havaí, foi diferente quando a cultura foi colhida no verão, no outono ou na primavera, evidenciando o efeito do manejo. Bittencourt, Faganello e

Salata (1986), Sampaio, Salcedo e Bettany, (1984); Trivelin, Rodrigues e Victoria (1996); Trivelin, Victoria e Rodrigues, (1995); Gava et al. (2001); Trivelin et al. (2002b) e Franco et al. (2008c) trabalhando em solos brasileiros obtiveram recuperação do N dos fertilizantes nitrogenados (sulfato de amônio, uréia e aquamônia) variando de 0,2 a 54%. Nas Ilhas Maurícios, Wong You Cheong, Ng Kee Kwong e Cavalot (1980) trabalhando com dois tipos de solos e com as fontes sulfato de amônio e nitrato de amônio obtiveram recuperação na parte aérea da cana-de-açúcar de 21 a 48% do N aplicado. Ng Kee Kwong e Deville (1994) aplicando o adubo na água e irrigando por gotejamento conseguiram aumentar a recuperação da uréia-¹⁵N de 19 para 35%, sem, contudo, conseguir elevar a produtividade. Em Taiwan, Weng, Chan e Li (1991), verificaram maior recuperação do N com a aplicação dos adubos, sulfato de amônio, nitrato de potássio e uréia, no solo a 10 cm de profundidade que, comparada à aplicação superficial.

As variações na recuperação do ¹⁵N-fertilizante pela cultura de cana-de-açúcar podem estar associadas ao efeito residual do fertilizante no solo devido sua elevada imobilização (COURTAILLAC et. al., 1998) e, também, às perdas do N no sistema solo-planta, tais como as perdas por desnitrificação (TRIVELIN et al., 2002a), lixiviação (OLIVEIRA et al., 1999), volatilização da amônia (TRIVELIN et al., 2002a) e por meio das perdas gasosas de N pela parte aérea das plantas (HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994).

Diferentemente do que ocorre em cana-planta, onde a adubação nitrogenada é pouca efetiva no incremento de produtividade, em soqueira a aplicação de fertilizantes nitrogenados se faz necessária e varia muito de acordo com o nível de manejo e tipo de solo envolvido (AZEREDO et al., 1986; GAVA et al., 2001; BODDEY et al., 2001). No ciclo de cana-soca existe maior compactação do solo resultando em menor atividade microbiana, que afeta tanto a mineralização do N-orgânico como a fixação do N atmosférico por microorganismos. 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 à soqueira seja acompanhada por uma rápida resposta da cultura, em termos de crescimento e aumento de produtividade. Apesar disso em algumas situações não são observadas respostas das soqueiras à aplicação de N (AZEREDO et al., 1986; CARNAÚBA, 1990).

Carneiro, Trivelin e Victoria (1995), avaliando a utilização do N de colmoses nos estádios iniciais de desenvolvimento da cana planta, demonstraram que a reserva de N do tolete foi fundamental no suprimento deste nutriente para a cana-planta, pois 50% do N original do tolete foram exportados para novos tecidos.

A adubação nitrogenada está normalmente associada ao aumento na produção de colmos, que invariavelmente resultaria em plantas com maior teor de umidade, porém com prejuízos no acúmulo de sacarose (KORNDÖRFER; MARTINS, 1992). Dos nutrientes exigidos pela cana-de-açúcar o nitrogênio é o que mais contribui para melhor brotação e perfilhamento, quando aplicado em cobertura na cana planta (CASAGRANDE, 1991). A deficiência de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar acarreta diminuição do diâmetro de colmos e redução no perfilhamento (AZEREDO et al., 1986).

2.3.2. Enxofre na cana-de-açúcar

Poucos são os estudos disponíveis envolvendo a resposta da cana-de-açúcar ao S. De qualquer maneira, as doses necessárias desse nutriente são bem menores do que as de N, pois, para a produção de 100 t de colmos são necessários cerca de 40 a 50 kg ha⁻¹, sendo esta quantidade um terço da demanda por nitrogênio e o dobro da demanda por fósforo (MALAVOLTA, 1984). Contudo, o fornecimento de quantidades adequadas de S pode estar sendo negligenciada, aliado ao fato de que a queima da cana-de-açúcar previamente a colheita provoca perdas por volatilização de 95% do S contido nas folhas, sendo que somente uma parte desse enxofre poderá retornar a plantação, trazido pelas águas da chuva (MALAVOLTA, 1984).

Com uma sequência de ensaios de respostas da cana-de-açúcar a aplicação de S, realizadas no Estado de São Paulo, Vitti et al. (1989) mostraram, num total de 30 cortes, que o S influenciou o teor de açúcar: em média, cada kg de S gerou 50 kg de açúcar.

Fernandes (1985), estudando o efeito da aplicação de gesso como fonte de Ca e S na cultura da cana-de-açúcar, verificou que pequenas doses de gesso aplicadas no sulco de plantio (50 kg ha⁻¹) promoveram o crescimento das plantas, enquanto doses maiores (500 kg ha⁻¹) promoveram significativo aumento de produtividade

Franco (2008) objetivando avaliar a extração de nutrientes pela cultura de cana-de-açúcar, ao final do ciclo de cana-planta, relacionada com a adubação nitrogenada no sistema de colheita sem despalha a fogo, verificou que mais da metade do S absorvido pelas plantas foi removido pelos colmos na colheita do canavial, do restante, cerca de 30% do S total ficou na palhada (folhas secas e ponteiros), podendo retornar ao solo e ser reutilizado pelas soqueiras subsequentes. De fato, Oliveira et al. (2002), observaram que 60% do S da palhada foi mineralizado em 12 meses.

Avaliando o efeito residual da adubação nitrogenada da segunda soca, e o efeito do N e S do sistema radicular da cultura na produtividade do ciclo agrícola subsequente, Vitti et al. (2007) constataram que os estoques de nitrogênio e enxofre no sistema radicular ao final da segunda soca relacionou-se positivamente com a produtividade de colmos da cana-de-açúcar na terceira soca.

Franco et al. (2005) observaram maior acúmulo de N e S pela parte aérea da cana-de-açúcar em função do aumento das doses de N aplicadas, tendo esse acúmulo comportamento linear. Batista (1977) constatou efeito sinérgico entre N e S em plantas de cana-de-açúcar, variedade NA56 79, com interação linear significativa, pois à medida que se aumentou a adubação nitrogenada ocorreu maior acúmulo de S nas plantas. Esses resultados sugerem a ocorrência de efeito sinérgico da adubação nitrogenada na nutrição em enxofre pela cana-de-açúcar.

Vitti (2003), trabalhando com fontes e doses de nitrogênio na cana-de-açúcar sem previa queima da palha, verificou que o sulfato de amônio proporcionou maior produtividade, quando somado as produtividades da segunda e terceira soca, de colmos, comparado à uréia e ao uran. O S contido no sulfato de amônio pode melhorar a absorção e o aproveitamento do N pelas culturas devido à sinergia positiva entre esses nutrientes (COLLAMER; GEARHART; MONESMITH, 2007).

Em áreas com altas produtividades e responsivas ao N, a necessidade de S deve ser maior, em função do sinergismo entre o N e o S, especialmente pelo fato de ambos serem componentes de aminoácidos. Em condições de moderada deficiência de S o conteúdo de proteína das plantas é reduzido, sem diminuição do crescimento, porém em condições de severa deficiência, ocorre redução na taxa de fixação do N, o que provoca um acúmulo de N na forma não-protéica (JONES et al., 1971).

O reduzido número de estudos envolvendo a adubação e a nutrição da cana-de-açúcar com S demonstraram a pouca preocupação com seu fornecimento para a cultura. A exigência da cultura da cana-de-açúcar por S se equipara a de P. Porém, práticas como a gessagem e a aplicação de resíduos orgânicos como vinhaça e torta de filtro suprem indiretamente a planta de cana-de-açúcar. Contudo, áreas marginais cultivadas com cana-de-açúcar podem estar sendo exauridas em relação ao S do solo, sendo que aplicações de S-fertilizante, sozinho ou junto com a adubação nitrogenada, podem ser indispensáveis para garantir a produtividade e longevidade dos canaviais.

2.4. Colheita da cana sem despalha a fogo

A colheita da cana-de-açúcar com despalha a fogo, sistema utilizado para viabilizar o corte manual, no Estado de São Paulo deverá ser gradativamente eliminada até 2014 para as áreas mecanizáveis e 2017 para as não mecanizáveis, de acordo com o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético. Na safra 2008/2009 o avanço da colheita de cana sem o uso da queima da palha prossegue em todos os estados da região Centro-Sul, chegando a 41% da colheita na região e aproximadamente 50% no Estado de São Paulo (UNICA, 2009a e 2009b).

Na colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem despalha a fogo, as folhas secas são trituradas e os ponteiros são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada de palhada. A manutenção dessa palhada sobre a superfície do solo pode contribuir para a melhoria da fertilidade do solo, comparativamente àquela com queima (WOOD, 1991). E, ainda, a colheita de “cana crua”, sem queima, permite que os nutrientes contidos na palhada, ponteiros e palmito permaneçam no campo e sejam reciclados no sistema solo-cana-de-açúcar (BASANTA et al., 2002), após a sua mineralização que ocorrer por ação física, química e biológica, constituindo uma fonte de nutrientes para os macros e microrganismos do solo e, posteriormente, para a própria cultura de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 1999).

A produção de palha de um canavial sob colheita mecanizada, que inclui as folhas, as bainhas e o ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo, pode variar de 10 a 30 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Esse material contém de 40 a 80 kg ha⁻¹ de N, potencialmente disponíveis à cultura após ação dos microrganismos do

solo (ABRAMO FILHO et al., 1993; TRIVELIN; RODRIGUES; VICTORIA, 1996; TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995; OLIVEIRA et al., 1999). Porém, a grande quantidade de palha depositada na superfície do solo dificulta a incorporação dos fertilizantes, o que contribui para diminuir a eficiência do principal fertilizante nitrogenado disponível no mercado, a uréia, devido às chances de perdas por volatilização de amônia. Uma opção nessa condição de solo coberto com palhada é o uso do sulfato de amônio, mesmo apresentando custo maior por unidade de N, podendo ser aplicado em superfície sem que ocorra perda por volatilização de amônia, como ocorre com a uréia.

Dessa forma, o uso dos isótopos de nitrogênio (^{15}N) e enxofre (^{34}S) no estudo de eficiência de absorção dos nutrientes nos ciclos de cana-de-açúcar (rebrotas) mostra-se inovador, para com os conhecimentos existentes na otimização do uso desses nutrientes pela cana-de-açúcar, visando elucidar as reais contribuições dos diversos compartimentos de nitrogênio e enxofre no solo para a nutrição e produção da cana-de-açúcar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta

O experimento foi desenvolvido em área pertencente à Usina São Adélia (USA), localizada no município de Jaboticabal-SP, nas coordenadas geográficas: latitude 21° 20' 20" sul e longitude 48° 18' 35" oeste (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981). A altitude predominante na região é de 608 m, o clima corresponde ao tipo Aw, Tropical de Savana, com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C, estação de inverno ausente e verão chuvoso, de acordo com a classificação de Köppen.

O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd) de textura média (EMBRAPA, 2006). As Tabelas 1 e 2 apresentam as características químicas e físicas de amostras de terra coletadas até 1m de profundidade antes da instalação do experimento. A Tabela 3 apresenta as características químicas de amostras de terra colhidas nas camadas de 0 - 25 cm e 25 - 50 cm de profundidade após a colheita da cana-planta (amostras retiradas a 30 cm do centro da linha de cana) e a Tabela 4 as amostras de terra coletadas após a colheita da primeira soca. 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 - 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).

O cultivar de cana-de-açúcar utilizado foi o SP81 3250, o qual possui como características agrônômicas: boa brotação de soqueira, longevidade e rápido desenvolvimento, além de ser rico e produtivo (COPERSUCAR, 1995). No entanto, apresenta algumas restrições como suscetibilidade á cigarrinha e ao acamamento. Seu período útil de industrialização (PUI) ocorre de junho a setembro, e é preferencialmente plantada em ambientes de produção 'B' e 'C'.

Tabela 1 - Caracterização química de amostras de terra em quatro profundidades antes da instalação do experimento

Prof. cm	M.O g dm ⁻³	pH	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	S-SO ₄ mg dm ⁻³
		CaCl ₂										
0 – 25	16	5,1	3,9	11	5	1	28	19,9	47,7	42	4,8	4
25 – 50	11	4,2	1,8	4	1	8	34	6,8	41,1	17	54	38
50 – 75	10	4,3	2,0	4	1	6	34	7,0	41,3	17	54	71
75 – 100	8	4,8	3,3	6	2	1	22	11,3	33,8	33	8	68

pH - CaCl₂ 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 - NH₄ 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).

Al – KCl 1N.

Tabela 2 - Caracterização física de amostras de terra

Profundidade cm	Argila	Silte	Areia total	Classificação textural
				g kg ⁻¹
0 - 25	288	60	652	Franco-argiloarenosa
25 - 50	313	53	635	Franco-argiloarenosa
50 - 75	288	73	640	Franco-argiloarenosa
75 - 100	313	91	597	Franco-argiloarenosa

Tabela 3 - Análise química de amostras de terra da área experimental, após a colheita da cana-planta

Profundidade cm	Tratamento CP N Kg ha ⁻¹	M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	S.B	CTC	V %	S-SO ₄ mg dm ⁻³
0– 25	0	21	5,4	13	2,9	20	11	23	33,9	56,9	60	2
	80	22	5,4	15	3,4	20	11	22	34,4	56,4	61	3
25 – 50	0	16	4,5	6	2,2	14	4	35	20,2	55,2	37	25
	80	16	4,6	5	2,4	8	3	30	13,4	43,4	31	23

CP – Cana-planta

N – Nitrogênio

pH - CaCl₂ 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 - NH₄ 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 4 - Análise química de amostras de terra da área experimental, após a colheita da primeira soca

Prof. cm	Tratamento		M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	S.B	CTC	V %	S-SO ₄ mg dm ⁻³
	CP N - kg ha ⁻¹	PS SA (kg ha ⁻¹)											
0 - 25	0	0	17	5,1	9	3,8	18	9	22	31,0	53,0	58,3	3
	0	236	17	5,1	10	2,8	19	9	21	30,6	51,4	59,3	4
	0	471	17	5,1	10	2,8	19	9	20	30,8	51,0	60	3
	0	707	16	5,2	11	2,8	16	8	20	26,8	47,0	57	4
	80	0	17	5,1	14	4,2	18	9	20	31,2	51,0	60,5	2
	80	236	17	5,1	10	3,1	19	9	23	30,1	53,0	56,8	5
	80	471	17	4,9	12	2,2	18	8	25	28,0	52,8	52,8	2
	80	707	19	4,7	9	2,1	15	6	27	23,1	50,4	45,8	3
25 - 50	0	0	13	4,4	8	1,4	11	4	28	16,4	44,6	35,8	25
	0	236	12	4,2	5	1,1	7	6	31	11,1	42,0	26,0	48
	0	471	14	4,4	7	1,1	10	4	30	15,4	45,1	34,5	43
	0	707	13	4,3	5	1,3	8	6	31	13,3	44,4	30,3	69
	80	0	13	4,7	7	1,9	9	5	24	15,9	39,9	39,5	17
	80	236	12	4,4	6	1,4	9	4	27	14,1	41,5	34,3	38
	80	471	13	4,3	6	1,4	9	4	30	13,9	44,0	31,5	62
	80	707	14	4,3	4	1,2	8	4	31	12,9	43,8	29,5	83

CP – Cana-planta.

PS – Primeira soca.

N – Nitrogênio.

SA – Sulfato de amônio.

pH - CaCl₂ 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 - NH₄ 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).

3.2.Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de parcelas subdivididas, em blocos casualizados, com quatro repetições. O tratamento primário constituiu-se na aplicação de 80 kg ha^{-1} de N (T2) na forma de uréia (U), aplicada no sulco de plantio e um tratamento testemunha sem N (T1). As parcelas experimentais do ciclo de cana planta constaram de 48 sulcos de cana-de-açúcar de 15 metros e espaçamento entre linhas de 1,5 m (Figura 1).

Para o ciclo de primeira soca e demais ciclos, as parcelas experimentais do ciclo de cana-planta foram divididas em subparcelas de 12 sulcos de cana-de-açúcar de 15 m espaçadas entre si por 1,5 m (Figura 2). Os tratamentos secundários foram três doses de sulfato de amônio (SA): 236 , 471 e 707 kg ha^{-1} aplicados nas subparcelas após a colheita da cana-planta e uma testemunha sem aplicação de fertilizante com nitrogênio e enxofre. As doses de sulfato de amônio aplicadas equivaleram às aplicações de 50 , 100 e 150 kg ha^{-1} de N-NH_4 e 57 , 114 , 171 kg ha^{-1} de S-SO_4 , respectivamente, conforme apresentado na Tabela 5. As doses de SA foram aplicadas manualmente sobre a palha residual da colheita e a 20 cm da linha de cana-de-açúcar. Nos tratamentos de primeira soca, em todas as parcelas, foi aplicado 150 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio (KCl).

Nas parcelas de primeira soca correspondentes às doses de 236 e 471 kg ha^{-1} de SA, associada à dose de 80 kg ha^{-1} de N no plantio, foram instaladas microparcels de 2 m de segmento de linha, sendo uma por parcela, na parte central, onde foi aplicado na forma de solução o cloreto de amônio e sulfato de potássio, enriquecidos com isótopos estáveis de ^{15}N e ^{34}S , sendo que as doses de 236 e 471 kg ha^{-1} de SA foram enriquecidas em 2,96 e 2,15% átomos de ^{15}N e 8,0 e 10,5% átomos de ^{34}S respectivamente. Dessa maneira, foi possível avaliar a utilização pela primeira e segunda soqueira do N e S proveniente do SA aplicado na fertilização de primeira soca.

Tabela 5 - Tratamentos do ciclo agrícola de cana-planta e primeira soca

Cana-Planta (CP) kg ha ⁻¹	Primeira soca (PS)							
	T1		T2		T3		T4	
	----- SA (kg ha ⁻¹) -----							
	0		236		471		707	
N	N	S	N	S	N	S	N	S
	kg ha ⁻¹							
0	0	0	50	57	100	114	150	171
80	0	0	50	57	100	114	150	171

CP – Cana-planta; PS – Primeira soca

SA- Sulfato de amônio / N- Nitrogênio / S- Enxofre

No ciclo de segunda soca a adubação foi realizada com a aplicação de nitrato de amônio (33% de N) repetindo-se as doses de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N nas parcelas correspondentes de primeira soca. Manteve-se a testemunha sem aplicação de N. Todas as parcelas receberam a aplicação de KCl (58% de K₂O) na dose de 150 kg ha⁻¹ de K₂O.

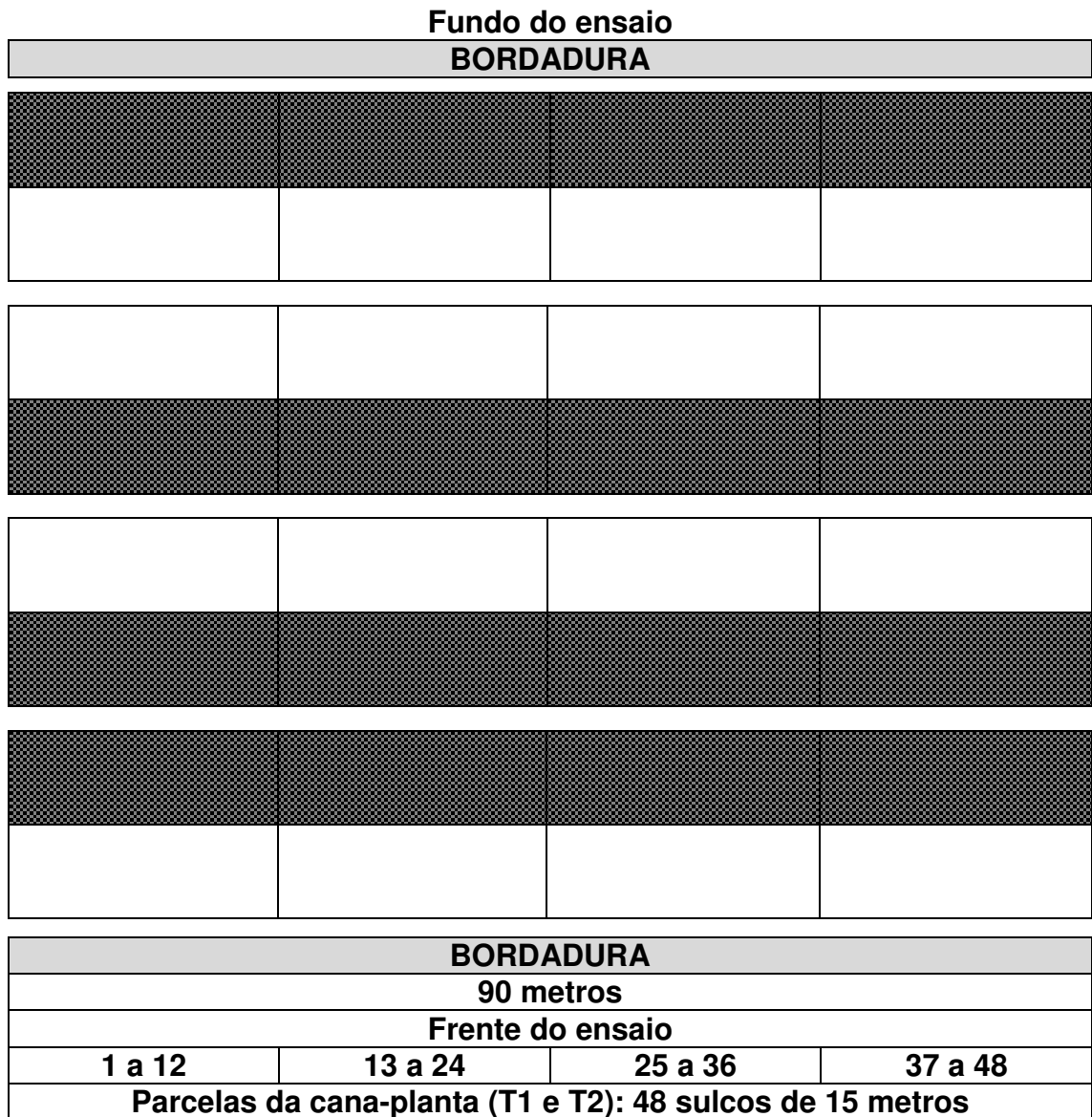
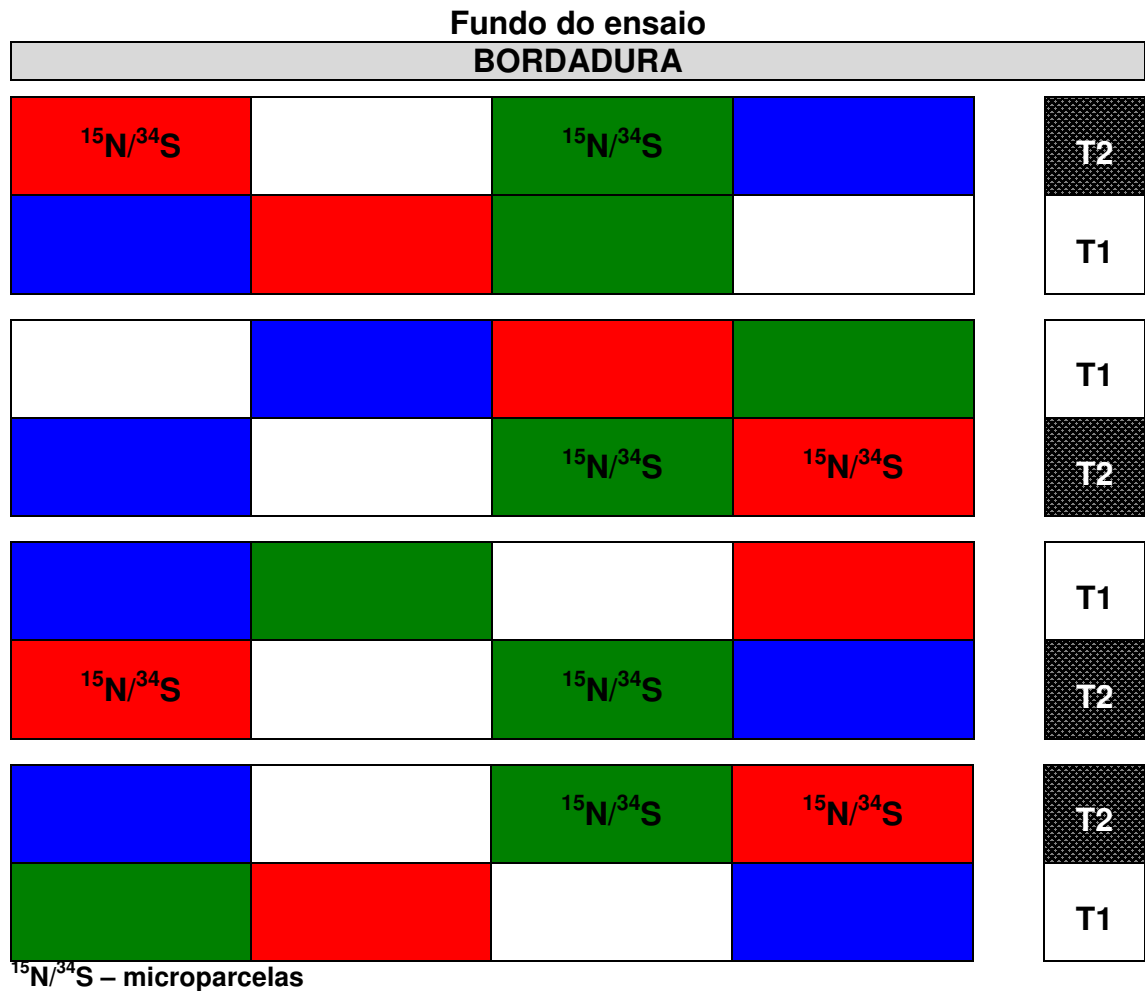


Figura 1 - Croqui da área experimental no ciclo de cana-planta 2005/2006



BORDADURA			
90 metros			
Frente do ensaio			
1 a 12	13 a 24	25 a 36	37 a 48

Parcelas da cana-planta (T1 e T2): 48 sulcos de 15 metros Parcelas de Cana-soca: 12 sulcos de 15 metros
--

Tratamentos

	Sem aplicação de N e S
	236 kg ha ⁻¹ de sulfato de amônio (50 kg ha ⁻¹ de N e 57 kg ha ⁻¹ de S)
	471 kg ha ⁻¹ de sulfato de amônio (100 kg ha ⁻¹ de N e 114 kg ha ⁻¹ de S)
	707 kg ha ⁻¹ de sulfato de amônio (150 kg ha ⁻¹ de N e 171 kg ha ⁻¹ de S)

Figura 2 - Croqui da área experimental no ciclo de primeira soca 2006/2007

3.3.Instalação e desenvolvimento do experimento

A área utilizada para instalação do experimento tinha um histórico de duas colheitas, nas safras anteriores (2003 e 2004), sem queima da cana-de-açúcar realizadas com máquina colhedora. Três anos anteriores à instalação do experimento, em 2002, foi suspensa a aplicação de vinhaça na área experimental.

O experimento teve início com a reforma da área experimental com as seguintes operações: dessecação da soqueira do ciclo anterior com aplicação de 4 L ha⁻¹ do herbicida glifosato; aração profunda para incorporação de resíduos vegetais na ordem de 30 Mg ha⁻¹ (FRANCO et al., 2007a) e de 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico ao solo, gradeação para o nivelamento do solo antes da sulcação e plantio.

3.3.1. Ciclo agrícola de cana-planta (2005/2006)

Para o plantio da cana-de-açúcar, realizado entre 4 e 8 de abril de 2005, utilizaram-se 2 colmos-semente por metro, cruzando o pé com a ponta das mudas, proporcionando distribuição de 17 a 20 gemas por metro linear de sulco. Os colmos-semente foram depositados no fundo do sulco e cortados em toletes com 2 a 3 gemas, sendo então feito o recobrimento com máquina. A colheita da cana planta foi realizada entre 11 e 13 de julho de 2006, tendo início o experimento com o ciclo de primeira soca.

3.3.2. Ciclo agrícola de primeira soca (2006/2007)

3.3.2.1. Diagnose do estado nutricional

Na fase de máximo desenvolvimento da primeira soca, janeiro de 2007, foram coletadas amostras de folhas-diagnóstico para avaliação do estado nutricional da cultura (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Foram coletadas, aleatoriamente, em cada parcela cinco folhas na posição +1 (sistema Kuijper), as quais constituíram uma amostra composta. De cada folha (F+1) foi coletado apenas o terço médio, aproximadamente 0,2 m, excluída 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”). As amostras de folha +1 foram secas em estufa com circulação forçada de ar (65 °C) até atingirem peso constante, sendo, posteriormente, moídas em moinho de facas tipo Wiley, e analisadas quanto aos teores dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S); e dos micronutrientes: ferro (Fe), cobre (Cu), boro (B), zinco (Zn) e manganês (Mn), no laboratório de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

3.3.2.2. %NPPF e %SPPF e acúmulo de fitomassa seca da parte aérea e raízes da cultura

Foram feitas amostragens de folhas +3 nas microparcelas dos tratamentos que receberam 471 kg ha⁻¹ sulfato de amônio marcados com ¹⁵N/³⁴S (100 kg ha⁻¹ de N e 117 de kg ha⁻¹ de S), em combinação com o tratamento: 80 kg ha⁻¹ de N do ciclo de cana planta, em 4 épocas diferentes, dezembro de 2006, março, maio e julho de 2007. O padrão de amostragem utilizado foi o mesmo adotado por Trivelin et al. (1994). Nas amostragens coletaram-se duas folhas +3 no centro de cada microparcela, e estas constituíram uma amostra. Adicionalmente, coletaram-se duas folhas nas linhas imediatamente adjacentes, em posições contíguas às das microparcelas, que juntas constituíram outra amostra. Essas amostras foram utilizadas para a estimativa de acúmulo de N- e S-fertilizante na parte aérea da planta.

Nestas mesmas datas e parcelas foram feitas avaliações biométricas na parte aérea da primeira soca. A massa de material vegetal da parte aérea foi quantificada colhendo-se perfilhos integrais em 2 m. Essas amostras foram colhidas, fora das microparcelas, nas linhas 9 e 10 de cada parcela.

Na colheita final das plantas das microparcelas que foram fertilizadas com aplicação de SA-¹⁵N/³⁴S na primeira soca, nas doses de 236 e 471 kg ha⁻¹ e que receberam a aplicação de N no plantio, foram colhidas duas amostras, sendo uma de 1 metro, na parte central das microparcelas de 2 metros, e outra correspondente a 2 m, constituída de um metro contíguo ao centro das microparcelas, nas duas linhas imediatamente adjacentes às microparcelas. As amostras foram separadas

em folhas secas, ponteiros e colmos, e nelas determinadas a massa de material vegetal com umidade natural diretamente em campo.

A massa de todo o material vegetal (folhas secas, ponteiros e colmos) com umidade natural (feixe de perfilhos) foi obtida diretamente em campo em balança eletrônica marca Micheletti (carga máxima de 100 kg). Nas biometrias cada amostra (feixe de perfilhos) foi subamostrada (seleção ao acaso de 6-8 perfilhos contendo colmo, folhas secas e folha verde) e a subamostra triturada diretamente no campo, em picadora modelo PN PLUS 2000. Depois de trituradas as subamostras foram homogeneizadas e subsubamostradas novamente, sendo cada subsubamostra acondicionada em saco plástico, devidamente fechado e identificado. Em laboratório, determinou-se as massas das amostras em balança analítica (precisão de 0,01 g) antes e após secagem, em estufa ventilada a 65°C, possibilitando a determinação da umidade do material vegetal. A massa de material vegetal com umidade natural e a matéria seca determinada serão denominadas doravante de fitomassa natural e seca, respectivamente, e com esses valores determinou-se a umidade da fitomassa natural.

Nas amostras vegetais coletadas dentro das microparcelas foram feitas determinações de abundância de ^{15}N e de ^{34}S (% de átomos) por espectrometria de massas conforme descrito mais adiante.

Com a fitomassa natural (2 metros de linha de cana-de-açúcar) e a umidade determinada em laboratório, calculou-se o acúmulo de fitomassa seca em cada época de amostragem, considerando-se que um hectare de cana-de-açúcar, com espaçamento de 1,5 metros entre as linhas, existe 6667 metros de linha da cultura.

As amostras vegetais secas em estufa foram passadas em moinho de facas tipo Wiley e encaminhadas para determinação de N e S.

3.3.2.3. Amostragem de raízes

Nas microparcelas fertilizadas com $\text{SA-}^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$ da primeira soca (doses de 236 e 471 kg ha⁻¹ de N) foram realizadas amostragens de raízes com sonda amostradora de raiz, SONDATERRA, com 5,5 cm de diâmetro interno, amostrando-se de 0,2 em 0,2 m, em 4 profundidades, até 0,8 m, conforme Otto et al. (2009).

As avaliações foram feitas na parte central dos 2 m de linha, mesmos locais em que se fez a colheita de plantas no interior das microparcelas. As amostras foram

colhidas em 3 posições do centro da linha de cana-de-açúcar até a entrelinha, sendo que duas amostras coletadas por profundidade e posição, constituíram uma amostra composta. Os locais de sondagem foram sobre a linha de cana-de-açúcar (ponto A) e a 0,3 m e 0,6 m distante da linha (pontos B e C respectivamente). Nesses últimos pontos colheram-se uma amostra de cada lado da linha cana-de-açúcar, de modo que as 9 amostras representassem todo perfil de solo explorado pelo sistema radicular da cultura, de entrelinha a entrelinha, até 0,8 m profundidade.

No campo, as raízes foram separadas do solo por peneiramento da amostra em peneira de malha 2 mm, separando-se manualmente as raízes que foram embaladas e identificadas. Em laboratório fez-se a lavagem das mesmas sobre peneira de malha 2 mm, sendo as amostras levadas para secagem em estufa a 65^o C; após a secagem determinou-se a fitomassa seca de raízes.

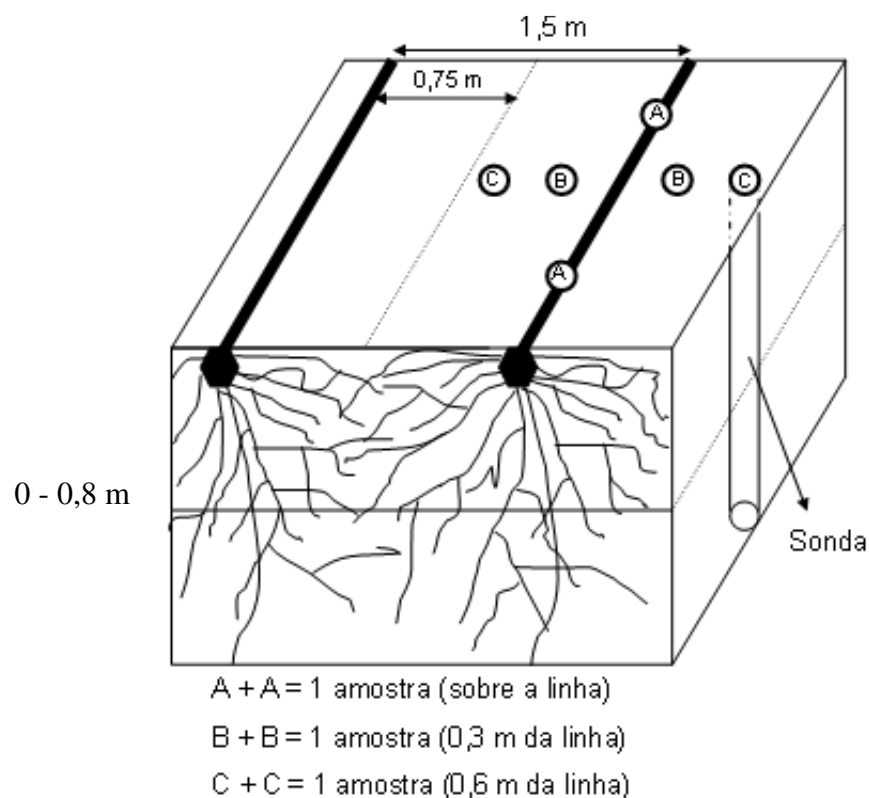


Figura 3 - Esquema de amostragem do sistema radicular com sonda no ciclo de primeira soca

Fonte: OTTO (2007)

3.3.2.4. Produtividade da cana-de-açúcar no ciclo de primeira soca

Em 17 de julho de 2007 foi realizada a colheita da primeira soca para avaliar a produção de colmos industrializáveis (TCH), para tanto foi utilizada máquina colhedora juntamente com caminhão transbordo, provido de célula de carga e instrumentado para registro da fitomassa natural de colmo de cada parcela. A cana-de-açúcar foi colhida nas parcelas de todos os tratamentos e a pesagem deu-se em 4 segmentos de linhas (ruas de cana-de-açúcar), o equivalente a 60 m lineares de sulco para cada parcela.

3.3.3. Ciclo agrícola de segunda soca (2007/2008)

3.3.3.1. Produtividade da cana-de-açúcar no ciclo de segunda soca

A colheita da segunda soca ocorreu em 18 de julho de 2008 e seguiu o mesmo procedimento adotado no ciclo de primeira soca.

3.3.3.2. %NPPF e %SPPF e acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cultura

Na colheita final das plantas das microparcelas que foram fertilizadas com N no plantio e que receberam aplicação de SA-¹⁵N/³⁴S na primeira soca (236 e 471 kg ha⁻¹) e aplicação de N- nitrato de amônio na segunda soca (50 e 100 kg ha⁻¹), foram colhidas seguindo o procedimento adotado no ciclo de primeira soca.

3.4. Determinação de abundância de ¹⁵N e de ³⁴S

Em todas as amostras colhidas nas microparcelas foram feitas determinações de abundância de ¹⁵N e de ³⁴S (% de átomos), respectivamente, nos espectrômetros de massas ANCA GSL, modelo 20/20 da SERCON Ltd. (Figura 4), e ATLAS MAT CH4 (Figura 5). O S-total foi realizado usando-se a metodologia descrita por Rossete et al. (2004), com uso de oxidação alcalina e posterior determinação pelo método de turbidimetria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Com essas determinações avaliou-se o N e o S na planta derivado do fertilizante (%NPPF ou %SPPF) e a

utilização do N/S-sulfato de amônio (NPPF/SPPF – kg ha^{-1} e R-%) pelo método isotópico, conforme Trivelin et al. (1994).



Figura 4 - Espectrômetro de Massas 20-20 ANCA-SL, da Europa Scientific, Crewe, UK, do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP), Piracicaba, SP



Figura 5 - Espectrômetro de Massas Atlas Mat CH4 do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP), Piracicaba, SP

3.5. Análise tecnológica

Na colheita final, em todas as parcelas de tratamentos, colheram-se 10 canas (colmos) seguidamente os quais foram encaminhados para determinação e cálculo dos atributos tecnológicos: Brix (%), Pureza (%), Fibra (%), Pol da cana (%), Açúcares redutores (AR) (%) e açúcar total recuperável (ATR) (kg t^{-1}), realizados segundo Fernandes (2003).

3.6. Balanço hídrico climatológico da cultura

Para a elaboração dos balanços hídricos climatológicos do ciclo de primeira e segunda soca (Figuras 6 e 13) foram utilizados dados de evapotranspiração da cultura e pluviométricos, coletados em estação meteorológica automática Campbell instalada próxima à área experimental e calculados mediante o uso de planilhas eletrônicas (ROLIM; SENDELHAS; BARBIERI apud OTTO, 2007).

3.7. Forma de cálculo e análise dos resultados

3.7.1. Determinação do N e do S na planta proveniente do fertilizante pela técnica isotópica com ^{15}N e ^{34}S

Nas subamostras do material vegetal colhido nas microparcelas foi determinado a umidade (U), o teor de N/S (%N/%S) e a abundância de $^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$ (% em átomos), por espectrometria de massas. A fitomassa natural obtida em um metro linear (FN/m), expresso em kg m^{-1} , as fitomassas totais natural (FN) e seca (FS), expressos em Mg ha^{-1} , e o nitrogênio/enxofre total acumulado (NT/ST) na parte aérea e sistema radicular, expresso em kg ha^{-1} , foram determinados pelas equações 1, 2 e 3, sendo CT, o comprimento total das linhas de cana-de-açúcar por hectare (6667 metros).

$$\text{FN} = (\text{FN/m}) \cdot \text{CT} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{FS} = \text{FN} \cdot [(1 - \text{U}/100)] \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{NT} = 10 \text{ FS } \% \text{N} \dots\dots\dots(3a)$$

$$\text{ST} = 10 \text{ FS } \% \text{S} \dots\dots\dots(3a)$$

Com os resultados de abundância isotópica das amostras (% em átomos de $^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$) da parte aérea e parte subterrânea, obtidos nas colheitas, foram calculadas as porcentagens e quantidade (kg ha^{-1}) do nitrogênio/enxofre proveniente do fertilizante na planta, respectivamente, por meio das equações 4 e 5. Já na equação 6 determinou-se os valores de recuperação (% R_N ou % R_S) do N/S-fertilizante na planta. Para o $\text{NPPF}_{\text{total}}$ ou $\text{SPPF}_{\text{total}}$ (% e kg ha^{-1}), utilizou-se a equação 7 conforme Trivelin et al. (1994). A abundância isotópica natural média (c) de $^{15}\text{N}/^{34}\text{S}$ utilizadas foram 0,366 e 4,28% em átomos, respectivamente.

$$\% \text{NPPF} = [(a - c)/(b - c)] \cdot 100 \dots\dots\dots(4a)$$

$$\% \text{SPPF} = [(a - c)/(b - c)] \cdot 100 \dots\dots\dots(4b)$$

$$\text{NPPF} = [\% \text{NPPF} / 100] \cdot \text{NT} \dots\dots\dots(5a)$$

$$\text{SPPF} = [\% \text{SPPF} / 100] \cdot \text{ST} \dots\dots\dots(5b)$$

$$\% R_N = [\text{NPPF} / \text{NF}] \cdot 100 \dots\dots\dots(6a)$$

$$\%R_S = [SPPF / SF] \cdot 100 \dots\dots\dots(6b)$$

$$NPPF_{total} = (NP_{I^*} PF_{I^*}) + (NP_{I^* - 1} PF_{I^*}) + (NP_{I^* + 1} PF_{I^*}) \dots\dots\dots(7a)$$

$$SPPF_{total} = (SP_{I^*} PF_{I^*}) + (SP_{I^* - 1} PF_{I^*}) + (SP_{I^* + 1} PF_{I^*}) \dots\dots\dots(7b)$$

significando: (a) as abundâncias de $^{15}N/^{34}S$ (% em átomos) na planta e (b) nos fertilizantes, respectivamente; NF é a dose de N/S-fertilizante ($kg\ ha^{-1}$); $NP_{I^*} PF_{I^*}$ ou $SP_{I^*} PF_{I^*}$, o nitrogênio/enxofre nas plantas da linha marcada com isótopo (I^*) absorvido do fertilizante na linha (I^*); $NP_{I^* + 1} PF_{I^*}$ ou $SP_{I^* + 1} PF_{I^*}$ e $NP_{I^* - 1} PF_{I^*}$ ou $SP_{I^* - 1} PF_{I^*}$, o nitrogênio/enxofre nas plantas das linhas adjacentes à parcela com isótopos (I^*_{+1} e I^*_{-1}) absorvido do fertilizante aplicado na linha com fertilizante ^{15}N (I^*).

Os parâmetros de $NPPF_{total}$ ou $SPPF_{total}$ foram utilizados para se obter os resultados do aproveitamento pela planta do N/S da fonte SA, em relação ao nitrogênio/enxofre extraído das demais fontes (solo, palhada, mineralização) e da atmosfera (TRIVELIN et al., 1994).

3.8. Análises estatísticas dos resultados

Os resultados de produtividade e parâmetros tecnológicos foram submetidos à análise de variância utilizando o Teste F de Fisher, ao nível de 95% de confiança. Posteriormente para as causas de variação significativas aplicou-se o teste de significância de Tukey ($p < 0,05$). Procederam-se ainda, análises de regressão dos resultados para verificar o efeito de doses de sulfato de amônio. O teste t, ao nível de 95% de confiança, foi utilizado para comparação das médias dos dados de N- e S-total e N- e S-fertilizante na planta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ciclo agrícola de primeira soca

4.1.1. Balanço hídrico climatológico

As precipitações pluviais iniciaram-se no final do mês de setembro de 2006, porém, o déficit hídrico manteve-se até início de novembro. Nesse período o volume de chuva aumentou e proporcionou pequeno período de excedente hídrico, voltando a apresentar déficit até o início da segunda quinzena de dezembro de 2006. Com as chuvas de primavera-verão houve um período de excedente hídrico, de dezembro de 2006 a março de 2007, mês em que as precipitações diminuíram (Figura 6).

As precipitações pluviais no ciclo de primeira soca foram bem distribuídas e totalizaram 1.445 mm, sendo que as maiores precipitações se concentraram no período de dezembro de 2006 a fevereiro de 2007 (Figura 6), período esse de máximo crescimento da cana-de-açúcar. Para a cana-de-açúcar, precipitação pluvial anual a partir de 1.000 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de altas produtividades (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

No mês de janeiro de 2007 a pluviosidade acumulada foi de 402 mm, representando 28% do total de chuvas ocorridas no ciclo de desenvolvimento da primeira soca. Com a diminuição das chuvas e elevação da evapotranspiração real (ETR) ao final de fevereiro, o solo passou a apresentar déficit hídrico que foi máximo no mês de abril de 2007 (-69 mm) (Figura 6).

Durante o ciclo de primeira soca o excedente hídrico foi de 353,4 mm, inferior ao déficit de 385,5 mm, tendo então, déficit de 32,1 mm de água no solo.

O déficit hídrico na fase de alongamento dos colmos na cana-de-açúcar ocasiona sérios prejuízos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose, pois nesta fase a planta passa por período de alta demanda hídrica (RAMESH, 2000; ROBERTSON et al., 1999; SILVA; COSTA, 2004; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

A ETR foi limitada nos meses de julho a setembro pelo baixo armazenamento de água no solo. As evapotranspirações potencial (ETP) e real (ETR) apresentaram os maiores valores no período de outubro de 2006 a março de 2007, nesse mesmo

período a ETR da cultura foi muito próximo a ETP, devido às condições favoráveis de temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica, período esse denominado de estágio de máximo crescimento da cana-de-açúcar (Figura 6).

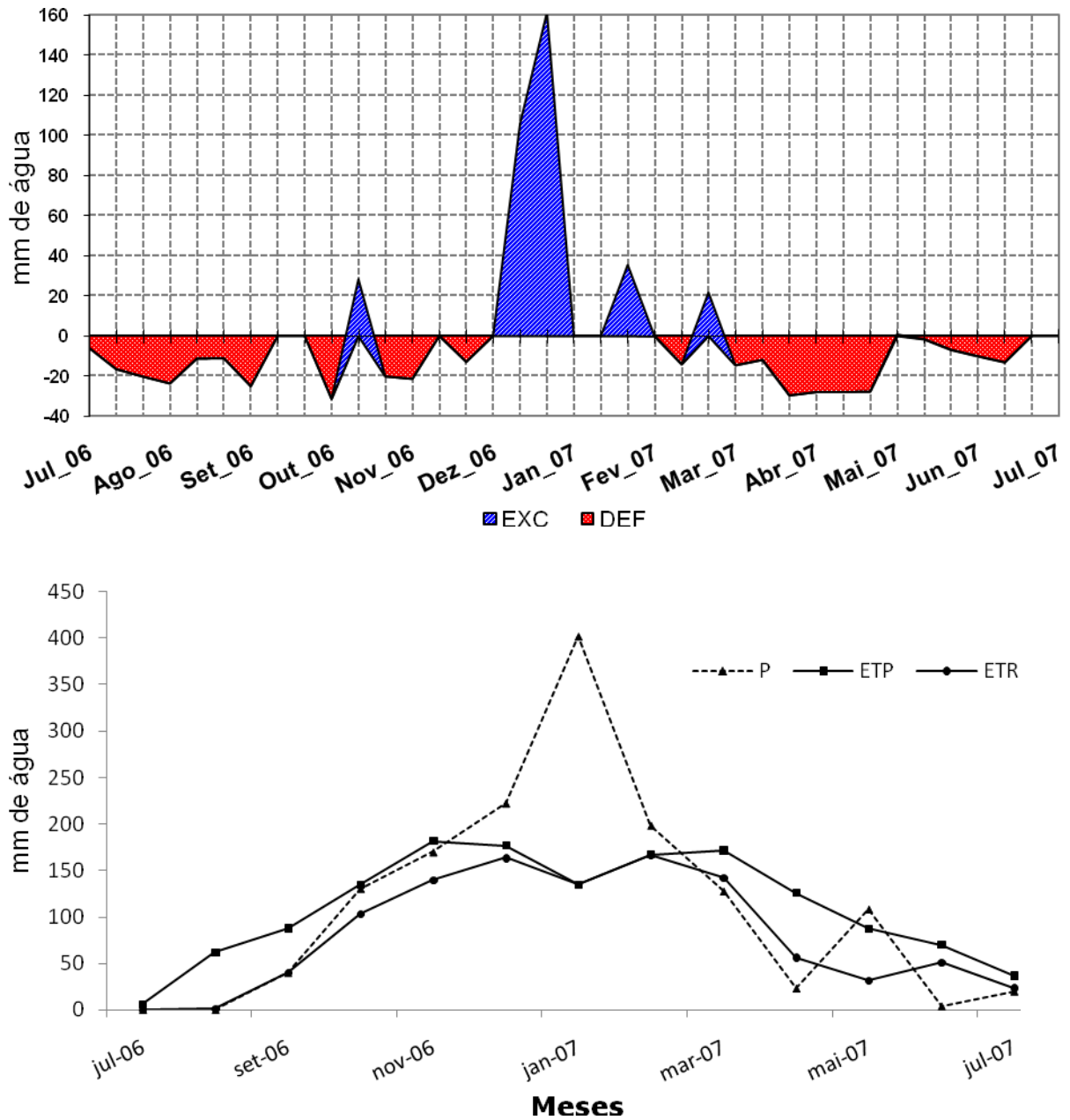


Figura 6 - Balanço hídrico climatológico no ciclo agrícola de primeira soca. ETP: evapotranspiração potencial da cultura; ETR: evapotranspiração real da cultura; DEF: deficiência hídrica do solo; EXC: excedente hídrico do solo; P: precipitação pluvial

O conhecimento isolado das ETP e ETR, assim como do déficit hídrico por todo 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 a cana-de-açúcar apresenta diferentes estádios de crescimento. Em determinados estádios, como o de maturação, o déficit hídrico não apresenta influência tão marcante na produtividade, enquanto que em outros, como o estágio de máximo crescimento, déficits hídricos acentuados podem afetar significativamente a produtividade da cultura (OTTO, 2007).

4.1.2. N e S na planta proveniente do sulfato de amônio (NPPF e SPPF) no ciclo de primeira soca: estimativas por amostragens de folha +3 (F+3)

As estimativas de nitrogênio e enxofre na planta proveniente do fertilizante, feitas no tratamento com dose de 471 kg ha^{-1} de SA no ciclo de primeira soca, foram realizadas partindo-se do princípio que os valores de abundância de ^{15}N (átomos %) em folhas +3 representem o valor médio das concentrações dos isótopos de N na parte aérea da cana-de-açúcar (TRIVELIN, 2000) e da mesma forma para o S. Dos valores de NPPF% e SPPF%, assim obtidos, estimaram-se também os de NPPF e SPPF (kg ha^{-1}) consideradas as extrações totais determinadas na parte aérea, em biometrias realizadas concomitantemente.

A utilização de folhas em plantas de cana-de-açúcar para determinação da abundância de ^{15}N (% de átomos) vem sendo empregada há bastante tempo em pesquisas com fertilizantes nitrogenados em cana-de-açúcar (TAKAHASHI, 1967). Trabalhando com adubo nitrogenado marcado com ^{15}N , Sampaio, Salcedo e Bettany, (1984) utilizaram o valor de abundância do isótopo (% de átomos) do terço médio de folhas +3 ou +4 (folhas com a 3^a e 4^a aurículas visíveis segundo o sistema Kuijper), para estimar o NPPF da planta toda, em alguns estádios de crescimento da cana-de-açúcar. Carnaúba (1989) não observou diferenças na abundância de ^{15}N na primeira folha com aurícula visível e demais folhas verdes, com o colmo e planta inteira, em cana planta e cana soca adubada com uréia- ^{15}N . O autor sugeriu que a folha +1 ou qualquer folha verde poderia ser utilizada como indicadora da abundância média de ^{15}N na planta inteira. Essas constatações da literatura asseguram confiabilidade na interpretação de resultados de estimativas de NPPF% ou SPPF% a partir de amostragens de folhas +3 em diferentes estádios da cultura.

As maiores contribuições percentuais do N e do S na parte aérea da cana-de-açúcar proveniente do fertilizante (NPPF% e SPPF%) foram obtidas nas amostragens de dezembro e março (Figuras 7 e 8), mostrando que parte substancial do N- e do S-total, presentes na parte aérea das plantas, foram absorvidas da fonte mineral aplicada ao solo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. As estimativas de NPPF% e SPPF % em dezembro de 2006, 150 dias após a adubação, representaram 44 e 20% do N- e S-total da planta, respectivamente.

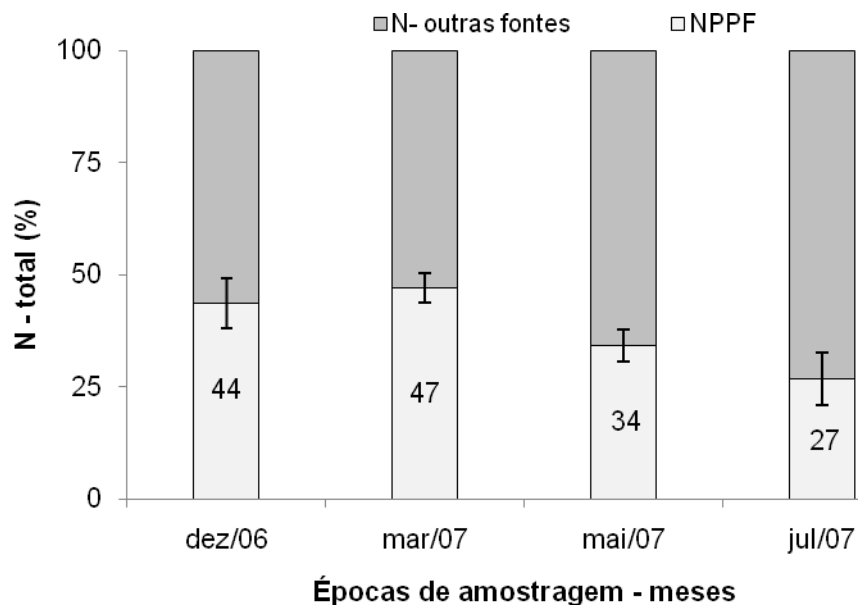


Figura 7 - Contribuição do N proveniente do fertilizante sulfato de amônio (NPPF, %) e do N de outras fontes (N-outras fontes, %) no acúmulo de N-total (%) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

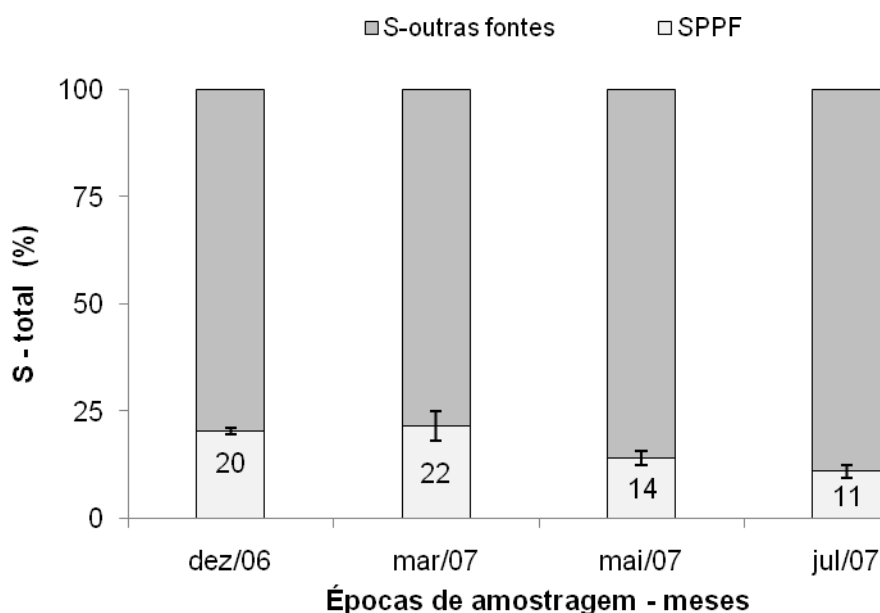


Figura 8 - Contribuição do S proveniente do fertilizante sulfato de amônio (SPPF, %) e do S de outras fontes (S-outras fontes, %) no acúmulo de S-total (%) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Nos estádios iniciais de desenvolvimento da cana-de-açúcar quase 80% da fitomassa seca da planta é composta por folhas verdes, que necessitam de quantidades satisfatórias de N e S para a formação das proteínas estruturais e também para a composição da enzima RUBISCO (FRANCO, 2008, FRANCO et al., 2010a). Com o tempo, após o corte, as plantas de cana-de-açúcar começam a explorar maior volume de solo, devido o crescimento das raízes (OTTO et al., 2009), fazendo com que as quantidades de N e S absorvidas do solo e derivadas do fertilizante sejam diluídas, pelo N e S absorvidos de outras fontes, especialmente, da mineralização da matéria orgânica do solo.

Ao término do ciclo de primeira soca, julho de 2007, a contribuição do NPPF e do SPPF (%) reduziram cerca de 50% quando comparado ao mês de dezembro de 2006, chegando a 27 e 11%, respectivamente, na fração do N- e S-total da parte aérea da planta (Figuras 7 e 8). Da mesma forma, Sampaio, Salcedo e Bettany (1984) em experimento de campo, aplicando a dose de 60 Kg ha⁻¹ de N na forma de uréia no plantio da cana-de-açúcar, verificaram que a contribuição relativa do N-fertilizante para o N-total da planta decresceu ao longo do ciclo da cultura, passando de 44% aos três meses de idade para menos de 10% na colheita.

Vitti (2003), em soqueira de cana-de-açúcar cultivada em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, observou que aos dois meses após a adubação (dezembro de 1999), 50% do nitrogênio total na parte aérea foi proveniente do fertilizante (dose de 70 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio) e que no decorrer do ciclo esse valor decresceu para 21%. O autor relatou que, para a dose maior (140 kg ha⁻¹ de N), também houve maior acúmulo de nitrogênio do fertilizante na parte aérea, nos estádios iniciais de desenvolvimento da soqueira, pois na avaliação realizada em dezembro, 75% do nitrogênio total acumulado na parte aérea da cultura foi proveniente do fertilizante; na colheita essa porcentagem diminuiu para 44%, sendo o dobro da obtida com a dose 70 kg ha⁻¹ de N.

As Figuras 9 e 10 apresentam os resultados de acúmulo de N e S proveniente do fertilizante sulfato de amônio (kg ha⁻¹) e do N e S de outras fontes (kg ha⁻¹) na parte aérea da primeira soca durante o ciclo de desenvolvimento.

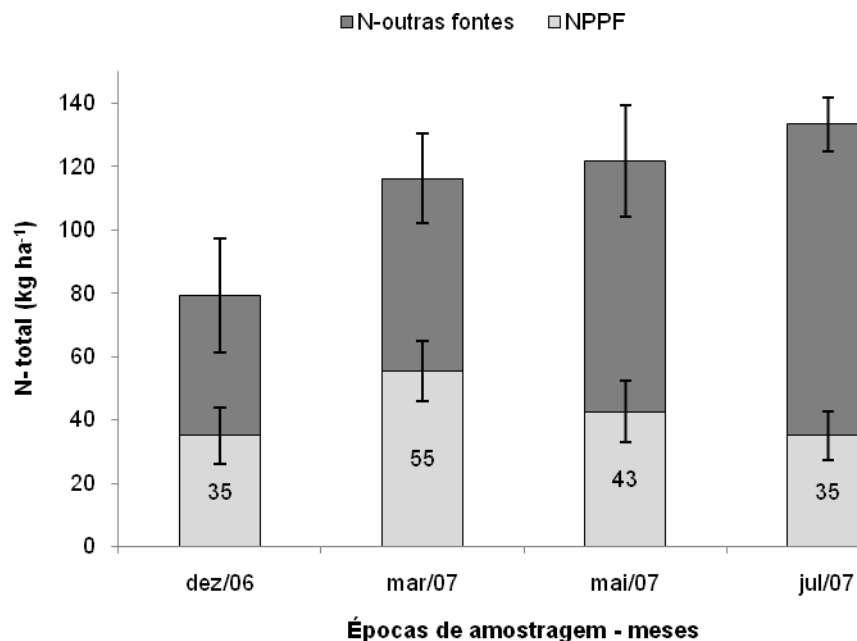


Figura 9 - Acúmulo do N proveniente do fertilizante sulfato de amônio (NPPF, kg ha⁻¹) e do N de outras fontes (N-outras fontes, kg ha⁻¹) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

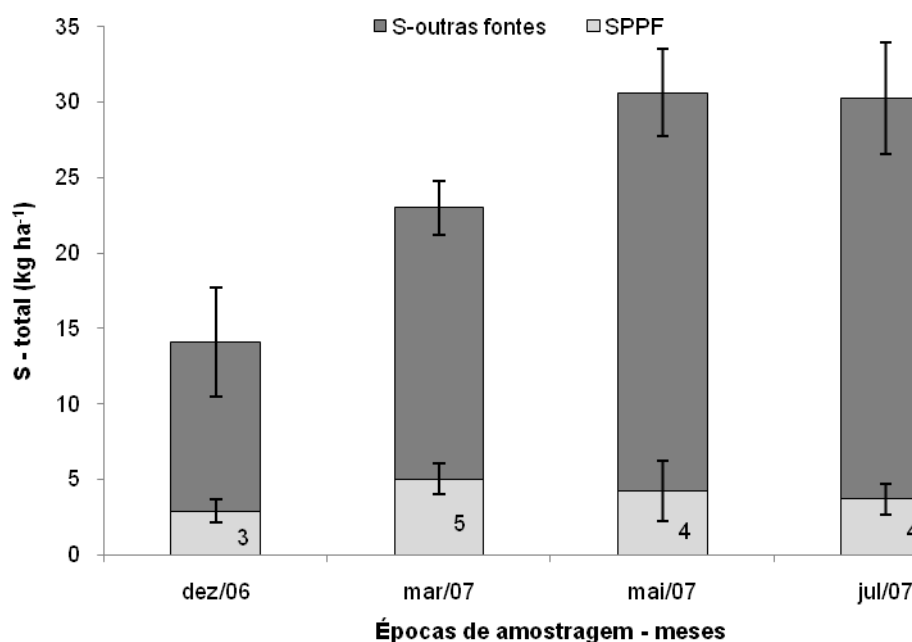


Figura 10 - Acúmulo do S proveniente do fertilizante sulfato de amônio (SPPF, kg ha⁻¹) e do S de outras fontes (S-outras fontes, kg ha⁻¹) na parte aérea da cana-de-açúcar, durante o ciclo da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Em dezembro de 2006, a soca de cana-de-açúcar já havia extraído praticamente todo o N e S do fertilizante acumulado no fim do ciclo de desenvolvimento (Figuras 9 e 10). Este fato ressalta a importância da adubação nitrogenada e sulfatada para a cultura, visto que a planta absorve a maior parte do N e S do fertilizante nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Após o corte da cana-de-açúcar, parte do sistema radicular é renovado tendo início à formação de novas raízes com a emissão dos perfilhos. A aplicação do fertilizante próximo à soqueira, região de maior concentração de raízes, deve favorecer a absorção de N e S solúvel oriundo da fertilização (VITTI, 2003).

O maior acúmulo de N nos estádios iniciais (6^o ao 7^o mês) serve de reserva para a cana-de-açúcar nos períodos subseqüentes (HUMBERT, 1968; SILVEIRA, 1985; TRIVELIN, 2000), pois o N absorvido é acumulado nos vacúolos das células vegetais na forma de NO₃⁻ ou assimilado como glutamato para posterior utilização (TAIZ, ZEIGER, 2009).

Após as plantas absorverem o N-fertilizante nos estádios iniciais de crescimento, essas entram em período de dormência em virtude do início das estações de outono-inverno, as quais são caracterizadas por condições climáticas

adversas ao desenvolvimento vegetal (baixas temperaturas, escassez de chuvas, déficit hídrico e dias curtos). Quando as condições climáticas passam a ser favoráveis ao crescimento da cana-de-açúcar, o que ocorre com início da estação primavera, (início das chuvas e aumento da temperatura), as plantas podem utilizar dessa reserva de N para auxiliar no seu metabolismo, proporcionando maior potencial de crescimento e desenvolvimento devido sua maior reserva de N acumulado nos estádios iniciais de crescimento (FRANCO et al., 2010a).

De maneira geral, a partir de março, houve estabilização no acúmulo de N e S do fertilizante na parte aérea da planta, porém foi correspondente ao período de maior absorção de N e S pela cultura (Figuras 9 e 10), concordando com Sampaio, Salcedo e Bettany (1984).

Com a estabilização do acúmulo de N- e S-total (kg ha^{-1}) no final do ciclo de primeira soca, verificou-se que grande parte de N e S foram derivadas de outras fontes, como a mineralização da matéria orgânica do solo (BITTENCOURT; FAGANELLO; SALATA, 1986; CHAPMAN; HAYSOM; SAFFIGNA, 1992; CHUÍ; SAMUELS, 1981; SAMPAIO et al., 1995; TRIVELIN, 2000; VITTI, 1998) e de resíduos culturais recém incorporados ao solo (BOLOGNA-CAMPBELL, 2007, FARONI, 2008); dos rizomas, da absorção de amônia pela folhagem (FARQUHAR et al., 1980; HOLTMAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994) e do N proveniente da fixação biológica (FBN) (DÖBEREINER; DAY; DART, 1972; LIMA; BODDEY; DÖBEREINER, 1987; URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992).

Trivelin, Rodrigues e Victoria, (1996) e Trivelin, Victoria e Rodrigues (1995) levantaram a hipótese que o N acumulado na parte aérea poderia ser translocado ao sistema radicular, no começo da estiagem, a fim de favorecer o desenvolvimento do sistema radicular. Com base na hipótese levantada pelos autores, Gava (1999), estudando o acúmulo de material vegetal e a recuperação do ^{15}N proveniente da uréia, relatou que as emissões de novas raízes teriam proporcionado maior exploração de volume de solo, aumentando conseqüentemente o potencial de absorção e acúmulo de N no período de 267 a 299 dias após o corte.

4.1.3. Extração de N e S pela cana-de-açúcar avaliada na colheita da primeira soca

Os resultados de extração de N e S na parte aérea e raízes da cana-de-açúcar (primeira soca), relacionadas às doses de sulfato de amônio (236 e 471 kg ha⁻¹ de SA), estão apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Não houve diferença entre os tratamentos nos valores de N extraído, nas diferentes partes da planta (Tabela 6), entretanto para o S verificou-se maior extração na parte aérea e na planta toda (parte aérea e raízes) para a maior dose (Tabela 7).

Em média, a extração de N e S na parte aérea foi de 142 e 22 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabelas 6 e 7), valores coerentes com os de outros trabalhos com cana-de-açúcar (FRANCO, 2008; MENDES, 2006b; MOURA FILHO et al., 2008; VITTI, 2003). Considerando a extração de N e S obtida e a produtividade de 120 Mg ha⁻¹ (Tabela 14) tem-se a necessidade de 1,2 kg ha⁻¹ de N e 0,18 kg ha⁻¹ de S para cada tonelada de colmos produzido por hectare (TCH), corroborando com os resultados obtidos por Coleti et al. (2002); Orlando Filho e Zambello Junior (1980); Silva e Casagrande (1983) e Franco et al. (2008d).

Tabela 6 - N-total (kg ha⁻¹) na primeira soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2007 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	N total, kg ha ⁻¹			
				Parte Aérea ⁽¹⁾	Raízes	Planta Toda ⁽²⁾	
CP	PS						
80	T2	55± 6	38± 4	50± 1	142± 8	11± 1	153± 7
80	T3	52± 6	38± 4	51± 3	141± 6	10± 2	151± 7
Teste t		NS	NS	NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha⁻¹ de SA (50 e 57 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha⁻¹ de SA (100 e 114 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha⁻¹ de N no plantio; PS – primeira soca; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros; Planta Toda⁽²⁾: parte aérea e raízes.

Tabela 7 - S-total (kg ha^{-1}) na primeira soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2007 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾		Raízes	Planta Toda ⁽²⁾
				S total, kg ha^{-1}			
CP	PS						
80	T2	10± 1	6± 1	4± 0,2	20± 1	1± 0,1	21± 1
80	T3	13± 1	7± 1	5± 0,5	25± 1	1± 0,3	26± 1
Teste t		NS	NS	NS	*	NS	*

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha^{-1} de SA (50 e 57 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha^{-1} de SA (100 e 114 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha^{-1} de N no plantio; PS – primeira soca; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros; Planta Toda⁽²⁾: parte aérea e raízes.

Os resultados apresentados na Tabela 6 demonstram que do total de nitrogênio extraído pela planta (parte aérea e raízes), em média, 93% foi encontrado na parte aérea, sendo essa porcentagem distribuída da seguinte forma: 37, 27 e 36% nos colmos, folhas secas e ponteiros, respectivamente.

Bologna-Campbell (2007) trabalhando com cana-planta verificou que de todo o N extraído pela planta, aproximadamente 77% estava presente na parte aérea e 23% nas raízes e rizomas. Já Franco (2008) observou a seguinte distribuição: 81% na parte aérea e 19% nas raízes e rizomas, porém, utilizando somente os valores de N extraídos pela parte aérea e raízes da planta, a distribuição ficou em torno de 93% para a parte aérea e 7% para as raízes, concordando com os resultados obtidos neste trabalho.

A quantidade de nitrogênio acumulado nas raízes, 10 kg ha^{-1} (Tabela 6), pode ser de grande valia, em virtude de ser órgão da planta de importante reserva para as futuras rebrotas, principalmente na fase inicial, potencializando o vigor das brotações de soqueiras (VITTI et al., 2007). Camargo (1989) e Malavolta (1994) relataram que a rebrota da cana-de-açúcar após a colheita é dependente das reservas orgânica e nutricional presente nas raízes e rizomas.

As raízes de plantas terrestres apresentam como suas principais funções a obtenção de água e íons dissolvidos e sua sustentação. Outras funções do sistema

radicular tais como armazenamento, síntese de reguladores de crescimento, propagação e dispersão podem ser consideradas funções secundárias das raízes (FITTER, 1996).

Carneiro, Trivelin e Victoria (1995) estudando a utilização de N dos toletes de plantio (colmo-semente), constataram que quantidade de N translocada dos toletes para a parte aérea no ciclo de cana-planta pode representar de 5 a 10% da necessidade da cultura. Da mesma forma que, considerando a cana-de-açúcar pelo sistema de manejo, semi-perene, a reserva nutricional de N e S da parte subterrânea pode ser fonte potencial de N e S para os perfilhos do ciclo subsequente.

Para o enxofre extraído pela planta (parte aérea e raízes), na média dos tratamentos, 96% estava presente na parte aérea e 4% nas raízes. Dos 96% do enxofre extraído pela parte aérea, 55% localizaram-se nos colmos, 27% nas folhas secas e 18% nos ponteiros (Tabela 7). Percebe-se por esses resultados que mais da metade do S contido na parte aérea das plantas é removido pelos colmos na colheita do canavial, o restante permanece como palhada, constituída de folhas secas e ponteiros. Oliveira et al. (2002) avaliando a decomposição da palhada da cana-de-açúcar colhida mecanicamente e sem queima prévia do canavial, em Piracicaba-SP, constataram que 69% do S presente na palhada foi mineralizado em 11 meses. Considerando-se que 45% do S extraído pela parte aérea da planta está presente nas folhas secas e ponteiro, após 11 meses teríamos a mineralização de 11 kg ha^{-1} de S.

Vitti et al. (2007) obtiveram resposta linear na produtividade de terceira soca (quarto corte) às doses de N aplicadas na segunda soca, em NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, com diferenças de até 100% na produtividade de colmos entre a maior dose de N (175 kg ha^{-1} de N) e a testemunha. As doses de N foram favoráveis ao aumento de produtividade, pois as diferenças se mantiveram para a terceira soca, mesmo sendo aplicada dose única de N após a colheita da segunda soca. A possível explicação para esse efeito pode estar relacionada às baixas reservas de N naquele solo e ao esgotamento do N mineralizado na reforma do canavial, tendo em vista que o estudo foi conduzido nos ciclos de segunda e terceira socas (VITTI et al., 2007). Franco et al. (2007b) verificaram relação direta entre a adubação nitrogenada de cana-planta e o acúmulo de N e S em raízes e rizomas da cultura, o que pode gerar efeito direto em vigor de rebrota da soqueira subsequente, conforme obtido por Vitti et al. (2007).

Os maiores acúmulos, na média dos tratamentos, tanto de N quanto para S, foram encontrados nos colmos, 53 kg ha^{-1} de N e 12 kg ha^{-1} de S (Tabelas 6 e 7). Isto se deve ao fato de o colmo representar o órgão da planta de máxima demanda, com o direcionamento e acúmulo dos fotoassimilados, tendo em vista que ao final do ciclo da cultura os colmos representam 80% da fitomassa seca de toda planta (FRANCO et al., 2010b).

A maior extração de S-total nos órgãos da parte aérea das plantas do tratamento T3, 5 kg ha^{-1} , era esperada, pois nesse tratamento foi aplicada maior quantidade de S via fertilizante mineral. Moreira, Carvalho e Evangelista (1997) verificaram aumento no acúmulo de enxofre no tecido vegetal de alfafa em razão do aumento das doses de gesso aplicadas.

Bologna-Campbell (2007) avaliando o acúmulo porcentual de nitrogênio e enxofre em cana-planta (SP80 3280), em experimento fatorial completo 4×2 , com quatro níveis de N (0; 1,2; 2,4 e $3,6 \text{ g N vaso}^{-1}$, equivalendo a 0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N respectivamente) e dois níveis de S (0 e $2,1 \text{ g S vaso}^{-1}$, equivalendo a 0 e $70 \text{ kg de S ha}^{-1}$) desenvolvido em vasos com capacidade de 200 L, verificou maior acúmulo porcentual do enxofre na maior dose de N, independente da adição ou não de S, demonstrando um sinergismo entre esses nutrientes, ou seja, maior acúmulo de S com o aumento dos níveis de fertilização com N independente da aplicação do S mineral ao solo. A autora relatou ainda, que, o maior acúmulo de S total foi em função da maior produção de matéria seca, uma vez que o aumento nas doses de N diminuiu as concentrações de S nas diversas partes da planta, em função de um possível efeito de diluição proporcionada pelo nitrogênio, sendo que esse mesmo efeito de diluição nas concentrações de S provocado pelo aumento nos níveis de fertilização com N foi observado por Batista (2002) e Bonfin-Silva (2005) em diversas partes dos capins Marandu e Braquiária.

Considerando-se que, com a despalha a fogo na colheita toda fitomassa de folha seca e ponteiro fosse queimada, em média, 62% e 46%, respectivamente, de todo o N e S, absorvido pela parte aérea da planta seriam perdidos do sistema (Tabelas 6 e 7). Basanta et al. (2003) estudando a reciclagem de N da palhada de cana-de-açúcar em dois tipos de manejo, com queima e sem queima da palha prévia a colheita, verificaram que sem a queima, $105 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de N foram reciclados no sistema contra $31 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de N no manejo com queima, demonstrando que $83,5 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de N deixaram de ser incorporados no sistema nesse tipo de manejo.

Devido ao fato de o S ser tratado secundariamente no manejo de nutrientes e de fertilizantes nos canaviais brasileiros, os resultados aqui apresentados demonstram a importância da manutenção dos resíduos culturais no agrossistema mediante a prática da colheita sem despalha a fogo (cana crua).

Dessa forma, pode-se inferir que ocorreria redução do S do solo para as safras subsequentes com possibilidade de deficiência na cana-de-açúcar. Entretanto, os resultados da análise química de amostras de terra apresentados na Tabela 4 evidenciam alterações na disponibilidade de S, na camada 25 a 50 cm, em função doses de SA aplicadas, sendo que a maior dose (707 kg ha^{-1}) proporcionou duas vezes mais S que a menor dose (236 kg ha^{-1}). Dillewijn (1952) relatou que a cana de açúcar apresenta raízes superficiais, de fixação e cordão, que possibilitam a absorção dos nutrientes em maiores profundidades, podendo dessa forma absorver o S em subsuperfície.

4.1.4. NPPF (%), SPPF (%) e recuperação (kg ha^{-1} e %) de N e S do fertilizante na colheita da primeira soca da cana-de-açúcar

Nas Tabelas 8 e 9 verificam-se, em geral, que as doses de SA aplicadas no ciclo de primeira soca proporcionaram absorção diferenciada de N e S. Considerando-se a planta toda a maior dose de SA, 471 kg ha^{-1} , (T3) proporcionou maiores porcentagens de NPPF e SPPF.

O percentual de N-fertilizante na parte aérea da planta foi duas vezes maior no tratamento T3 do que no tratamento T2 (236 kg ha^{-1}).

Os percentuais de N- e S-fertilizante nas diversas partes da planta foram em média de 28 e 10% nos colmos, 28 e 10% nas folhas secas, 21 e 14% nos ponteiros, 26 e 11% na parte aérea, 10 e 8% nas raízes, respectivamente (Tabelas 8 e 9).

A maior participação do S-fertilizante obtida nos ponteiros da cultura, da ordem de 14%, demonstra a importância desse nutriente na formação dessa parte da planta (Tabela 9). Entretanto, para o N-fertilizante, sua maior contribuição foi obtida nas folhas secas da ordem de 30% (Tabela 8).

Vitti (2003) utilizando fertilizantes marcados com ^{15}N verificou que as folhas mais velhas ficam mais enriquecidas em ^{15}N , em função das mesmas se desenvolverem primeiro que os ponteiros, o que mostra absorção preferencial do N

do adubo no início do desenvolvimento da planta. Esse resultado evidencia o fato discutido em capítulo precedente a respeito do maior aproveitamento do N-fertilizante nos estádios iniciais da cultura, ficando registrado esse efeito nas folhas secas que tiveram atividade fisiológica no início do ciclo da soqueira de cana-de-açúcar.

Gava et al. (2001) verificaram que o N na planta proveniente do fertilizante representou 10 a 16% do N total acumulado na parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar, enquanto Trivelin, Victoria e Rodrigues (1995) obtiveram um valor menor que 15% em cana-soca de fim de safra. Bologna-Campbell (2007) analisando a composição do N e S na parte subterrânea (raízes + rizomas) da cana-de-açúcar verificou que, cerca de 19 e 23%, respectivamente, do N e do S foi proveniente do fertilizante.

Tabela 8 - Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾	Raízes	Planta Toda ⁽²⁾	NPPF, (%)	
							CP	PS
80	T2	17±2	22± 2	15± 1	17± 1	8± 1	16± 1	
80	T3	38±4	35± 2	27± 2	36± 2	11± 1	34± 2	
Teste t		*	*	*	*	NS	*	

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha⁻¹ de SA (50 e 57 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha⁻¹ de SA (100 e 114 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha⁻¹ de N no plantio; PS – primeira soca; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros; Planta Toda⁽²⁾: parte aérea e raízes.

Tabela 9 - Enxofre na planta proveniente do fertilizante (SPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento		Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾	Raízes	Planta Toda ⁽²⁾
CP	PS	SPPF, (%)					
80	T2	10± 1	6± 1	13± 4	9± 1	7± 2	9± 1
80	T3	11± 2	15± 3	16± 1	13± 1	8± 2	13± 1
Teste t		NS	*	NS	*	NS	*

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha⁻¹ de SA (50 e 57 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha⁻¹ de SA (100 e 114 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha⁻¹ de N no plantio; PS – primeira soca; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros; Planta Toda⁽²⁾: parte aérea e raízes.

Em algumas espécies de plantas compostos contendo S reduzido, como a glutaciona, podem ser transportados na direção acrópeta para as folhas novas ou na direção basípeta para o caule e raízes (HERSCHBACH; RENNENBERG, 1995; HARTMANN et al., 2000). Silva et al. (2003) em estudo de translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja, verificaram maior proporção do ³⁵S nas folhas superiores ou seja folhas novas das plantas de soja, enquanto que em plantas de milho o radioisótopo se redistribuiu para outras partes da planta, retendo grande parte desse elemento nas raízes. Os autores relataram ainda não existir uma tendência bem definida para a redistribuição do ³⁵S nas diferentes partes das plantas de milho e soja em razão do tempo.

A contribuição média porcentual do N- e do S-fertilizante na composição do N- e do S-total da planta foi de 25% do N e 11% do S. O porcentual de N-fertilizante na parte aérea das plantas do tratamento T3 foi de 18% a mais que o tratamento T2; no entanto, para o S-fertilizante a diferença foi menor com cerca de 4%, praticamente as mesmas diferenças considerando o N- e S-fertilizante da planta toda (parte aérea e raízes) (Tabelas 8 e 9).

Bologna-Campbell (2007) encontrou valor superior para o S, cerca de 25,6% do S total foi fornecido pelo fertilizante e contribuição inferior de 19,5% para N-total na planta toda (parte aérea, raízes e rizomas). Por outro lado, Teixeira (2004) trabalhando com plantas de milho e soja em vasos com 7 kg de terra, fechados e

sem sistema de drenagem em dois solos contrastantes, argiloso e arenoso, constatou que a porcentagem do enxofre derivada do fertilizante foi da ordem de 40% na planta toda.

Os resultados de maior contribuição de S-fertilizante observados por Bologna-Campbell (2007) e Teixeira (2004) podem ser atribuídos à característica de cultivo em vasos, o que favoreceu a exploração dos nutrientes presentes no solo, pelas raízes das plantas nessas condições de cultivo (MENDES, 2006a). No presente experimento o menor aproveitamento de S-fertilizante pode ser explicado pelo fato de o experimento ter sido desenvolvido em campo, cujo solo apresentava alto teor de S (Tabela 3).

A baixa utilização do S do fertilizante pode ser devida à elevada capacidade de adsorção de SO_4^{2-} devido à abundância de óxidos de Fe e Al e ao baixo pH de Latossolos, Nitossolos e Argissolos (Ultisols, Alfisols e Oxisols) (CAMBERATO; PAN, 2000). Antes da adubação da primeira soca o valor do pH observado foi de 5,4 na camada de 0 a 25 cm e 4,5 na camada de 25 a 50 cm, que pode ter favorecido a retenção do S em camadas subsuperficiais (Tabela 3).

Os valores respectivamente de NPPF(%) e SPPF(%) (10 e 7%) nas raízes podem ser atribuídos, em parte, à remobilização do nutriente da parte aérea para a parte subterrânea da cultura (raízes e rizoma), com o objetivo de constituir reserva nutricional da planta garantindo melhor vigor da rebrota (VITTI et al., 2007). Essa remobilização segundo Feller e Fischer (1994) ocorre durante a senescência das folhas quando as proteínas dos cloroplastos são degradadas e frações de nitrogênio são deslocadas via floema para outras partes das plantas, tais como raízes e rizomas.

O direcionamento de reservas da parte aérea para a parte subterrânea foi constatado por Trivelin, Coleti e Lara Cabezas (1984) que verificaram que 7% do nitrogênio aplicado na parte aérea da planta foi translocado ao sistema radicular e posteriormente utilizado pela primeira rebrota da cana-de-açúcar.

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados os valores de recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do N e do S da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da planta na colheita da primeira soca.

Tabela 10 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do N da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento		Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾	Raízes	Planta Toda ⁽²⁾
CP	PS	————— (kg ha ⁻¹) —————					
80	T2	8± 1	7± 1	8± 1	24± 1	1± 0,1	25± 1
80	T3	19± 1	16± 4	16± 2	50± 4	1± 0,1	51± 3
Teste t		*	NS	*	*	NS	*
————— (%) —————							
80	T2	16± 2	14± 2	16± 1	48± 1	2± 0,2	50± 1
80	T3	19± 1	16± 4	16± 2	50± 4	1± 0,1	51± 4
Teste t		NS	NS	NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha^{-1} de SA (50 e 57 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha^{-1} de SA (100 e 114 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); CP - cana planta que recebeu 80 kg ha^{-1} de N no plantio; PS - primeira soca. Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros. Planta Toda⁽²⁾: parte aérea e raízes.

Tabela 11 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do S da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da primeira soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento		Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾	Raízes	Planta Toda ⁽²⁾
CP	PS	————— (kg ha^{-1}) —————					
80	T2	1,0±0,2	0,3±0,1	0,5±0,1	1,8±0,3	0,1±0,0	1,9±0,3
80	T3	1,5±0,3	1,1±0,3	0,7±0,1	3,3±0,3	0,1±0,0	3,4±0,3
Teste t		*	*	NS	*	NS	*
————— (%) —————							
80	T2	1,8±0,3	0,6±0,1	0,8±0,2	3,2±0,5	0,1±0,0	3,4±0,5
80	T3	1,3±0,3	1,0±0,2	0,6±0,1	2,9±0,3	0,1±0,0	2,9±0,3
Teste t		NS	NS	NS	NS	*	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha^{-1} de SA (50 e 57 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha^{-1} de SA (100 e 114 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); CP – cana planta que recebeu 80 kg ha^{-1} de N no plantio; PS – primeira soca; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros; Planta Toda⁽²⁾: parte aérea e raízes.

A recuperação do N- e do S-fertilizante pela cana-de-açúcar no ciclo de primeira soca foi proporcional à dose aplicada. No tratamento que recebeu 236 kg ha^{-1} de SA (T3) correspondente a 50 kg ha^{-1} de N e 57 kg ha^{-1} de S a recuperação na planta toda (parte aérea e raiz) foi de 25 e 2 kg ha^{-1} de N e S, respectivamente, o que correspondeu a 50% da dose de N e 3,4% da dose de S. No tratamento que recebeu 471 kg ha^{-1} de SA correspondente a 100 kg ha^{-1} de N e 114 kg ha^{-1} de S a recuperação do fertilizante foi de 51 kg ha^{-1} para o N e $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$ para o S, que correspondeu a 51% em eficiência de recuperação para o N e de 2,9%. Assim, a eficiência de recuperação porcentual de N- e S-fertilizante, não diferiu independente da dose aplicada. Trivelin et al. (2002a) e Vitti (2003) também constataram efeitos semelhantes de recuperação de N (kg ha^{-1} e %) em seus experimentos.

Franco (2008) verificou recuperações pela cana-planta (planta toda) de 30, 30 e 21% de N-fertilizante aplicado no plantio nas doses 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N. Levando em consideração que não houve perda por volatilização, pois o fertilizante

(uréia) foi aplicado no sulco de plantio e que a lixiviação de N-fertilizante na área (25 g ha^{-1}) foi desprezível (GHIBERTO, 2009). A menor recuperação observada pelo autor pode ter ocorrido em razão da imobilização do N-fertilizante pela incorporação de grande quantidade de resíduos com elevada proporção de carbono durante o preparo de solo para implantação da cultura (FRANCO et al., 2007a). É possível que o N do fertilizante tenha sido imobilizado na matéria orgânica e que o nitrogênio orgânico tenha sido mineralizado (JANSSON; PERSSON, 1982). Meier et al. (2006) também constataram imobilização do N-fertilizante cultivando cana-de-açúcar no Norte da Austrália.

A distribuição média do N-fertilizante absorvido nas diversas partes da planta na colheita da primeira soca foi de 36% nos colmos, 30% nas folhas secas, 31% nos ponteiros e 3% nas raízes, aproximadamente (Tabela 10). Franco (2008) verificou que a distribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante na cana-planta (planta toda) foi de: 50% nos colmos, 22% nas folhas secas, 20% nos ponteiros e 8% nas raízes.

De todo S-fertilizante absorvido pela planta, em média, 47% foram distribuídos nos colmos, 26% em folhas secas, 23% nos ponteiros e 4% nas raízes (Tabela 11). Bologna-Campbell (2007) constatou, no momento da colheita da cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta, cultivada em vasos plásticos, que 44 % do N-fertilizante absorvido pela cana-de-açúcar estavam acumulado nas folhas secas, 22 % nas raízes e rizomas, 19 % nos colmos e 15 % nos ponteiros. Para o S-fertilizante acumulado a autora encontrou 46% nos colmos, 28% nas folhas secas, 18% nas raízes e rizomas e 8% nos ponteiros. Talvez esta maior recuperação obtida nas raízes, em relação ao presente trabalho, possa ser atribuída ao confinamento do sistema radicular.

A recuperação média na parte aérea do N-fertilizante de 49% (Tabela 10) superior a 10 vezes a recuperação média do S-fertilizante de 3% (Tabela 11), poderia ser justificado pela possível lixiviação do elemento (BOLOGNA-CAMPBELL, 2007), que não é o caso, pois Ghiberto (2009) avaliando a lixiviação de macronutrientes na área constatou que $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de S-fertilizante foi lixiviado a 90 cm de profundidade. A explicação plausível seria a maior imobilização pela microbiota do solo ou simplesmente pelo fato de a planta requerer mais N que S. Esses valores de recuperação de N incluem-se na faixa dos resultados da literatura para condições de campo (WONG YOU CHEONG; NG KEE KWONG; CAVALOT,

1980; SAMPAIO; SALCEDO; BETTANY, 1984; WENG; CHAN; LI, 1991; CHAPMAN; HAYSOM; SAFFIGNA, 1994; TRIVELIN; RODRIGUES; VICTORIA, 1996; TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995; GAVA et al., 2001; FRANCO et al., 2008c).

4.1.5. Diagnose foliar no ciclo de primeira soca

A caracterização química de terra após a colheita da cana planta (Tabela 3) foi praticamente idêntica nos tratamentos com as doses 0 e 80 kg ha⁻¹ de N no plantio. Esse fato leva-se a inferir que as respostas aos tratamentos de cana-soca não foram influenciados por diferenças na fertilidade do solo causadas pelo manejo da adubação de cana planta.

As concentrações foliares de nutrientes (Tabela 12) encontraram-se na faixa de suficiência, sugerida para a cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1997), exceto para os teores de Ca e S, que estavam no limite inferior e próximo a faixa considerada adequada respectivamente. Para os micronutrientes os teores foliares de B e Cu revelaram-se abaixo da faixa normal para a cana-de-açúcar (RAIJ; CANTARELLA, 1997).

Não foi constatada interação entre as adubações de cana-planta e primeira soca para nenhum dos teores foliares de nutrientes na primeira soca.

Tabela 12 - Concentrações adequadas de macronutrientes e micronutrientes na folhas-diagnóstico (F+1) para os canaviais do Estado de São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1997) e concentrações macro e micronutrientes nas folhas-diagnóstico (F+1), na época de máximo crescimento da primeira soca de cana-de-açúcar

Nutrientes	N	K	P	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Faixa de suficiência	18 - 25	10 - 16	1,5 - 3,0	2,0 - 8,0	1,0 - 3,0	1,5 - 3,0	10 - 30	6 - 15	40 - 250	25 - 250	10 - 50
Teores de nutrientes na diagnose foliar											
Tratamentos g kg ⁻¹	N	K	P	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Cana planta (U)⁽¹⁾											
0	21,1	16,3	2,4	2,0	1,5	1,6	7,6	5,57	64,7	62,9	12,8
80	20,3	17,0	2,3	1,8	1,4	1,6	7,3	5,65	64,6	60,5	12,8
CV (%)	9	6	10	24	22	6	21	7	12	8	7
Primeira soca (SA)⁽²⁾											
0	20,4	16,8	2,4	1,9	1,4	1,5	7,1	5,6	64,1	58,1	12,7
236	20,6	16,7	2,3	1,9	1,4	1,5	6,6	5,4	65,5	62,1	12,4
471	21,0	15,9	2,3	2,0	1,5	1,6	7,6	5,8	64,7	56,5	13,1
707	20,9	17,3	2,4	1,9	1,5	1,7	8,4	5,6	64,1	70,0	13,0
CV (%)	4	10	7	14	11	5	33	7	11	13	10
F CP ⁽³⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F PS ⁽⁴⁾	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS
F CPxPS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo, respectivamente

⁽¹⁾U:Uréia; ⁽²⁾SA: Sulfato de amônio; ⁽³⁾CP:cana-planta; ⁽⁴⁾PS:primeira soca

Na Figura 11 observou-se correlação linear positiva entre o teor de S nas folhas-diagnóstico e os tratamentos com doses de sulfato de amônio (0, 236, 471 e 707 kg ha⁻¹) no ciclo de primeira soca.

Tendo em vista que as concentrações de nutrientes determinadas nas folhas vegetais refletem o melhor estado nutricional das plantas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) tem-se que a relação N/S nas folhas foi em média de 13/1, muito próximo da relação considerada adequada. As doses de SA não alteraram os teores de N das folhas-diagnóstico.

De acordo com Malavolta (1980) há uma estequiometria muito fixa entre o N e o S, sendo que, em média, há aproximadamente 34 átomos de N para cada átomo de S e, para a maioria das culturas a relação entre os nutrientes na matéria seca das plantas é da ordem de 15/1, embora uma relação entre 10 e 15 indique nutrição adequada (PRATES et al., 2006).

Avaliando a aplicação de sulfato de amônio na soqueira de cana-de-açúcar, em oito experimentos, Espironelo et al. (1986) observaram que não houve relação significativa dos teores de N e S das folhas-diagnóstico com as doses de adubo. Os autores encontraram teores de N nas folhas variando de 15 a 22 g kg⁻¹ e de 1,1 a 3,1 g kg⁻¹ para S, apresentando dessa forma relação N/S de 10/1 a 7/1.

Vieira (2009) avaliando a eficiência agrônômica das fontes cloreto de amônio, nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia como adubo nitrogenado para a cultura da cana-de-açúcar, constatou que para todos os tratamentos houve aumento (ao nível de 1%) da concentração foliar de S, sendo que o tratamento com sulfato de amônio foi o que apresentou maior concentração foliar de S. A autora relatou a importância da adubação nitrogenada associada ao fornecimento de enxofre às plantas de cana-de-açúcar, visto que a maior concentração de S nos tratamentos com N ocorreu devido ao sinergismo entre o N e S na produção e formação das proteínas.

As assimilações tanto de N quanto de S são coordenadas, e a deficiência de um elemento reprimi a via assimilativa do outro (KOPRIVOVA et al., 2000 apud EPSTEIN; BLOOM, 2006). Dessa forma para se garantir o equilíbrio desses nutrientes na planta é imprescindível que muita atenção seja dada a relação N/S da adubação (MALAVOLTA, 2006).

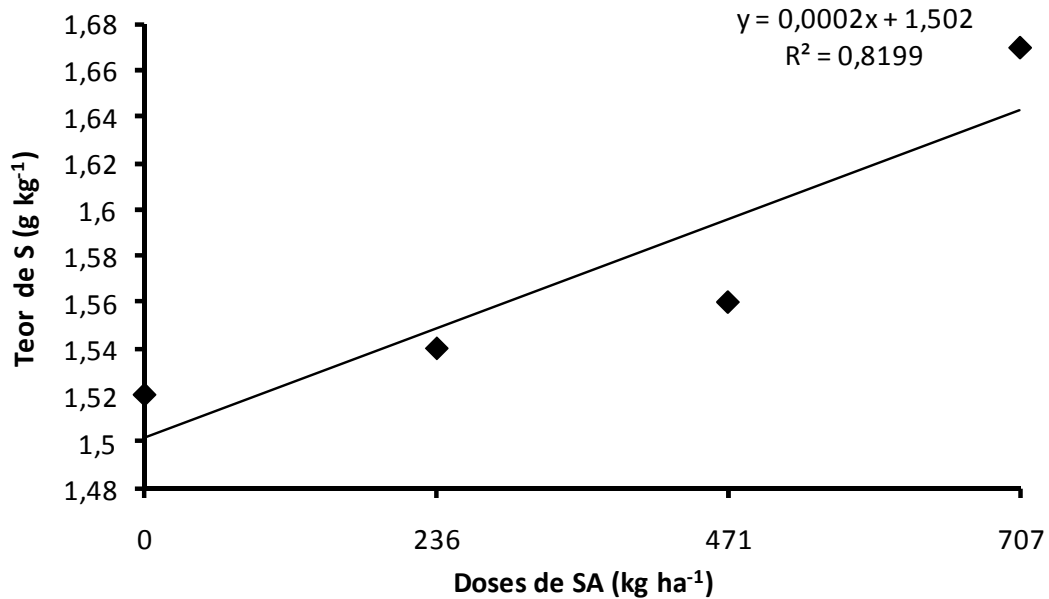


Figura 11 - Teor de S nas folhas-diagnóstico (F+1), na época de máximo crescimento da primeira soca de cana-de-açúcar

Os teores de Mn nas folhas-diagnóstico apresentaram correlação linear positiva moderada ($r = 0,41$) com as doses de sulfato de amônio aplicadas no ciclo de primeira soca (Figura 12). Resultados contrários a esses foram obtidos por Netto et al. (2009) que observaram efeito quadrático negativo para os teores de Mn nas folhas-diagnóstico da cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada.

Uma possível explicação para que a adubação nitrogenada aumentasse o teor de Mn nas folhas está no fato de o micronutriente atuar no metabolismo do N na planta, uma vez que a redutase do nitrito e a redutase da hidroxilamina são ativadas pelo elemento. A síntese da glutamina que catalisa a assimilação de NH_3 em um composto orgânico pode ter Mn^{+2} , embora com menor eficiência. Portanto, há de se esperar aumentos na extração de Mn pelas plantas com maior extração de N (MALAVOLTA, 2006).

Ressalta-se que a análise das folhas-diagnóstico foi realizada com a finalidade de se avaliar o estado nutricional da cultura.

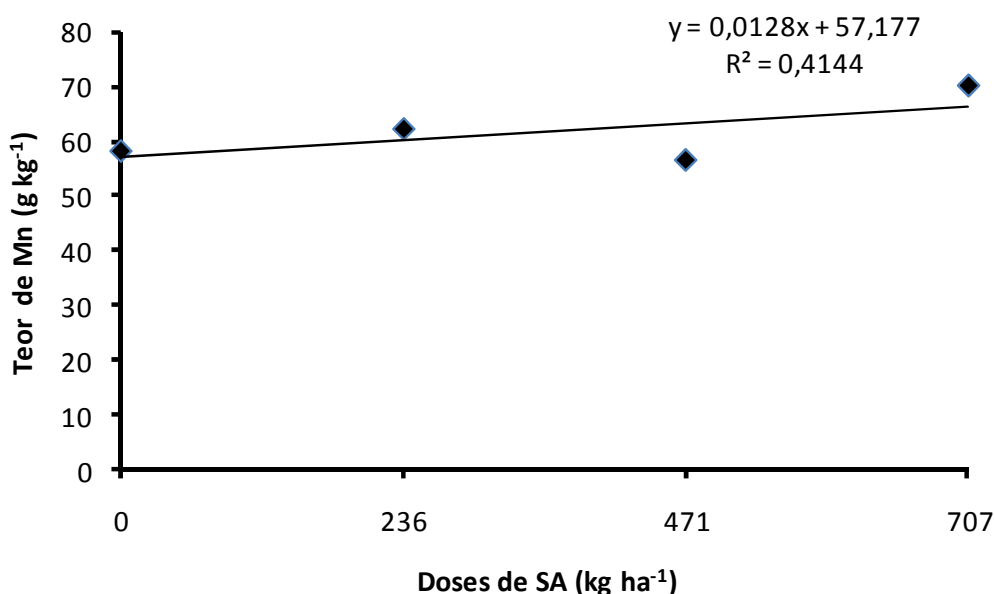


Figura 12 - Teor de Mn nas folhas–diagnóstico (F+1), na época de máximo crescimento da primeira soca de cana-de-açúcar

4.1.6. Produtividade e qualidade tecnológica de colmos na colheita da primeira soca de cana-de-açúcar

Na Tabela 13, a produtividade de colmos (TCH) da primeira soca no tratamento com adubação nitrogenada no plantio (80 kg ha⁻¹ de N) mostrou-se 4 Mg ha⁻¹ maior que a testemunha, indicando possível efeito residual dessa adubação com N. Penatti, Donzelli e Forti (1997) e Orlando Filho et al. (1999) constataram efeito residual do nitrogênio aplicado no plantio na produtividade das soqueiras de cana, e observaram maior vigor das soqueiras e aumento de produção nos cortes subsequentes, entre a cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada.

Avaliando o efeito residual do nitrogênio aplicado em soqueira, em solo de textura arenosa, Vitti et al. (2007) encontraram resposta significativas para a produção de colmos no ano-safra subsequente para aplicação de doses diferenciadas. Os autores relataram ainda que a diferença na produção de colmos foi de 50% para o tratamento que recebeu aplicação nitrogenada (175 kg ha⁻¹) no ano interior. Esses resultados foram atribuídos ao efeito residual da adubação, com reflexo no vigor da soqueira de cana-de-açúcar (MALAVOLTA, 1994; ORLANDO FILHO et al., 1999).

Vitti et al. (2003) verificaram correlação positiva entre o acúmulo de N e S no sistema radicular (raízes e rizomas) no início do ciclo da soqueira com a produtividade de colmos no final desse ciclo, fato que evidencia o efeito residual da adubação de um ciclo para outro, sendo este de grande valia, por se tratar de uma cultura semi-perene, que depende das reservas contidas no sistema radicular para formação de rebrota vigorosa da soqueira.

Tabela 13 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), umidade da fitomassa da parte aérea (PA), fitomassa seca (kg ha⁻¹) de colmos, folhas, ponteiros e parte aérea, da primeira soca de cana-de-açúcar

Tratamentos	TCH Mg ha ⁻¹	Umidade da PA %	Fitomassa Seca			
			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
kg ha ⁻¹						
Cana planta (U)⁽²⁾						
0	118 b	74	30.643	9.369	4.664	44.676
80	122 a	74	31.528	9.655	4.765	45.948
CV (%)	1	2	6	17	12	6
Primeira soca (SA)⁽³⁾						
0	118	74	30.727	9.278	4.318	44.323
236	121	74	31.429	9.342	5.011	45.792
471	118	74	30.683	10.037	5.039	45.759
707	123	74	31.493	9.392	4.490	45.375
CV (%)	7	2	7	13	13	6
F CP ⁽⁴⁾	*	NS	NS	NS	NS	NS
F PS ⁽⁵⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F CPxPS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; * e NS: significativo a 5% e não significativo, respectivamente. ⁽¹⁾PA: parte aérea (colmos, ponteiros e folhas secas). ⁽²⁾U: uréia aplicada na cana planta. ⁽³⁾SA: sulfato de amônio aplicado na primeira soca. ⁽⁴⁾CP: cana-planta. ⁽⁵⁾PS: primeira soca.

Em média, considerando a fitomassa seca total da parte aérea, os colmos, os ponteiros e as folhas secas representaram, respectivamente, 68%, 11% e 21%. Os tratamentos que receberam nitrogênio no plantio produziram, em média, 900 kg ha⁻¹ de fitomassa seca de colmos a mais que os tratamentos que não receberam a aplicação de nitrogênio no plantio, entretanto, os resultados não diferiram pela estatística.

As doses de SA aplicados na primeira soca não incrementaram significativamente a produção de fitomassa seca da parte aérea nem a produção de colmos industrializáveis (TCH), embora a maior dose de SA aplicada tivesse proporcionado 5 TCH a mais que a testemunha.

A ausência de resposta em aumento de produção de colmos em função da aplicação de S em cana-planta foi relatada por Bologna-Campbell (2007). Franco (2008) explicou, em parte, que altas produtividades de colmos das soqueiras podem estar relacionadas com uma maior reserva de N no sistema radicular, sendo esta reserva favorecida por maior quantidade de N aplicado no plantio.

A falta de resposta à adubação com doses de SA nesse trabalho pode ser atribuída ao fato de ser uma primeira soca que ainda pode ter a disposição quantidade satisfatória de N mineralizado no solo, após a reforma do canavial; ao estoque de resíduos culturais (30 Mg ha⁻¹), contendo 200 kg ha⁻¹ de N (FRANCO et al., 2007a), incorporados na reforma do canavial que, provavelmente, forneceu N à cultura no ciclo de primeira soca e ao teor elevado de S-SO₄ em subsuperfície (Tabela 3). Outra possível causa da falta de resposta pode estar relacionada às aplicações de vinhaça em anos anteriores ao da instalação do experimento que enriqueceram o solo com N-orgânico do resíduo. Por outro lado, o fato de a diferença entre as TCH da primeira soca, considerados os tratamento de cana planta, se apresentar significativa para um diferença de 4 Mg ha⁻¹, e entre as TCH da maior dose de SA e a testemunha, também, na primeira soca não diferirem, com maior diferença entre as médias (5 Mg ha⁻¹), se deveu a maior CV% no último caso.

O discutido demonstra como a variabilidade de resultados pode mascarar efeito de tratamentos se a análise dos resultados ficar restrita à significância estatística. Para isso deve-se procurar obter o maior número de graus de liberdade do resíduo, o que é obtido com maior número de repetições por tratamento. Muitas vezes isso é impossível de se conseguir num esquema experimental em campo, especialmente com cana-de-açúcar, que necessita de grandes parcelas.

A qualidade tecnológica de colmos na colheita da primeira soca (Tabela 14) não foi alterada tanto pela adubação nitrogenada de cana-planta como pela adubação da primeira soca.

Tabela 14 - Qualidade tecnológica de colmos na colheita da primeira soca de cana-de-açúcar

Tratamentos	Brix	Pureza	Fibra	PC ⁽¹⁾	AR ⁽²⁾	ATR ⁽³⁾
Cana planta						
(U)⁽⁴⁾						
0	16,72	87,89	10,59	14,70	0,64	145,01
80	17,14	88,29	10,50	15,14	0,60	148,91
CV (%)	3	1	2	4	13	4
Primeira soca						
(SA)⁽⁵⁾						
0	16,84	88,06	10,79	14,83	0,64	146,30
236	16,94	88,02	10,30	14,92	0,64	147,19
471	16,92	87,97	10,68	14,90	0,64	146,87
707	17,01	88,32	10,43	15,03	0,55	147,49
CV (%)	4	2	5	5	13	4
F CP ⁽⁶⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F PS ⁽⁷⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F CPxPS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo, respectivamente.

⁽¹⁾PC: pol cana. ⁽²⁾AR: açúcares redutores. ⁽³⁾ATR: açúcares totais recuperáveis. ⁽⁴⁾U: uréia aplicada na cana planta. ⁽⁵⁾SA: sulfato de amônio aplicado na primeira soca. ⁽⁶⁾CP: cana-planta. ⁽⁷⁾PS: primeira soca.

Na literatura há um consenso quanto aos efeitos da adição de N no aumento da produção de açúcar por área (ESPIRONELO; OLIVEIRA; NAGAI, 1977; ESPIRONELO et al., 1987; KORNDÖRFER et al., 1997; PAES et al., 1997; KORNDÖRFER et al., 2002; TRIVELIN et al., 2002b; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007), entretanto são escassos os trabalhos com relação aos efeitos da aplicação de S em cana crua. Um dos motivos atribuído à ausência de pesquisa com S é que, provavelmente, o nutriente esteja sendo fornecido indiretamente por outras práticas, como aplicação de superfosfato simples, gesso e resíduos orgânicos.

4.2.Ciclo agrícola de segunda soca

4.2.1. Balanço hídrico climatológico

No ciclo de segunda soca houve precipitação de 132 mm em julho de 2007, favorecendo a proximidade da evapotranspiração real da cultura (ETR) à evapotranspiração potencial (ETP) no mês de agosto, porém a temperatura e radiação solar foram limitantes. De agosto a janeiro a cultura permaneceu sob déficit hídrico.

Os efeitos do déficit hídrico na produtividade da cultura podem ser minimizados quando ocorre no período inicial de desenvolvimento da cultura, no estágio em que as plantas apresentam área foliar reduzida necessitando de menor quantidade de água para a realização de troca de gases com a atmosfera e, conseqüentemente, menor demanda evaporativa (PIRES; ARRUDA; SAKAI, 2008).

Déficit hídrico em um período de alta demanda evaporativa em plantas jovens, como o ocorrido, pode ocasionar redução de 35% na fitomassa de cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER, 2004), no entanto a fase fenológica da planta reflete em maior ou menor impacto na produtividade agrícola (RAMESH, 2000; PIMENTEL, 2004; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

As precipitações pluviais concentraram-se no verão, especialmente de dezembro a março de 2008. Embora a temperatura e radiação solar tenham possibilitado elevada ETP da cultura a partir do mês de agosto, o armazenamento de água no solo foi baixo nesse período e limitou a ETR, que somente ocorreu em níveis elevados a partir do mês dezembro (Figura 13). Desse período até o mês de março de 2008 a ETR foi muito próxima a potencial, devido às condições favoráveis

de temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica, possibilitando o máximo crescimento da planta.

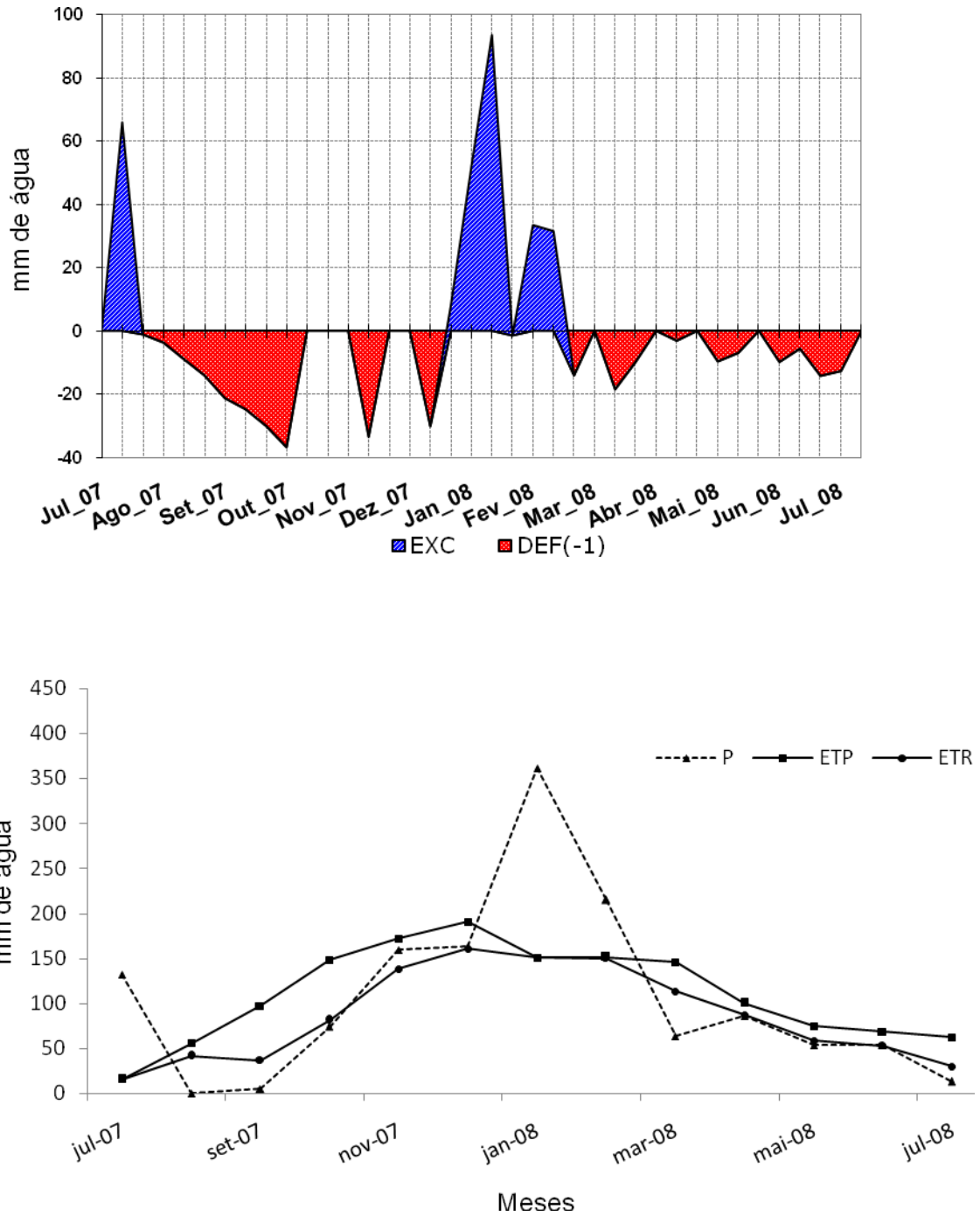


Figura 13 - Balanço hídrico climatológico no ciclo agrícola de segunda soca. ETP: evapotranspiração potencial da cultura; ETR: evapotranspiração real da cultura; DEF: deficiência hídrica do solo; EXC: excedente hídrico do solo; P: precipitação pluvial

As precipitações pluviais do ciclo de segunda soca foram inferiores e mais concentradas com relação ao ciclo de primeira soca, totalizando 1378 mm, porém, ao final do ciclo o déficit foi inferior (de 26,5 mm contra 32,1) quando comparado ao ciclo de primeira soca. Esses resultados indicaram que o período de excedente hídrico somente ocorreu no estágio de máximo crescimento da cultura (fim de dezembro de 2007 a março de 2008) que pode ter representado em fator limitante ao crescimento inicial da soca de cana-de-açúcar, com possível reflexo na produtividade final da cultura e nas respostas aos fatores de estudo nesse ciclo agrícola.

4.2.2. Extração de N e S pela cana-de-açúcar avaliada na colheita da segunda soca

Os resultados de extração de N e S na parte aérea da cana-de-açúcar (segunda soca) constam das Tabelas 15 e 16.

Considerando-se a extração de N e S da parte aérea e das diversas partes individualizadas (colmos, folhas secas e ponteiros) da segunda soca nota-se que não houve diferença nas quantidades extraídas entre tratamentos (doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N, tanto na primeira como na segunda soca).

A extração média de N pela parte aérea de 126 kg ha⁻¹ é coerente com os resultados obtidos por Orlando-Filho e Zambello Junior (1980) em cana soca (120 – 180 kg ha⁻¹). Os colmos alocaram as maiores quantidades de N (66 kg ha⁻¹). Essa quantidade correspondeu a 52% do N acumulado pela planta. Folhas secas e ponteiros extraíram praticamente as mesmas quantidades. Silva (2007), avaliando a extração de N por sete variedades de cana-de-açúcar, observou remoções pelos colmos semelhantes às encontradas nessa pesquisa com valores de 58 e 66 kg ha⁻¹.

Com relação ao S, a quantidade extraída pela parte aérea foi menor em relação ao N, o que era esperado pela menor exigência da planta nesse nutriente. Não houve diferença de extração entre os tratamentos para nenhuma das partes da plantas. É importante ressaltar que 54% do S extraído pela parte aérea foi exportado pelos colmos na colheita da cultura, empobrecendo o sistema solo-planta nesse nutriente, haja vista que não se aplicou S-fertilizante no ciclo de segunda soca (Tabela 16). Deve ser ressaltado que em condições de canaviais comerciais de

cana-de-açúcar, esse problema tende a ser maior, tendo em vista que a aplicação de S fica sempre em segundo plano, sendo o S adicionado ao sistema como componente de algum insumo agrícola, como o gesso ou o superfosfato simples, ou em formulado de baixa concentração.

Tabela 15 - N-total (kg ha^{-1}) na segunda soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2008 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
CP	PS	SS	N total, kg ha^{-1}			
80	T2	50	70± 16	30± 5	28± 5	128± 20
80	T3	100	63± 7	30± 2	30± 3	123± 11
Teste t			NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha^{-1} de SA (50 e 57 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha^{-1} de SA (100 e 114 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha^{-1} de N no plantio; PS – primeira soca; SS – segunda soca que recebeu 50 e 100 kg ha^{-1} de N; Parte Aérea ⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros.

Tabela 16 - S-total (kg ha^{-1}) na segunda soca da cana-de-açúcar: resultados obtidos na colheita em julho de 2008 (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
CP	PS	SS	S total, kg ha^{-1}			
80	T2	50	9± 2	5± 1	3± 0,4	17± 2
80	T3	100	10± 1	5± 1	3± 0,4	18± 2
Teste t			NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha^{-1} de SA (50 e 57 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha^{-1} de SA (100 e 114 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha^{-1} de N no plantio; PS – primeira soca; SS – segunda soca que recebeu 50 e 100 kg ha^{-1} de N; Parte Aérea ⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros.

O aumento da relação N/S na parte aérea das plantas do ciclo de primeira para segunda soca de 6 para 7 fornece indícios da falta de S no sistema, pois a utilização de N está relacionada à disponibilidade de S. A indisponibilidade de N pode ser desprezada uma vez que foi aplicado N na forma de nitrato de amônio no ciclo de segunda soca.

Comparando-se os resultados de segunda soca com a primeira soca (Tabelas 6 e 15), percebe-se que o N-total nos ponteiros foi maior na segunda soca; no entanto, para as demais partes da planta e planta toda houve redução na extração de N. Na segunda soca foi constatado maior variabilidade nos resultados (erro padrão da média) de extração de N e S. A redução na extração de N e S, da primeira para a segunda soca foi, respectivamente, de 26 e 6 kg ha⁻¹. Tendo em vista que menos da metade do fertilizante nitrogenado aplicado é utilizado pelas plantas e que parte desse nitrogênio residual é incorporado à matéria orgânica do solo (FERNANDES et al., 1998) o maior acúmulo de N pelos ponteiros da cultura, justifica-se, uma vez que o uso de fertilizantes minerais, nos ciclos anteriores, pode ter acelerado a mineralização desses resíduos de cana-de-açúcar pela diminuição da relação C/N, resultando em maior disponibilidade de N à cana-de-açúcar ao longo do tempo (VITTI, 2003), favorecendo o acúmulo nos ponteiros, por esses serem os últimos órgãos a serem formados antes da colheita final. A menor extração de S pode estar relacionada a não aplicação do nutriente ao solo após o segundo corte e, também, à movimentação do íon SO₄⁻ para camadas com menor exploração do sistema radicular, assim como pela menor disponibilidade de S no solo devido sua absorção pela primeira soca ou imobilização pela biomassa microbiana, visto que não foi verificada lixiviação do elemento, conforme descrito no item 4.1.4.

Outro fator a ser considerado é a produtividade média de colmos obtida no ciclo de segunda soca (108 Mg ha⁻¹), menor que a primeira soca (120 Mg ha⁻¹), o que pode se traduzir em menor extração dos nutrientes. A redução na produção de colmos no terceiro corte foi consequência das condições climáticas desfavoráveis no ciclo agrícola, como discutido anteriormente.

As raízes de cana-soca tornam-se mais superficiais com os ciclos da cultura, pela brotação dar-se próximo à superfície do solo ficando mais sujeitas às condições adversas do solo causadas pelo tráfego intenso e ao déficit hídrico, aliado ao ciclo mais curto da cultura (CASAGRANDE, 1991). Após sucessivas colheitas da cana-de-açúcar há maior possibilidade de o sistema radicular das socas localizar-se

superficialmente, salientando a limitação desse no volume de solo explorado, o que pode reduzir a produtividade de colmos nas colheitas e a extração de nutrientes.

De fato, o fator climático no ciclo agrícola da segunda soca, associado ao desenvolvimento mais superficial do sistema radicular da cultura, a extração anterior de N e S pela cana-de-açúcar, a dinâmica dos nutrientes no solo: lixiviação do SO_4 e imobilização do N na palhada que recobre o solo, podem ter contribuído para os menores resultados de extração de N e S na segunda soca de cana-de-açúcar.

4.2.3. NPPF (%), SPPF (%) e recuperação (kg ha^{-1} e %) de N e S do fertilizante aplicado após o primeiro corte (primeira soca) na colheita da segunda soca da cana-de-açúcar (terceiro corte)

A maior dose de N aplicada na primeira soca proporcionou maior porcentagem do nutriente (NPPF %) nos ponteiros, folhas secas e parte aérea das plantas do ciclo de segunda soca (Tabela 17), concordando com os resultados obtidos na primeira soca (Tabela 8). Para a porcentagem de S (SPPF %) houve diferença da maior dose somente na parte aérea das plantas do ciclo de segunda soca (Tabela 18).

As folhas secas apresentaram o maior valor médio de %NPPF, em virtude de terem se desenvolvido antes das demais partes da planta. As porcentagens de N-fertilizante na parte aérea em função das doses de N mantiveram a mesma proporção do ciclo de primeira soca (Tabelas 8 e 17), ou seja, a %NPPF na parte aérea na dose maior (100 kg ha^{-1} de N) foi o dobro da menor dose de N (50 kg ha^{-1} de N).

As porcentagens de N-fertilizante nas diversas partes da segunda soca são bem menores que as observadas nas plantas do ciclo de primeira soca. A contribuição média do N-fertilizante da parte aérea teve redução de 23 % quando comparado as plantas de primeira soca. Vale ressaltar que a maior contribuição do N-fertilizante ocorre no início de desenvolvimento da cultura e diminui em até 50% na colheita (SAMPAIO; SALCEDO; BETTANY, 1984; VITTI, 2003), sendo assim essa porcentagem poderia ser bem maior se as plantas fossem analisadas no estágio inicial de desenvolvimento.

Tabela 17 - Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
CP	PS	SS	NPPF, (%)			
80	T2	50	2± 0,2	2,5± 0,7	1,5± 0,3	2± 0,2
80	T3	100	4±1	5± 0,5	4± 0,7	4± 1
Teste t			NS	*	*	*

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha⁻¹ de SA (50 e 57 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha⁻¹ de SA (100 e 114 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha⁻¹ de N no plantio; PS – primeira soca; SS – segunda soca que recebeu 50 e 100 kg ha⁻¹ de N; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros.

Comparando-se o NPPF (%) e o SPPF (%) do ciclo de segunda soca foram observados maiores valores para o SPPF (%) nas diversas partes da plantas. Tal situação ocorreu de modo inverso no ano anterior onde as porcentagens de N-fertilizante foram duas vezes maiores que S-fertilizante.

A porcentagem média de S-fertilizante (SPPF %) na parte aérea das plantas do ciclo de segunda soca foi 4% menor que no ciclo de primeira soca (Tabelas 9 e 18). Essa menor redução na porcentagem de S-fertilizante quando comparada a diminuição da porcentagem de N-fertilizante pode ser explicada pela menor extração do S no ciclo de primeira soca (Tabelas 6 e 7) possibilitando que maiores quantidades do nutriente permanecessem no sistema solo-planta. Outro fator que pode ter contribuído é que o sistema radicular das socas fica mais superficial a cada ciclo agrícola favorecendo dessa forma a absorção do S-fertilizante aplicado na superfície próxima a planta.

Tabela 18 - Enxofre na planta proveniente do fertilizante (SPPF, %) acumulado nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
CP	PS	SS	SPPF, (%)			
80	T2	50	11,5± 2,0	10,4± 1,6	9,1± 2,0	4,8± 1,5
80	T3	100	12,9± 1,2	12,4± 1,0	12,5± 1,0	9,5± 0,6
Teste t			NS	NS	NS	*

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha⁻¹ de SA (50 e 57 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha⁻¹ de SA (100 e 114 kg ha⁻¹ de N e S respectivamente); CP – cana-planta que recebeu 80 kg ha⁻¹ de N no plantio; PS – primeira soca; SS – segunda soca que recebeu 50 e 100 kg ha⁻¹ de N; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros.

Houve recuperação pela segunda soca do N e do S aplicado no ciclo de primeira soca, ou seja, a cana-de-açúcar no terceiro ciclo agrícola aproveitou o N e o S residual da adubação de segundo ciclo agrícola que permaneceu no solo ou que foi acumulado no sistema radicular da cultura (Tabela 19).

Em relação à eficiência de recuperação (kg ha⁻¹) do N- e S-fertilizante residual, os melhores resultados foram obtidos na dose de 471 kg ha⁻¹ de SA, com exceção dos colmos para o N e folhas secas e ponteiros para S, onde não foram verificadas diferenças entre tratamentos (Tabelas 19 e 20).

A baixa recuperação (kg ha⁻¹) do N-fertilizante na segunda soca (tratamento T3) pode ser explicada pela recuperação de 50 kg ha⁻¹ de N-fertilizante na parte aérea da primeira soca, embora somente 19 kg ha⁻¹ tenham sido exportados, sendo que 32 kg ha⁻¹, em princípio, permaneceram na superfície do solo, como palhada (folhas secas e ponteiros) após a colheita; esse valor pode estar aliado à lixiviação de 23 kg ha⁻¹ de N-fertilizante durante o ciclo de primeira soca, causado por um conjunto de fatores como: precipitação pluvial superior ao normal durante um período, solo de elevada permeabilidade, única aplicação de fertilizante, conteúdo de água no solo e temperatura favoráveis à nitrificação (GHIBERTO, 2009). Destaca-se que o material vegetal nas microparcels com fertilizante-¹⁵N, na primeira soca, foi todo removido para avaliação e não retornou ao mesmo local. Assim, pode-se justificar, em parte, a pequena recuperação na segunda soca como

devido à remoção não somente de colmos, como do restante da parte aérea: folhas secas e ponteiros. Resultados de Vitti (2003) e Gava et al. (2005) a respeito da mineralização do N de resíduos culturais de cana-de-açúcar (folhas secas + ponteiros) evidenciaram ser reduzida em um ciclo agrícola e da ordem de 5%.

Tabela 19 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do N da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
CP	PS	SS	————— (kg ha^{-1}) —————			
80	T2	50	1,5± 0,5	0,6± 0,1	0,4± 0,1	2,5± 0,6
80	T3	100	2,4± 0,6	1,6± 0,2	1,1± 0,2	5± 0,6
Teste t			NS	*	*	*
			————— (%) —————			
80	T2	50	3± 1	1,3± 0,2	0,8± 0,2	5± 1
80	T3	100	2,4± 0,6	1,6± 0,2	1,1± 0,2	5± 0,6
Teste t			NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha^{-1} de SA (50 e 57 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha^{-1} de SA (100 e 114 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); CP – cana planta que recebeu 80 kg ha^{-1} de N no plantio; PS – primeira soca. SS – segunda soca que recebeu 50 e 100 kg ha^{-1} de N; Parte Aérea ⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros.

Pelo exposto, desconsiderando as possíveis perdas pela parte aérea da cultura (NG KEE KWONG, DEVILLE, 1984; HOLTAN-HARTWING, BOCKMAN, 1994; TRIVELIN et al., 2002a) e considerando que somente 27 kg ha⁻¹ de N-fertilizante permaneceu no solo a planta absorveu 18% do N-fertilizante disponível no sistema, o que é significativo em termos de aproveitamento do N-fertilizante residual.

Segundo Basanta (2004) o efeito residual do N aplicado no plantio da cana-de-açúcar decresce exponencialmente com o tempo, entretanto pode ser observado até o quarto corte a recuperação de 1,3% (menos de 1 kg ha⁻¹).

Não houve diferença significativa nas partes da planta entre os tratamentos para os resultados de recuperação do N e do S da fonte de sulfato de amônio (%). A parte aérea da segunda soca recuperou, em média, 5% do N-fertilizante aplicado na primeira soca, aproximadamente metade desses foi alocado nos colmos sendo exportado na colheita (Tabela 19). Em experimento desenvolvido durante dois ciclos agrícolas (cana-planta e primeira soca) Faroni (2008) quantificou a mesma recuperação (5%) do N-fertilizante aplicado no plantio, pela parte aérea da primeira soqueira.

No que se refere à recuperação (kg ha⁻¹) do S-fertilizante, observa-se que esta foi basicamente a metade do recuperado pela cultura durante o ciclo de primeira soca. Nota-se que quando avaliados os dois ciclos agrícolas a recuperação média de S-fertilizante (3,8 kg ha⁻¹) (Tabelas 11 e 20) ainda é baixa quando comparado ao N-fertilizante (42 kg ha⁻¹) (Tabelas 10 e 19), o que sugere comportamento diferenciado quanto aos processos de mineralização e imobilização, uma vez que a disponibilidade de N no solo afeta a mineralização de S dos resíduos vegetais, pois sob condições de deficiência de N, a liberação de S diminui em decorrência da menor atividade microbiana (GOH; GREGG, 1980).

Considerando nulas as perdas por lixiviação de SO₄²⁻ (GHIBERTO, 2009) e a exportação pelos colmos de 1,5 kg ha⁻¹ de S-fertilizante durante o ciclo de primeira soca, permaneceram, ainda, no sistema solo-planta 112,5 kg ha⁻¹ de S-fertilizante (T3), dos quais 1,8 kg ha⁻¹ estavam sob a forma de resíduos culturais de cana-de-açúcar, isso sem levar em consideração as perdas gasosas de enxofre entre as diversas rotas metabólicas no sistema solo-planta. Frente ao exposto constata-se que 1,5% do S-fertilizante aplicado na primeira soca foi recuperado pela cultura no ciclo de segunda soca (Tabela 20). Tendo em vista que o aproveitamento do

nitrogênio mineralizado dos resíduos culturais ocorre no final do ciclo da cana-de-açúcar e que até esse estágio a planta se beneficia do N mineral adicionado ao solo (BOLOGNA-CAMPBELL, 2007). Nesse sentido, embora que pequena quantidade de S-fertilizante tenha sido recuperado, essa não pode ser desprezada tendo em vista contribui com 10% do S-total na parte aérea da planta do tratamento T3. Apesar de serem baixas as recuperações obtidas neste trabalho, elas mostraram que o N- e o S-fertilizante aplicado na primeira soca continuam no sistema solo-planta sendo utilizados pelas plantas nos ciclos subsequentes, principalmente no sistema de manejo sem despalha a fogo prévia a colheita, uma vez que a saída dos nutrientes é menor pela permanência da palhada.

Tabela 20 - Recuperação (kg ha^{-1}) e (%) do S da fonte sulfato de amônio nas diversas partes da cana-de-açúcar na colheita da segunda soca (média de 4 repetições, seguida do erro padrão da média)

Tratamento			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
CP	PS	SS	(kg ha^{-1})			
80	T2	50	0,3± 0,1	0,3± 0,1	0,1± 0,0	0,7± 0,2
80	T3	100	0,9± 0,1	0,5± 0,1	0,3± 0,0	1,7± 0,2
Teste t			*	NS	NS	*
			$(\%)$			
80	T2	50	0,6± 0,1	0,5± 0,1	0,2± 0,2	1,3± 0,3
80	T3	100	0,8± 0,1	0,4± 0,1	0,3± 0,1	1,5± 0,2
Teste t			NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo respectivamente, pelo teste t.

T2 - parcelas que receberam 236 kg ha^{-1} de SA (50 e 57 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); T3 - parcelas que receberam 471 kg ha^{-1} de SA (100 e 114 kg ha^{-1} de N e S respectivamente); CP – cana planta que recebeu 80 kg ha^{-1} de N no plantio; PS – primeira soca. SS – segunda soca que recebeu 50 e 100 kg ha^{-1} de N; Parte Aérea⁽¹⁾: colmos, folhas secas e ponteiros.

4.2.4. Produtividade e qualidade tecnológica de colmos na colheita da segunda soca de cana-de-açúcar

Não houve efeito da adubação da primeira soca na produtividade de colmos e no acúmulo de fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas, e mesmo na parte aérea das plantas no ciclo de segunda soca (Tabela 21). Resultados semelhantes foram obtidos por Urquiaga et al. (1998) e Prado e Pancelli (2008).

Para o acúmulo de fitomassa seca nas partes da planta os colmos representaram 66%, os ponteiros 7% e 27% as folhas secas do total da parte aérea. Esses resultados quando comparados com o de primeira soca mostram redução de 35% na produtividade de fitomassa dos ponteiros e aumento de 26% na fitomassa seca de folhas secas o que proporcionou igual acúmulo de fitomassa da parte aérea (Tabela 21). Os tratamentos que receberam N no plantio produziram, em média, 2700 kg de fitomassa seca de colmos a menos que os tratamentos sem nitrogênio, entretanto, os resultados não diferiram estatisticamente.

A umidade do colmo não foi afetada pela adubação do ciclo de segunda soca. No entanto, verificou-se maior teor de umidade na parte aérea das plantas pertencentes às parcelas que receberam aplicação nitrogenada, na forma de uréia, no plantio. Uma possível explicação seria o fato de o nitrogênio favorecer a absorção de cálcio (SILVA; CASAGRANDE, 1983), elemento que participa na composição salina do citoplasma e na constituição da parede celular na forma de pectato de cálcio, proporcionando maior estruturação das células e favorecendo a absorção de água, podendo afetar negativamente a qualidade do produto (SILVA, 1983). Outra explicação baseia-se no fato que o N possa estar associado com o maior crescimento vegetativo, o que não foi o caso, pois não houve diferença na produtividade.

A adubação nitrogenada estaria associada com o maior crescimento vegetativo ocasionando aumento do teor de umidade e diminuição de sacarose (KORNDÖRFER; MARTINS, 1992; MALAVOLTA; MORAES, 2007). Das (1936) verificou que o N aumenta o comprimento dos colmos da cana-de-açúcar, porém reduz a espessura da parede celular e conseqüentemente a porcentagem de fibra na planta. Malavolta e Moraes (2007) relataram que para cada aumento porcentual na produtividade, Mg ha^{-1} de cana, pode ocorrer diminuição de 0,01% no teor de açúcar, sendo que o ganho na produção de colmos compensa tal redução.

Tabela 21 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), umidade da fitomassa da parte aérea, fitomassa seca (kg ha^{-1}) de colmos, folhas, ponteiros e parte aérea, da segunda soca de cana-de-açúcar

Tratamentos	TCH Mg ha^{-1}	Umidade da PA %	Fitomassa Seca			
			Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea ⁽¹⁾
			kg ha^{-1}			
Cana planta (U)⁽²⁾						
0	108	71 b	30.740	12.042	3.270	46.052
80	107	74 a	28.015	11.947	2.862	42.824
CV (%)	6	2	11	15	18	10
Segunda soca (SA)⁽³⁾						
0	105	73	27.735	12.433	3.028	43.196
236	105	72	29.334	11.169	3.029	43.532
471	109	74	28.948	12.510	2.940	44.399
707	109	71	31.493	11.865	3.267	46.625
CV (%)	7	8	21	26	29	19
F CP ⁽⁴⁾	NS	*	NS	NS	NS	NS
F SS ⁽⁵⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F CPxSS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; * e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo, respectivamente. ⁽¹⁾Parte Aérea colmos, ponteiros e folhas secas. ⁽²⁾U: uréia aplicada na cana planta. ⁽³⁾SA: sulfato de amônio aplicado na primeira soca. ⁽⁴⁾CP: cana-planta. ⁽⁵⁾SS: segunda soca.

Para o ciclo agrícola de segunda soca os parâmetros tecnológicos avaliados não foram influenciados pelas adubações de cana-planta e de primeira soca (Tabela 22). A ausência de respostas para TCH e parâmetros tecnológicos pode ser atribuída ao N proveniente da mineralização da matéria-orgânica do solo que proporcionaria incremento do N-disponível à cultura (TRIVELIN, 2000).

Outro fator que deve ter contribuído com o incremento do N-disponível é a mineralização dos resíduos vegetais misturados durante a reforma do canavial, sendo que cerca de 200 kg ha^{-1} de N foram incorporados ao solo na reforma do canavial (FRANCO et al., 2007a), visto que as quantidades de N da palhada liberadas durante o ciclo seguinte de cana-de-açúcar variam de 3 a 30% (BASANTA et al., 2002; FARONI et al., 2003; OLIVEIRA et al., 1999), e que o N proveniente da

palhada absorvido pela cultura no ciclo subsequente varia de 5 a 10 % (NG KEE KWONG et al., 1987; CHAPMAN; HAYSOM; SAFFIGNA, 1992). Ng Kee Kwong et al. (1987) verificaram que 25% de N contido nos resíduos vegetais (palhada de cana-de-açúcar) foi liberado após 18 meses de permanência no campo.

Tabela 22 - Qualidade tecnológica de colmos na colheita da segunda soca de cana-de-açúcar

Tratamentos	Brix	Pureza	Fibra (%)	PC ⁽¹⁾	AR ⁽²⁾	ATR ⁽³⁾ kg Mg ⁻¹
Cana planta (U)⁽⁴⁾						
0	19,81	88,05	10,83	15,08	0,58	148,19
80	20,27	88,91	10,93	15,54	0,50	151,98
CV (%)	5	1	3	5	23	4
Segunda soca (SA)⁽⁵⁾						
0	19,81	87,93	11,12	14,98	0,60	147,41
236	20,49	89,36	11,12	15,74	0,46	153,55
471	20,04	88,57	10,64	15,38	0,58	151,07
707	19,82	88,06	10,64	15,13	0,53	148,31
CV (%)	5	1	6	5	28	5
F CP ⁽⁶⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F SS ⁽⁷⁾	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F CPxSS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* e ^{NS}: significativo a 5% e não significativo, respectivamente.

⁽¹⁾PC: pol cana. ⁽²⁾AR: açúcares redutores. ⁽³⁾ATR: açúcares totais recuperáveis. ⁽⁴⁾U: uréia aplicada na cana planta. ⁽⁵⁾SA: sulfato de amônio aplicado na primeira soca. ⁽⁶⁾CP: cana-planta. ⁽⁷⁾SS: segunda soca.

De acordo com Vitti et al. (2007), em estudo de recuperação de N da palha-¹⁵N, em soqueira de cana-de-açúcar de segunda rebrota (3º corte) colhida mecanicamente sem queima da palha, verificaram que a contribuição do ¹⁵N-palha para a cana-de-açúcar no primeiro ano foi de 4%. Já Bologna-Campbell, trabalhando com resíduos culturais, marcados com ¹⁵N, incorporados ao solo em vasos com cana-de-açúcar, verificou recuperação média de 14%. Dessa forma, verifica-se que, em média, de 8 a 28 kg ha⁻¹ de N poderia ser absorvido pelas plantas. Possivelmente a contribuição do N da palhada na nutrição da cana-de-açúcar seja maior nos anos subsequentes a sua deposição no solo.

Fortes (2010) estudando a decomposição da palhada de cana-de-açúcar em ciclos consecutivos em função da adubação nitrogenada, no sistema de manejo sem queima prévia a colheita, verificou que 76% do N e do S, presente na palhada foi liberado após um ano agrícola. O autor relata ainda que houve maior recuperação do N de resíduos culturais pela parte aérea da cultura quando se aplicou N mineral em soqueiras.

Nesse sentido, fica a hipótese de que as quantidades de N mineralizadas, tanto dos resíduos culturais (incorporados após cada colheita) e principalmente do N oriundo do solo foram responsáveis pela ausência de respostas da cultura de cana-de-açúcar para as variáveis de TCH e parâmetros tecnológicos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação nitrogenada de cana-planta resultou em aumento na produtividade (TCH) da primeira soca de cana-de-açúcar, ressaltando que os efeitos da adubação de plantio não devem ser avaliados somente no ciclo agrícola de cana-planta, mas também na produtividade dos ciclos agrícolas de rebrotas, fazendo-se necessário avaliações durante o ciclo de reforma que compreende o período entre o plantio da cana-de-açúcar e a reforma do canavial.

A TCH e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar dos ciclos de primeira e segunda rebrota não foram influenciadas pelas adubações de N e S, contrariando o dito no meio agrícola que somente as socas respondem à adubação nitrogenada. Isto sugere que o sistema (solo-planta), no caso estudado, tenha fornecido quantidades suficientes de N e S para ambos os tratamentos, não tendo dessa forma influência dos elementos aplicados na forma mineral. A propósito, o experimento desenvolvido neste trabalho localizou-se em área que até 2 anos antes de sua instalação fez-se a aplicação de vinhaça em doses da ordem de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ o que justificaria a falta de resposta em produtividade da cana-de-açúcar.

Diferente dos resultados obtidos por BOLOGNA-CAMPBELL (2007) que constatou elevada lixiviação de enxofre em experimento em vasos, neste experimento em campo o comportamento do elemento foi diferente não sendo o mesmo constatado (GHIBERTO, 2009). Embora a lixiviação do SO_4^{-2} esteja relacionada com o pH do solo e com a precipitação pluviométrica, pois com o aumento do pH ocorre aumento das cargas negativas (OH^-) que repelem o sulfato e com elevadas precipitações o S é facilmente lixiviado, reduzindo, portanto, seu teor no solo.

A utilização dos isótopos permitiu identificar a maior contribuição do N- e S-fertilizante nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, muito embora, como já descrito anteriormente, a não aplicação dos fertilizantes não tenha afetado a produção e as qualidades tecnológicas da cultura durante os ciclos agrícolas. Nesse sentido seria incorreta a afirmação de que a adubação foi em vão, pois no manejo semi-perene da cana-de-açúcar o vigor das rebrotas depende das reservas energéticas e nutricionais.

Independente da quantidade aplicada de fertilizante, à eficiência de utilização (%) de N- e S-fertilizante pelas plantas não diferiu estatisticamente embora a maior dose de sulfato de amônio tenha proporcionado maior recuperação em kg ha^{-1} dos nutrientes. Comparando-se os valores de N- e S-fertilizante com o N e o S de outras fontes, da maior dose (T3 - 471 kg ha^{-1} de SA) com a menor (T2- 236 kg ha^{-1} de SA), fica evidente que a maior recuperação (kg ha^{-1}) do tratamento T3 se deveu a pronta disponibilidade dos elementos no início de desenvolvimento da cultura. Logo, pode-se inferir que, primeiramente as plantas absorvem o N- e S-fertilizante depois o N e S de outras fontes, como a mineralizado no solo, pois ao final do ciclo a extração total foi praticamente à mesma. Dessa forma se o N e o S de outras fontes fossem insuficientes a extração no tratamento T2 seria menor.

O N- e S-fertilizante aplicados na primeira soca permaneceram no sistema solo-planta no manejo sem queima previamente a colheita, contribuindo na nutrição mineral das plantas dos ciclos agrícolas subsequentes.

Os resultados deste trabalho mostraram que a fertilização com nitrogênio e enxofre deve ser repensada e estudada caso a caso dentro do sistema de manejo sem despalha a fogo da cana-de-açúcar e, principalmente, analisada considerando o ciclo de reforma da cultura e as condições de fertilidade do solo, especialmente se tratar de área em que se fez aplicações massivas de vinhaça.

6 CONCLUSÕES

1. A fertilização nitrogenada de plantio contribuiu no aumento da produção de colmos da primeira soca, porém não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produção de colmos e nos parâmetros tecnológicos da segunda soca.
2. As doses de sulfato de amônio aplicadas na adubação da cana-de-açúcar após o primeiro corte não aumentaram as produções de colmos (TCH) da primeira e da segunda soca.
3. As maiores porcentagens de N e S provenientes do sulfato de amônio foram verificadas nos estádios iniciais de crescimento da cultura, decrescendo cerca 50% na colheita.
4. Houve aumento na recuperação (kg ha^{-1}) do N e S do sulfato de amônio (SA) com aumento da dose do fertilizante (50 e 100 kg ha^{-1} de N-AS), entretanto a recuperação porcentual foi a mesma para ambas as doses.
5. O NPPF (%) e SPPF(%) absorvido pela planta foram distribuídos da seguinte forma: 28 e 10 % nos colmos, 28 e 10 % nas folhas secas, 21 e 14% nos ponteiros respectivamente.
6. As porcentagens de N e S-fertilizante na parte aérea e nas raízes da cana-de-açúcar foram 26 e 11% e 10 e 8 %, respectivamente.
7. Os dados de N- e do S-fertilizante mostram contribuição média porcentual de 25% e 11% respectivamente no N e S-total da planta toda (parte aérea + raiz).
8. A recuperação e o aproveitamento médio do N-sulfato de amônio na parte aérea da primeira soca foram 50% e 37 kg ha^{-1} e para o S-fertilizante de 3% e $2,6 \text{ kg ha}^{-1}$.
9. Do N- e S-fertilizante aplicado na primeira soca em média 5% e 1,4%, respectivamente, foi recuperado pela segunda soca.

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**, São Paulo, n. 67, p. 23-25, 1993.
- ANDRADE, L. A. B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. G. (Ed.). **Produção de aguardente de cana**. Lavras: UFLA, 2006. p. 23-25.
- 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.
- BASANTA, M. Del V. **Dinâmica do nitrogênio da cultura de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo de resíduo da colheita**. 2004. 82 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BASANTA, M. V.; DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA, T. T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J. R. Eficiência no uso de nitrogênio em relação ao manejo dos resíduos da cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2002. p. 268-275.
- BASANTA, M. V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA, T. T.; CORRECHEL, V.; CASSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J. R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1-2, p. 235-248, 2003.
- BATISTA, K. **Respostas do capim-Marandú a combinações de doses de nitrogênio e enxofre**. 2002. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- BATISTA, L. F. **Aplicação de N, P e 35S em dois solos de São Paulo e seus efeitos sobre a cana-de-açúcar**. 1977. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1977.
- BITTENCOURT, V. C.; FAGANELLO, B. F.; SALATA, J. C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 26-33, 1986.
- BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; CRUZ, A. P.; DAGHLIAN, C. Absorção de fósforo e enxofre pelas folhas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, Turrialba, v. 36, p. 120-123, 1986.

BODDEY, R. M.; POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Use of the ^{15}N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N_2 fixation to sugar cane and other grasses. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 28, n. 9, p. 889-895, 2001.

BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; LANGE, A.; TRIVELIN, P. C. O. Perdas de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1106-1111, 2006.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço de nitrogênio e enxofre na cultura de cana-de-açúcar no ciclo de cana-plantada**. 2007. 113 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BONFIN-SILVA, E. M. **Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim- Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria-orgânica**. 2005. 123 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia **Plano nacional de agroenergia - 2006-2011**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 118 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília, DF, 2007. 139 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_2008_-_Ano_Base_2007/1_-_BEN_2008_Portugues_-_Completo.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2010.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-146.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 117-138.

CAMARGO, F. A. O.; SÁ, E. L. S. Nitrogênio e adubos nitrogenados. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, MARINO, J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 93-116.

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

CAMBERATO, J. J.; PAN, W. L. Bioavailability of calcium, magnesium, and sulfur. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 2000. chap. D.1.5, p. D53-D69.

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

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

CARNAÚBA, B. A. A. **Eficiência de utilização e efeito residual de uréia-¹⁵N em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), em condições de campo**. 1989. 193 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CARNAÚBA, B. A. A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.

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

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

CERETTA, C. A. **Fracionamento de N orgânico, substâncias húmicas e caracterização de ácidos húmicos de solo em sistemas de cultura sob plantio direto**. 1995. 127 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

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

CHUÍ, F.; SAMUELS, G. **Evaluación de la eficiencia del N aplicado como fertilizante en cultivos irrigados de plantas y retornos de cana de azúcar**. México: GEPLACEA, 1981. 1 v. (Boletim, 20).

COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in the world crop production. **Soil Science**, New Brunswick, v. 101, p. 230-239, 1966.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. O.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca em argissolos, variedades RB 835486 e SP 81-3250. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 316-321.

COLLAMER, D. J.; GEARHART, M.; MONESMITH, F. L. Sulfato de amônio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 120, p. 7-8, 2007.

COPERSUCAR. **Quinta geração de variedades de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Copersucar, 1995. (Boletim Técnico).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar** - safra 2010/2011, segundo levantamento, agosto/2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2010.

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.

CRAWFORD, N. M.; KAHN, M. L.; LEUSTEK, T.; LONG, S. R. Nitrogen and sulphur. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (Ed.). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. chap. 16, p. 789-849.

DAMIN, V. **Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas**. 2009. 130 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

DAS, U. K. Nitrogen nutrition of sugar cane. **Plant Physiology**, Rockville, v. 11, n. 2, p. 251-317, 1936.

DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: Prol Editora Gráfica, 2006, v. 1, p. 107-119.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botânica, 1952. 371 p.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M.; DART, P. J. Nitrogenase activity in the rhizosphere of sugar cane and some other tropical grasses. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 37, p. 191-196, 1972.

DYNIA, J. F.; CAMARGO, O. A. Adsorção e movimento de sulfato em Latossolo de cerrado submetido a calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 249-253, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

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

ESPIRONELO, A.; GALLO, J. R.; LAVORENTI, A.; IGUE, T.; HIROCE, R. Efeito da adubação NPK nos teores de macronutrientes das folhas de cana-de-açúcar (cana-planta). **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 2, p. 167-172, 1986.

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.

ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H. de; NAGAI, V. Efeito da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (cana-planta) em anos consecutivos de plantio. I. Resultados de 1974/75 e 1975/76. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 76-81, 1977.

FARONI, C. E. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. 2008. 190 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008

FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; MANZONI, C. S.; PENATTI, C. P.; TRIVELIN, P. C. O. Degradação da palha (15N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos (Compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

FARQUHAR, G. D.; FIRTH, P. M.; WETSELAAR, R.; WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: determination of the ammonia compensation point. **Plant Physiology**, Rockville, v. 66, p. 710-714, 1980.

FELLER, U.; FISCHER, A. Nitrogen-metabolism in senescing leaves. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 13, n. 3, p. 241-273, 1994.

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

FERNANDES, F. A. **Efeito do gesso como fonte de cálcio e de enxofre na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)** 1985. 92 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; VASCONCELOS, C. A.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 22, p. 247-254, 1998.

FERNANDES, M. S.; ROSSIELO, R. O. P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., Nova Odessa, 1985. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 93-123.

FITTER, A. Characteristics and functions of root systems. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots**: the hidden half. New York: Marcel Dekker, 1996. chap. 3, p. 1-29.

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palhada em ciclos consecutivos**. 2010. 153 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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, 2008.

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

FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Acúmulo de macronutrientes na cultura da cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada de plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Resumos...** Recife: SBCS, 2005. p. 118-119.

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

FRANCO, H. C. J.; DAMIN, V.; FRANCO, A.; MORAES, M. F.; TRIVELIN, P. C. O. Perda de nitrogênio pela *Brachiaria decumbens* após a antese: relação com a umidade do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 96-102, 2008b.

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

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E. ; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes at planted cane related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 579-590, 2010b.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 27., 2010, Vera Cruz, México. **Papers...** Wageningen: ISSCT, 2010a. p. 45.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H.; TRIVELIN, M. O. Acúmulo de Nutrientes pela Cana-planta. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, p. 47-51, 2008d.

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 de áreas com cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007a.

GAVA, G. J. C. **Utilização do nitrogênio da uréia (^{15}N) e da palhada (^{15}N) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo**. 1999. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 689-695, 2005.

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.

GHIBERTO, P. J. **Lixiviação de nutrientes em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 2009. 158 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GOH, K. M.; GREGG, P. E. H. Re-utilization by perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) of labelled fertilizer sulphur incorporated in field-grown tops and roots of pasture plants added to soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 1, n. 2, p. 73–85, 1980.

HAQ, I. U.; CARLSON, R. M. Sulphur diagnostic criteria for French prune trees. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 5, p. 911-931, 1993.

HARTMANN, T.; MULT, S.; SUTER, M.; RENNENBERG, H.; HERSCHBACH, C. Leaf agedependent differences in sulfur assimilation and allocation in poplar (*Populus tremula* x *P. alba*) leaves. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 1077-1088, 2000.

HERSCHBACH, C.; RENNENBERG, H. Long-distance transport of ^{35}S -sulphur in 3-year-old beech trees (*Fagus sylvatica*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 95, n. 3, p. 379-386, 1995.

HOEFT, R. G.; FOX, R. H. Plant response to sulfur in the Midwest and Northeastern United States. In: TABATABAI, M. A. (Ed.). **Sulfur in agriculture**. Madison: ASA, 1986. p. 345-356.

HOLTAN-HARTWING, L.; BOCKMAN, O. C. **Ammonia exchange between crops and air**. Ås, Norway: Agricultural University of Norway, Advisory Service, 1994. 42 p. (Norwegian Journal of Agricultural Sciences, 14).

HUMBERT, R. P. Nutrition of sugar cane. In: HUMBERT, R. P. (Ed.). **The growing of sugar cane**. Amsterdam: Elsevier Publishing Co., 1968. p. 133-309.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, 2004.

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.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo, 1981, v. 1, 126 p.

JANSSEN, B. H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 181, p. 39-45, 1996.

JANSSON, S. L.; PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F. J.; BREMMER, J. M.; HAUCK, R. D.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA, 1982. chap. 13, p. 467-502.

JOLIVET, P.; BERGERON, E.; ZIMIERSKI, A.; MEUNIER, J. C. Metabolism of elemental sulphur and oxidation of sulphite by wheat and spinach chloroplasts. **Phytochemistry**, Oxford, v. 38, p. 9-14, 1995.

JONES, R. K.; ROBSON, P. S.; HAYDOCK, K. P.; MEGARRITY, R. G. Sulphur – nitrogen relationship in the tropical legume *Stylosanthes humilis*. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 22, n. 4, p. 885-894, 1971.

KAMPRATH, E. J.; JONES, U. S. Plant response to sulfur in the Southeastern United States. In: TABATABAI, M. A. (Ed.). **Sulfur in agriculture**. Madison: ASA, 1986. p. 323-343.

KAMPRATH, E. J.; NELSON, W. L.; FITTS J. W. Sulfur removed from soils by field crops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 49, p. 289-293, 1957.

KLIEWER, W. M. Annual cyclic changes in the concentration of free amino acids in grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 18, p. 126-37, 1967.

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

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 AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL., 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2002. p. 234-238.

KORNDÖRFER, G. H.; VALLE, M. R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana-planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 23-26, 1997.

LEGRIS-DELAPOORTE, S.; FERRON, F.; LANDRY, J.; COSTES, C. Metabolization of elemental sulfur in wheat leaves consecutive to its foliar application. **Plant Physiology**, Rockville, v. 85, n. 4, p. 1026-1030, 1987.

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. Exigências nutricionais das plantas e necessidades de fertilizantes e de corretivos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, DEP, 1984. p. 159-178.

MALAVOLTA, E. **Fertilizing for high yield sugarcane**. Basel: International Potash Institute, 1994. 104 p. (Bulletin, 14).

MALAVOLTA, E. **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**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

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

MAYNARD, L. A.; LOOSLI, J. K.; HINTZ, H. F.; WAGNER, R. G. **Animal nutrition**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1979. 602 p.

McCLUNG, A. C.; FREITAS, L. M. M. Sulfur deficiency in soils from Brazilian campos. **Ecology**, Brooklyn, v. 40, n. 2, p. 315-317, 1959.

McCLUNG, A. C.; FREITAS, L. M. M.; GALLO, J. R.; QUINN, L. R.; MOTT, G. O. Alguns estudos preliminares sobre possíveis problemas de fertilidade, em solos de diferentes campos cerrados de São Paulo e Goiás. **Bragantia**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 29-44, 1958.

MEDEIROS, J. C.; MEDEIROS JUNIOR, J. C.; PEREIRA, J. R.; CARVALHO, M. C. S. **Resposta do algodoeiro a doses e fontes de nitrogênio no cerrado**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2004. 5 p. (Comunicado Técnico, 216).

MEIER, E. A.; THORBURN, P. J.; WEGENER, M. K.; BASFORD K. E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 75, n. 1-3, p. 101-114, 2006.

MENDES, F. L. **Efeito do volume de terra no desenvolvimento das plantas de feijão e milho, na absorção de fósforo e no valor L (^{32}P)**. 2006. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006a.

MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 48 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006b.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

MIGUEL, S. A polêmica do “carvãozinho”. **Jornal da USP**, São Paulo, n. 738, 2005. Disponível em: <http://www.usp.br/jorusp/arquivo/2005/jusp738/pag1011.htm>. Acesso em: 28 nov. 2009.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Efeito de doses de enxofre na produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 533-538, 1997.

MOURA FILHO, G.; SILVA, L. C.; CARNAÚBA, P. J. P.; FERREIRA, L. C. R.; SILVA, V. T.; COSTA, J. V. T.; SOUZA, J. L.; MOURA, A. B. Acúmulo de nitrogênio em três cultivares de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. v. 1, p. 222-227.

NASSAR, A. R.; KLIEWER, W. M. Free amino acids in various parts of *Vitis vinifera* at different stages of development. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 89, p. 281-294, 1966.

NETTO, P. G. D.; PRADO, R. M.; VALE, D. W.; FONSECA, I. M.; AVALHÃES, C. C. Avaliação do estado nutricional da soqueira de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 21., 2009, São José do Rio Preto. **Resumos**. São José do Rio Preto: UNESP, 2009. v. 1.

NG KEE KWONG, K. F.; DEVILLE, J. Nitrogen leaching from soils cropped with sugarcane under the humid tropical climate of Mauritius, Indian Ocean. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 13, n. 3, p. 471-474, 1984.

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. 79-83, 1987.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. 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.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M. H. P.; VITTI, A. C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Melbourne, v. 24, p. 290-296, 2002.

OLSON, R. A.; KURTZ, L. T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: STEVENSON, F.J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils.**, Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1982. p. 567-604.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Influência da adubação N-P-K nas qualidades tecnológicas da cana-planta variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 3, p. 37-44, 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.

ORTIZ-LOPEZ, A.; CHANG, H. C.; BUSH, D. R. Amino acid transporters in plants. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, n. 1465, p. 275-280, 2000.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada.** 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OTTO, R.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 601-606, 2009.

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.; DONZELLI, J. L.; FORTI, J. A. Doses de nitrogênio em cana-planta. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1997. p. 340-349.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água.** Seropédica: Edur, 2004. 191p.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 631-670.

PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 951-959, 2008.

PRATES, H. S.; LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M. F. O enxofre como nutriente e agente de defesa contra pragas e doenças. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 115, p. 8-9, 2006.

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

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. (Boletim, 100).

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, p. 83-89, 2000.

ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; DONALDSON, R. A.; INMAN-BAMBER, N. G.; WOOD, A. W. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 50, p. 65-77, 1999.

ROSSETE, A. L. R. M.; BENDASSOLLI, J. A.; OLIVEIRA, C. R.; IGNOTO, R. F. Determinação de enxofre (S) em amostras vegetais e de solos, por oxidação alcalina, utilizando mistura de NaHCO_3 e Ag_2O . In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 27.; CONGRESSO LATINO AMERICANO DE QUÍMICA, 26., 2004, Salvador. **Resumos...** Salvador: SBQ, 2004. 1 CD-ROM.

SABINO, N. P.; SILVA, N. M. Efeito da utilização de misturas de adubos com ou sem enxofre na precocidade e nas características do capulho e da fibra do algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 1, p. 87-94, 1984.

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

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

SÁNCHEZ, E.; SOTO, J. M.; UVALLE, J. X.; HERNÁNDEZ, A. P.; RUIZ, J. M. ROMERO, L. Chemical treatments in "golden delicious spur" fruits in relation to russeting and nutritional status. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 24, n. 1, p. 191-202, 2001.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, p. 1-15, 1998.

SILVA, A. L. C.; COSTA, W. A. J. M. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. **Tropical Agricultural Research**, Peradeniya, v. 16, p. 1-12, 2004.

SILVA, D. J.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; RUIZ, H. A.; SANT'ANNA, R. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 715-721, 2003.

SILVA, L. C. **Crescimento e acúmulo nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de Coruripe – AL**. 2007. 127 p. Dissertação - (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

SILVA, L. C. F. Influência da adubação nitrogenada na qualidade da cana-de-açúcar. In. ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983. cap. 11, p. 317-332.

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 Alcool, 1983. cap. 4, p. 77-99.

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

SORATTO, A. N.; VARVAKIS, G.; HORII, J. A certificação agregando valor à cachaça do Brasil. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 681-687, 2007.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: Fernandes, M. S. (Org.). **Nutrição mineral de plantas**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2006, v. 1, p. 215-252.

STEVENSON, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: _____ (Ed.). **Nitrogen in agricultural soil**. Madison: ASA, 1982. p. 1-42. (Agronomy Monograph, 22).

STEWART, B. A.; PORTER, L. K. Nitrogen-Sulfur relationships in wheat *Triticum aestivum* L., corn (*Zea mays*), and beans (*Phaseolus vulgaris*). **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 267-271, 1969.

TABATABAI, M. A. Importance of sulphur in crop production. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 1, p. 45-62, 1984.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TAKAHASHI, D. T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of ^{15}N . I. Summer and fall plant and a ratoon crops on the Hamakua coast of Hawaii. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v. 57, n. 3, p. 237-266, 1967.

TAKAHASHI, D. T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of ^{15}N . III. Summer and winter plant and ratoon crops at two locations on Kauai. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v. 58, n. 4, p. 53-69, 1970.

TASSO JÚNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. Extração de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do Estado de São Paulo. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 38-42, 2007.

TEIXEIRA, G. M. **Recuperação do enxofre (34S) aplicado ao solo em cultivos sucessivos com milho ou soja e alfafa**. 2004. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

TISDALE, S. L. **Sulfur in forage quality and ruminant nutrition**. Washington, DC: The Sulfur Institute, 1977. 13 p. (Technical Bulletin, 22).

TISDALE, S. L.; NELSON, W.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan Publishing, 1985. 754 p.

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

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/USP, 1984. p. 119-124.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, 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.; RODRIGUES, J. C. S.; VICTORIA, R. L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia- ^{15}N e uréia- ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

TRIVELIN, P. C. O.; LARA CABEZAS, W. A. R.; VICTORIA, R. L.; REICHARDT, K. Evaluation of a ^{15}N plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugar cane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 226-234, 1994.

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

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

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. Compromisso com a sociedade. Disponível em: <http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}> Acesso em: 30 jan. 2010a.

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={C484D1B2-0D1A-40DF-AB77-BF3189916CA4}>. Acesso em: 30 jan. 2010b.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 105-114, 1992.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.; RESENDE, A. S.; WEBER, H. **Efeito da queima, aplicação de N, irrigação e molibdênio na produtividade e acumulação de nitrogênio na cana de açúcar a longo prazo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 13 p. (Documentos, 72).

VICTÓRIA, 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. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBSCS, 1992. p. 105-119.

VIEIRA, M. X. **Eficiência agrônômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio**. 2009. 134 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

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

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P.; 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, 2007.

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

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. 1. ed. Piracicaba: GAPE, 2008. 104 p.

VITTI, G. C.; MUTTON, M. A.; FORNASIERI FILHO, D.; PERECIN, D.; ROSOLEM, C. A.; NOCITI, P. R. H.; MENDES, J. M.; PARANHOS, S. B.; PICCIN, C. R.; MALAVOLTA, M. L.; MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico**. V. Cana-de-açúcar. Piracicaba: Centro Nacional de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1989. 50 p. (Boletim Técnico, 5).

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

WERNER, J. C.; MONTEIRO, F. A. Respostas das pastagens à aplicação de enxofre. In: BORKERT, C. M. (Ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo; IAPAR; SBCS, 1988. p. 87-102.

WIETHÖLTER, S. **Adubação nitrogenada em triticales com base no teor de matéria orgânica do solo**. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT, 1993. 25 p.

WOLFFENBÜTTEL, R.; TEDESCO, M. J. Disponibilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com parâmetros do solo. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 357-376, 1981.

WONG YOU CHEONG, Y.; NG KEE KWONG, K. F.; CAVALOT, P. C. Comparative study of ammonium and nitrate fertilizers in two soils of Mauritius cropped with sugarcane. In: RESEARCH COORDINATION MEETING IN SOIL NITROGEN AS FERTILIZER OR POLLUTANT, 1978, Piracicaba. **Proceedings...** Vienna: IAEA, 1980. p. 351-367.

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

WOOD, A. W.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. III. Accumulation, partitioning and use of nitrogen. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 223-233, 1996.

YANAI, J.; LINEHAN, D. J.; ROBINSON, D.; YOUNG, I. M.; HACKETT, C. A.; KYUMA, K.; KOSAKI, T. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 180, n. 1, p. 1-9, 1996.

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](#)