

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

**Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de  
cana-planta**

**Isabela Bologna-Campbell**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de  
Plantas**

**Piracicaba  
2007**

**Isabela Bologna-Campbell**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**

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

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

**Piracicaba**  
**2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Bologna-Campbell, Isabela

Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de  
cana-planta / Isabela Bologna-Campbell. - - Piracicaba, 2007.  
112 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Adubação 2. Cana-de-açúcar 3. Enxofre 4. Isótopo 5. Nitrogênio  
6. Relação solo-planta I. Título

CDD 633.61

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

Aos meus amados pais,  
**Renato e Lúcia Helena**, pela oportunidade da vida, amor incondicional, dedicação sem igual e esforços sem limites

**OFEREÇO.**

Aos meus irmãos,  
**Marcio e Samantha**, exemplos de caráter, amizade e verdadeira definição de família

Ao meu marido  
**Adriano**, pelo companheirismo, paciência, equilíbrio e amor acima de tudo

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, verdadeiro orientador, primeiramente pela amizade e dedicação, também pelos ensinamentos sem limites e exemplos de caráter e ética profissional;

Aos professores Dr. Paulo Leonel Libardi, Jairo Antônio Mazza e Francisco Antônio Monteiro, pelas críticas e sugestões apresentadas no exame de qualificação;

À Prof<sup>ª</sup>. Dra. Sônia Maria De Stefano Piedade, pela ajuda nas análises estatísticas;

Ao Conselho do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP) e Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), pela oportunidade e concessão de bolsa de estudos para realização deste curso;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo Auxílio a Pesquisa (Processo FAPESP N<sup>o</sup>: 2003/13371-5);

Ao Centro de Pesquisa e Promoção Sulfato de Amônio (SN-Centro), pelo financiamento de parte do projeto;

À Estação Experimental do Pólo Regional Centro Sul (APTA 15) e seus funcionários, pela concessão da área experimental e apoio na realização do trabalho;

Aos pesquisadores da Apta Regional Centro Sul Dra. Raffaella Rossetto e Dr. Edmilson José Ambrosano, pelo auxílio no desenvolvimento do projeto;

Aos professores do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP), Dr. José Albertino Bendassolli, Dr. Jefferson Mortatti e Dr. Helder de Oliveira, pelos ensinamentos e transmissão de conhecimentos;

A todos os funcionários e estagiários do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP), pela ajuda constante para a realização do trabalho e harmoniosa convivência;

Aos amigos André Cesar Vitti, Carlos Eduardo Faroni, Anderson Lange, Henrique Junqueira Franco, Tatiele Fenilli, Virgínia Damin e Rafael Otto, pela amizade, convívio e troca de experiências;

Para todas as pessoas que contribuíram de todas as formas durante a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA**

## SUMÁRIO

RESUMO -----	6
ABSTRACT -----	7
1 INTRODUÇÃO -----	8
2 DESENVOLVIMENTO -----	10
2.1 Revisão bibliográfica -----	10
2.1.1 Cana-de-açúcar: importância econômica e perspectivas -----	10
2.1.2 A cana-de-açúcar e a necessidade de nitrogênio -----	11
2.1.3 Colheita sem despalha a fogo: mudanças no manejo da adubação nitrogenada -----	12
2.1.4 Aproveitamento pela cana-de-açúcar do N-fertilizante e do N-mineralizado dos resíduos culturais -----	15
2.1.5 Perdas de nitrogênio no solo por lixiviação -----	18
2.1.6 A cana-de-açúcar e a necessidade de enxofre -----	19
2.1.7 Panorama atual da fertilização com enxofre na cana-de-açúcar -----	21
2.1.8 Mineralização do enxofre dos resíduos da cultura -----	22
2.1.9 Perdas de enxofre do sistema solo-cana-de-açúcar -----	25
2.1.10 Sinergia de absorção entre N e S -----	26
2.1.11 Uso do isótopo <sup>34</sup> S em estudos de balanço do nutriente -----	28
2.2 Material e métodos -----	29
2.2.1 Caracterização química e física do solo -----	29
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos -----	31
2.2.3 Montagem dos vasos -----	34
2.2.4 Calagem e incorporação dos resíduos culturais -----	35
2.2.5 Adubações e plantio -----	35
2.2.6 Tratos culturais e condução da cultura -----	36
2.2.7 Coleta da solução percolada no solo -----	39
2.2.8 Colheita do experimento -----	40
2.2.9 Cálculos de balanço isotópico ( <sup>15</sup> N e <sup>34</sup> S) -----	41
2.2.10 Análise dos resultados -----	42
2.3 Resultados e discussão -----	43

2.3.1 Solução percolada pela terra dos vasos -----	43
2.3.2 Perda de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) por lixiviação -----	46
2.3.3 Perda de enxofre ( $^{34}\text{S}$ ) por lixiviação -----	50
2.3.4 Acúmulo de massa de matéria seca na cana-de-açúcar -----	57
2.3.5 Acúmulo de nitrogênio e enxofre na cana-de-açúcar -----	59
2.3.6 Produção e qualidade tecnológica dos colmos -----	66
2.3.7 Utilização pela cana-de-açúcar do $^{15}\text{N}$ -fertilizante e $^{15}\text{N}$ -resíduo cultural -----	69
2.3.8 Efeito residual no solo do $^{15}\text{N}$ -fertilizante e $^{15}\text{N}$ -resíduo cultural -----	78
2.3.9 Recuperação total do $^{15}\text{N}$ -fertilizante e $^{15}\text{N}$ -resíduo cultural no sistema solo-cana-de-açúcar -----	80
2.3.10 Utilização pela cana-de-açúcar do $^{34}\text{S}$ -fertilizante -----	82
2.3.11 Efeito residual no solo do $^{34}\text{S}$ -fertilizante -----	86
2.3.12 Recuperação total do $^{34}\text{S}$ -fertilizante no sistema solo-cana-de-açúcar -----	87
2.4 Considerações finais -----	89
3 CONCLUSÕES -----	92
REFERÊNCIAS -----	93
ANEXOS -----	109

## RESUMO

### Balanco de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta

O trabalho teve por objetivo avaliar o aproveitamento e a distribuição do nitrogênio e do enxofre adicionado ao solo como fertilizante no sistema solo-cana-de-açúcar (cana-planta), utilizando-se os isótopos estáveis  $^{15}\text{N}$  e  $^{34}\text{S}$ . Objetivou-se também avaliar a contribuição do nitrogênio mineralizado dos resíduos culturais marcados em  $^{15}\text{N}$  e incorporados ao solo, numa condição próxima a de reforma de canavial sem despalha a fogo. Foram quantificadas as perdas por lixiviação de N e S proveniente do solo e dos fertilizantes, com verificação da resposta em produção e qualidade da cana-planta à adubação com N e S no plantio, e realizado o balanço final do N e S no sistema solo-cana-de-açúcar. A pesquisa foi desenvolvida na Estação Experimental Apta 15 em Piracicaba/SP, com o uso de vasos plásticos de 220 L preenchidos com aproximadamente 250 kg de solo de textura arenosa. Foram realizados, simultaneamente, dois experimentos em delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições. O primeiro experimento constituiu-se de um fatorial completo 4 X 2 (quatro doses de N: 0, 1,2, 2,4 e 3,6 g N vaso<sup>-1</sup> e duas doses de S: 0 e 2,1 g S vaso<sup>-1</sup>) e com aplicação de fertilizantes marcados isotopicamente ( $^{15}\text{N}$ - 10% em átomos e  $^{34}\text{S}$ - 9,5% em átomos) e resíduos culturais (folhas secas, ponteiros e raízes + rizomas) sem marcação isotópica. O segundo experimento constituiu-se de cinco tratamentos com a combinação dos níveis de N e S, com a diferença de terem recebido resíduo cultural com marcação isotópica ( $^{15}\text{N}$ - 0,827% em átomos). Na camada superficial de terra (0-25cm) foram adicionados os restos culturais e o calcário. Após a calagem foi realizada a aplicação dos tratamentos e o plantio com o transplante de três gemas por vaso da cultivar de cana-de-açúcar SP 80-3280. Os experimentos tiveram duração de 16 meses. O aumento na extração de N, proporcionado pelo aumento das doses de N-fertilizante resultou em sinergismo na extração de S. Nas condições do trabalho, com limitação da nutrição nitrogenada da cana-planta, a fertilização com S associada à de N não resultou em efeito sinérgico na produtividade da cultura; entretanto houve resposta em produtividade às doses crescentes de N, sem haver resposta à aplicação de S. A lixiviação de S (S-fertilizante e S-nativo do solo) diminuiu com o aumento das doses de N. O balanço final para o N indicou aproveitamento pelas plantas de 35% do N-fertilizante e 14% dos resíduos culturais, com efeito residual do N dessas fontes de 34 e 75% do N respectivamente. O N não contabilizado no sistema foi de 10 e 31% , respectivamente, para as fontes N-resíduo cultural e N-fertilizante, o que se atribuiu a possíveis perdas de amônia por volatilização do solo e pela parte aérea e, também, a desnitrificação. Para o balanço final de S verificou-se aproveitamento de 32% do S-fertilizante pelas plantas, com efeito residual no solo de 43% da fertilização. O S não contabilizado no sistema atingiu valor máximo de 10% do total aplicado, sendo atribuído à perda por volatilização de  $\text{SO}_2$  pela parte aérea da cana-de-açúcar.

Palavras-chave:  $^{15}\text{N}$ ;  $^{34}\text{S}$ ; Balanço isotópico; Adubação de plantio



## ABSTRACT

### Nitrogen and sulfur balance in the soil-sugarcane system during the plant cane cycle

This work's objective was to evaluate the use and distribution of nitrogen and sulfur added to the soil as fertilizers in the soil-sugarcane system (plant cane), using the stable isotopes  $^{15}\text{N}$  and  $^{34}\text{S}$ . The study also aimed to evaluate the contribution of nitrogen mineralized from sugar cane crop residues labeled with  $^{15}\text{N}$  and incorporated into the soil, in a condition similar to that found in the renovation of a sugarcane plantation without burning the trash. Losses of N and S from the soil and from the fertilizers via leaching were quantified. Sugarcane responses in terms of yield and plant cane quality to N and S fertilization at planting were determined, and the N and S final balances in the soil-sugarcane system were calculated. The research was conducted at the Apta 15 Experiment Station in Piracicaba/SP, using 220 L-capacity plastic pots filled with approximately 250 kg of a sandy-textured soil. Two experiments were conducted simultaneously in a random block experimental design with four replicates. The first experiment consisted of a full 4 X 2 factorial arrangement (four N doses: 0, 1.2, 2.4, and 3.6 g N pot<sup>-1</sup> and two S doses: 0 and 2.1 g S pot<sup>-1</sup>) and application of isotopically labeled fertilizers ( $^{15}\text{N}$ - 10% in atoms and  $^{34}\text{S}$ - 9.5% in atoms) and crop residues (dry leaves, shoots and roots + rhizomes) without isotopic labeling. The second experiment consisted of five treatments involving those N and S level combinations, except that they received isotopically labeled crop residues ( $^{15}\text{N}$ - 0.827% in atoms). Crop residues and lime were added to the soil surface layer (0-25cm). The treatments were applied after liming, and planting was accomplished by transplanting three buds per pot of sugarcane cultivar SP 80-3280. The experiments lasted 16 months. The increased N extraction provided by increased fertilizer N doses resulted in S-extraction synergism. In the conditions of this study, under nitrogen nutrition limitation in plant cane, S fertilization in association with N fertilization did not result in a synergistic crop productivity effect; however, there was a productivity response to increasing N doses, without response to S application. S leaching (fertilizer S and native S from the soil) decreased as N doses increased. The final N balance indicated a 35% utilization by plants of fertilizer-N and 14% of crop residue-N, with residual effects in those sources of 34 and 75% N, respectively. The unaccounted N in the system were 10 and 31%, respectively, for crop residue-N and fertilizer-N sources, which were attributed to ammonia losses by volatilization from the soil and via the above-ground part of the plant, and to denitrification. A 32% utilization of fertilizer-S by the plants was verified in the final S balance, with a residual effect in the soil of 43% of fertilization. S not accounted for in the system reached a maximum value of 10% of the total applied, attributed to losses by  $\text{SO}_2$  volatilization via the above-ground part of the sugarcane plants.

Keywords:  $^{15}\text{N}$ ;  $^{34}\text{S}$ ; Isotopic balance; Planting fertilization

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar desempenha papel de destaque no agronegócio brasileiro, representando a indústria sucroalcooleira cerca de 2% das exportações nacionais, além de gerar quantidade significativa de empregos e contribuir de maneira efetiva para o crescimento do mercado interno de bens de consumo. As perspectivas para o setor sucroalcooleiro são promissoras em médio prazo, principalmente devido à quebra dos subsídios do açúcar europeu e a conquista de novos mercados consumidores. Aliado a isso, a crescente preocupação da sociedade mundial em relação às condições do ambiente, em especial da atmosfera terrestre, têm levado a reduções do uso dos combustíveis fósseis, responsáveis pela emissão de gases poluentes, e uso cada vez maior de fontes de energia renováveis, caso do álcool. Neste contexto, a produção agrícola brasileira de cana-de-açúcar provavelmente acompanhará o crescimento da demanda mundial por açúcar e álcool. A estimativa da produção agrícola de cana-de-açúcar para o ano safra de 2006/2007 é de 470 milhões de toneladas em área plantada de 6,2 milhões de hectares, o que representa uma produtividade média de  $76 \text{ t ha}^{-1}$ , valor este muito distante do potencial produtivo das variedades cultivadas no país, o que faz com que as pesquisas se direcionem em busca de solucionar as causas desse déficit produtivo.

Nas diversas regiões canavieiras do Brasil, a disponibilidade adequada de nutrientes minerais no solo é considerada um dos fatores de maior limitação à produtividade da cultura, com destaque para o nitrogênio, podendo-se ainda considerar em muitos casos, que a utilização deste nutriente pode ser reduzida pela carência de enxofre, ficando implícito uma sinergia entre ambos.

O nitrogênio no solo possui características de elevada dinâmica, sendo sua disponibilidade governada por fatores intrínsecos ao manejo adotado para o sistema. É devido a essa elevada dinâmica que a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada de plantio é uma questão ainda não muito bem definida. Aliado a isso, tem-se a reforma de canavial sem despalha a fogo, com permanência no solo dos resíduos da cultura, como um dos fatores de influência no manejo do nutriente para a cana-de-açúcar. Dessa forma, o estudo das reais contribuições dos diversos compartimentos de nitrogênio no solo, para a nutrição e produção da cana-de-açúcar, é extremamente importante na elucidação da dinâmica do elemento. Para isso, o uso de fertilizantes e resíduos culturais marcados em  $^{15}\text{N}$ , adiciona um passo a mais nas pesquisas da dinâmica do nitrogênio no sistema solo-cana-planta.

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

