

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO, NA NUTRIÇÃO E NA PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Diego Wyllyam do Vale**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO, NA NUTRIÇÃO E NA PRODUÇÃO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Diego Wyllyam do Vale**

**Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado**

**Co-orientador: Prof. Dr. Heitor Cantarella**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

**JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
Julho de 2009**

V149e Vale, Diego Wyllyam do  
Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na  
nutrição e na produção de cana-de-açúcar/ Diego Wyllyam do Vale.  
-- Jaboticabal, 2009  
xxii, 120 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009  
Orientador: Renato de Mello Prado  
Banca examinadora: Jairo Osvaldo Cazetta, Dirceu Maximino  
Fernandes  
Bibliografia

1. *Saccharum* spp L. 2. Nutrição de plantas. 3. Adubação  
nitrogenada. 4. Crescimento. 5. Produtividade I. Título. II. Jaboticabal-  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:631.84

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da  
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de  
Jaboticabal.

unesp



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE JABOTICABAL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

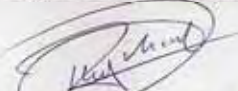
**TÍTULO:** EFEITO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA NUTRIÇÃO E NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.

**AUTOR:** DIEGO WYLLYAM DO VALE

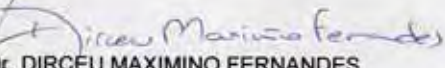
**ORIENTADOR:** Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Co-Orientador(a): Dr. HEITOR CANTARELLA


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:

  
Dr. RENATO DE MELLO PRADO

  
Dr. JAIRO OSVALDO CAZETTA

  
Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Data da realização: 10 de julho de 2009.

  
Presidente da Comissão Examinadora  
Dr. RENATO DE MELLO PRADO

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Diego Wyllyam do Vale** – Nascido em São Joaquim da Barra – SP em 27 de setembro de 1985, filho de Márcio Luiz do Vale. Graduiu-se Engenheiro Agrônomo em julho de 2007 na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal – SP. Foi bolsista de iniciação científica pela FAPESP por 18 meses. Participou em órgãos colegiados na Unesp, Câmpus de Jaboticabal como membro representante discente junto aos Conselhos do Departamento de Solos e Adubos, ao curso de Agronomia e da Congregação. Foi diretor presidente da CAP Junior (Consultoria Agropecuária Júnior) em 2006/2007, diretor da XXXII SECITAP (Semana de Ciência e Tecnologia Agropecuária) e coordenou/organizou diversos cursos, dias de campo e estande em feiras agropecuárias, dentre outras atividades. Em agosto de 2007 iniciou o Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal – SP. Foi bolsista por um mês do CNPq e até o final do curso da FAPESP. Realizou diversas atividades como estágio docência, organizou simpósios além da participação em diversos cursos e congressos. Atuou ainda como Diretor Presidente da APG (Associação dos Pós-Graduandos da Unesp, Câmpus de Jaboticabal). Foi autor e co-autor de nove artigos em periódicos científicos, quatro livros, quatro capítulos de livro, trinta e sete resumos em congressos, organizou dezoito eventos e participou de mais de quarenta e seis. Em julho de 2009 obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

Querida vovó (Maria Aparecida Machado Martins do Vale) e vovô (Manoel Martins do Vale) (*in memoriam*) vocês fazem muita falta! Basta começar escrever que meus olhos se enchem de lágrimas, como vocês foram e são importantes na minha vida. Lembro-me de cada gesto, cada atitude carinhosa, cada palavra de consolo, cada exemplo de vida, de dedicação e de coragem. Ó dia 13 de junho de 2002, dia que me despedi de vocês, mesmo sem saber que seria o último adeus. Meus avôs estejam e descansem em paz, saibam que todas as minhas vitórias serão sempre dedicadas a vocês. Hoje eu sei que se eu sou uma gota no oceano é porque vocês são o oceano para mim. Amo muito vocês!!!

**DEDICO**

Ao meu querido e amado Pai (Márcio Luiz do Vale) que desde 1994 precisou ser muito mais do que Pai e Mãe ao mesmo tempo, precisou ser meu amigo, companheiro e exemplo de vida. Ao meu querido e amado Irmão (Márcio Luiz do Vale) que desde muito novo viu a responsabilidade bater-lhe a porta e agiu sempre com muita coragem e determinação. Só mesmo Deus sabe o que esses dois anjos já passaram por mim e ainda passariam para a minha felicidade.

**OFEREÇO**

## **Eu creio**

Creio nos valores humanos e sou o homem da terra.

Creio na força do trabalho como elos e trança do progresso.

Acredito numa energia imanente que virá um dia ligar a família humana  
numa corrente de fraternidade universal.

Creio na salvação dos abandonados e na regeneração dos encarcerados,  
pela exaltação e dignidade do trabalho.

Acredito nos jovens à procura de caminhos novos abrindo espaços largos  
na vida.

Creio na superação das incertezas.

Por fim, creio em Deus! Que me fez acreditar que quando se crê tudo é  
possível!

(adaptado de Cora Coralina)

## **Agradecimentos**

À Deus todo poderoso, por tudo que o Senhor fez por mim e pela minha família e principalmente por me carregar nos momentos mais difíceis.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal, por ter me dado base acadêmica e científica, e ter auxiliado na formação de um homem culto e de caráter.

Ao CNPq pelo primeiro mês de bolsa e à FAPESP pela concessão da bolsa até o final do curso (Processo n° 2007/53548-2).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato de Mello Prado, que desde o tempo de graduação me ensina e auxilia em todas as situações acadêmicas.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Heitor Cantarella, que mesmo tendo inúmeras atribuições sempre separou um tempo para me auxiliar.

À Usina São Martinho que sempre deu todo apoio e infra-estrutura para condução do experimento, em especial ao Luciano e ao Marquinhos que se tornaram amigos nesta empreitada.

Ao Prof. Dr. Miguel Ângelo Mutton pelos auxílios na localização de uma área para instalação do experimento.

Aos membros da banca de qualificação Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira e Prof. Dr. José Carlos Barbosa, e membros da banca de defesa da dissertação Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes e Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta pelas valiosas contribuições.

À minha namorada, Camila Ganzella, pelo apoio, carinho, amizade e atenção. Saiba que se hoje sou mestre é porque você me ajudou demais nesta jornada.

Ao “Meninão” Marcos André Ribeiro, que com muito companheirismo me ajudou a completar este ciclo.

À minha amada “Tia Douglaci”, que não é minha tia, mas sim uma mãe, pela atenção, carinhos e palavras sábias.

À minha família em especial minha Irmã Joice, minha sobrinha Victoria, meu Tio Francisco, meus primos Arthur e Marcelo, e Tio Manoel, por serem mais do que pessoas da família, serem a minha família.

Aos meus amigos de pós-graduação: Adriana, Amanda, Anarlete, Anelisa, Aline, Cíntia, Denise, Fabiana, Ivana, Liliane, Ancélio, Daniel, Danilo, Diego, Henrique, Leandro, Luiz Gustavo, Ronaldo e Rossato.

Aos amigos de graduação: André, Everton, Mateus, Paulo, Silvio e Tais pela ajuda nas análises experimentais.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial a Célia, à Claudinha e ao Dejair pela grande ajuda.

Aos amigos da Associação dos Pós-Graduandos, pelo aprendizado e auxílio em um ano de trabalho.

Aos amigos DeMolay pelo tempo de convívio, pelo entendimento e auxílio na minha formação.

À todos aqueles que, embora não mencionados, contribuíram de forma direta ou indiretamente para minha formação.

Muito Obrigado!

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUÇÃO .....	3
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
3.1. Aspectos básicos da cultura da cana-de-açúcar.....	5
3.2. Importância econômica da cultura da cana-de-açúcar.....	9
3.3. Nitrogênio da palhada da cana-de-açúcar .....	12
3.4. Nitrogênio no sistema solo e planta .....	16
3.5. Importância do nitrogênio na nutrição da cana-de-açúcar .....	18
3.6. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio .....	22
3.7. Efeitos do nitrogênio na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar .....	26
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1. Efeito dos tratamentos na concentração de amônio e nitrato aos seis e aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar .....	39
5.2. Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo aos seis e aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar .....	45
5.3. Efeito dos tratamentos na medida indireta da clorofila e nos teores foliares de nutrientes aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar .....	54
5.4. Efeito dos tratamentos no teor e no acúmulo de nutrientes nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos na época da colheita da cana-de-açúcar .....	61
5.5. Efeito dos tratamentos no crescimento aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar .....	69
5.6. Efeito dos tratamentos na produção da cana-de-açúcar.....	73

5.7. Efeito dos tratamentos na produção de fitomassa pela cana-de-açúcar....	76
5.8. Efeito dos tratamentos na qualidade e no rendimento bruto de açúcar e álcool da cana-de-açúcar .....	79
5.9. Efeito dos tratamentos no fator econômico da segunda soqueira de cana-de-açúcar .....	82
6. CONCLUSÕES .....	86
7. REFERÊNCIAS.....	87
8. APÊNDICE .....	104

## EFEITO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, NA NUTRIÇÃO E NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** - A colheita mecanizada da cana-de-açúcar deixa na superfície do solo resíduo vegetal que pode provocar mudanças na dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição, no crescimento e na produção da segunda soqueira de cana-de-açúcar em sistema de colheita mecanizada. Para isso, instalou-se experimento na Usina São Martinho no município de Matão-SP em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, após o corte da primeira soqueira da cana-de-açúcar (variedade SP 83-2847). Os tratamentos de nitrogênio foram: 0; 60; 120; 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, dispostos em blocos casualizados e quatro repetições. O nitrogênio foi aplicado na forma de nitrato de amônio, um mês após o corte da primeira soqueira de cana-de-açúcar (Dezembro de 2007). Avaliaram-se os atributos químicos do solo aos seis meses após a aplicação do nitrogênio e na colheita; o estado nutricional e o crescimento aos quatro e aos nove meses após a aplicação do nitrogênio, a qualidade tecnológica e a produção de cana-de-açúcar aos doze meses após o corte da primeira soqueira e também realizou-se análise econômica da adubação nitrogenada. A aplicação de nitrogênio incrementou a concentração de amônio e nitrato no solo, o acúmulo de nitrogênio, o crescimento e a produção da cana-de-açúcar. A dose de 138 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou a máxima produção de colmos (140 t ha<sup>-1</sup>).

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp L., nutrição de plantas, adubação nitrogenada, crescimento, produtividade.

## **EFFECT OF NITROGEN ON THE SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES, NUTRITION AND THE PRODUCTION OF SUGARCANE**

**SUMMARY** – The harvest of sugarcane leaves on the soil surface plant residue that may changes the dynamics of nitrogen in soil-plant system. The objective was to evaluate the effect of nitrogen on the soil chemical attributes, nutrition, growth and production of the second ratoon sugarcane harvest in the system. For that, it was installed at Usina São Martinho experiment in the city of Matão-SP in an Oxisol of yellow clay, after the hamlets of the first sugarcane cycle (variety SP 83-2847). The nitrogen treatments were: 0, 60, 120, 180 and 240 kg ha<sup>-1</sup>, prepared in randomized blocks and four replications. Nitrogen was applied as ammonium nitrate, a month after the cut stumps of the first sugarcane (December 2007). We evaluated the chemical soil for six months after the application of nitrogen and harvest; the nutritional status and growth of four and nine months after the application of nitrogen, the technological quality and the production of sugarcane to the twelve months after the first cut stumps and also was held economic analysis of nitrogen fertilization. The application of nitrogen incremented the concentration of ammonium and nitration on the soil, the accumulation of nitrogen, the growth and production of sugarcane. The rate of 138 kg ha<sup>-1</sup> was the maximum production of stems (140 t ha<sup>-1</sup>).

**Key-words** – *Saccharum* spp L., plants of nutrition, nitrogen fertilization, growth, productivity.

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp L.) é uma das melhores opções, dentre as fontes de energia renováveis, para a produção de álcool, além do açúcar, sendo um dos principais produtos brasileiros. Portanto, a cultura é importante tanto no aspecto social como no econômico.

Nos últimos anos o sistema de produção da cana-de-açúcar tem apresentado mudanças, passando da colheita manual com uso da despalha a fogo (cana queimada), à colheita mecanizada (cana crua), atendendo aos aspectos da legislação ambiental que condena o uso da queima da cana-de-açúcar, e também aos aspectos econômicos, face ao menor custo de colheita com o uso de colhedoras. Estima-se que no estado de São Paulo a massa de palha de cana que permanece sobre o solo após o corte varia de 13 a 30 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca (CANTARELLA, 1998)

A presença de resíduo vegetal sobre o solo provoca mudanças no agroecossistema, exigindo reformulação das práticas até então empregadas no manejo da cana colhida depois de queimada (COSTA et al., 2003). Estes mesmos autores acrescentam que, com relação ao manejo da adubação, o maior problema é o uso do nitrogênio pelas soqueiras.

É sabido que o N é um constituinte estrutural indispensável para a adequada nutrição das plantas. Na biosfera o nitrogênio encontra-se em diferentes formas, incluindo o N molecular (N<sub>2</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), iônica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e orgânica como aminoácidos e peptídeos (WIRÉN et al., 1997). Na agricultura, o N é determinante na produção das culturas, além de ser um dos fertilizantes que mais participa do sistema agrícola (MAE, 1997). Sua assimilação está diretamente

relacionada com o metabolismo do carbono, que fornece energia na forma de esqueletos de C, necessários para converter o N-inorgânico em compostos orgânicos (PEUKE & JESCHKE, 1993).

O manejo inadequado de um canavial, especialmente da adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas (VITTI et al., 2007). ORLANDO FILHO et al. (1999) constataram a importância da adubação nitrogenada no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subsequentes.

Na literatura têm-se vários trabalhos indicando efeitos benéficos do nitrogênio na produção da cana-de-açúcar, especialmente nas soqueiras (ORLANDO FILHO et al., 1999; ALVAREZ et al., 1963), entretanto, a maioria foi desenvolvida no sistema de colheita com despalha a fogo.

Apesar da importância do nitrogênio para a soqueira da cana-de-açúcar, devido à baixa disponibilidade de N em solos tropicais, os resultados de pesquisa que avaliaram as respostas desta cultura à aplicação desse nutriente, ainda são incipientes, não permitem uma recomendação de adubação nesse novo sistema de produção da cana-de-açúcar.

## **2. OBJETIVO**

Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição, no crescimento e na produção da segunda soqueira de cana-de-açúcar em sistema de colheita mecanizada.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Aspectos básicos da cultura da cana-de-açúcar

##### a) Classificação botânica

A cana-de-açúcar, conforme a classificação botânica, pertence à divisão Embryophita, subdivisão Angiospermae, classe Monocotyledonae, ordem Glumiflorae, família Poaceae, tribo Andropogonae, subtribo Saccharae, gênero *Saccharum*, espécie *Saccharum* spp (ALVES, 2004). O nome atual da espécie está relacionado ao fato de que todas as variedades de cana, atualmente cultivadas em todo o mundo, são para produção de açúcar, álcool, aguardente ou forragem. As espécies cultivadas atualmente têm a sua provável origem na Oceania (Nova Guiné) e Ásia (Índia e China) (ANDRADE, 2003), assim sendo, segue abaixo a origem das espécies *Saccharum* segundo MATSUOKA et al. (1999).

*S. officinarum* L. ( $2n=80$ ) - essa espécie é um complexo poliplóide, cujo centro de diversidade é a Nova Guiné, sendo seu centro de origem desconhecido. Admite-se que tenha surgido naquela mesma região, a partir de *S. spontaneum*, *Miscanthus* e *Erianthus arundinaceus*, passando por *S. robustum*. Constitui-se da espécie base dos programas de melhoramento, por possuir características especiais como, colmos suculentos com bom teor de sacarose, elevada pureza do caldo e teor de fibra adequado para moagem. São exigentes em clima e solo e muito sensíveis a doenças, como ao mosaico. Além dessa, tem-se outras como: *S. spontaneum* L. ( $2n=40-128$ ), *S. robustum* Jesw. ( $2n=60-205$ ), *S. sinense* Roxb ( $2n=111-120$ ), *S. barberi* Jesw. ( $2n=81-124$ ) e *S. edule*. ( $2n=60-80$ ).

Os colmos da cana-de-açúcar constituem-se de fibras (8 - 14%) e caldo (86 - 92%); composição química média, em %, da cana-de-açúcar madura conforme GTCA (2006): Água 74,5, Cinzas 0,5, Fibra 10, Açúcares 14, Corpos Nitrogenados 0,4, Graxa e Cêra 0,2, Pectinas, gomas e mucilagem 0,2, Ácidos livres 0,08, Ácidos combinados 0,12.

### **b) Clima, temperatura e precipitação**

A cana-de-açúcar está amplamente adaptada às faixas de clima tropical e subtropical. Geograficamente a cana-de-açúcar se desenvolve entre as latitudes de 35° N, no sul dos Estados Unidos, à 35° S, no Norte da Argentina (PLANALSUCAR, 1986). A duração do seu período de crescimento vegetativo é bastante variável, sendo de 9 a 10 meses na Luisiana – EUA, até 2 anos ou mais no Peru, África do Sul e Havaí (PARANHOS, 1987).

A **Figura 1** ilustra a distribuição das áreas no Brasil com solos favoráveis sob condições agroclimáticas não limitantes.

A acumulação da sacarose no colmo ocorre quando a produção de açúcares nas folhas excede o consumo energético da planta. Esta produção e consumo são influenciados por diversos fatores como temperatura, umidade, etc. Quando as condições se tornam limitantes ao crescimento vegetativo, maior quantidade de sacarose é armazenada e a cana-de-açúcar entra em maturação (CESAR et al, 1993).

De maneira geral, o crescimento da cana ocorre no período de umidade intensa e temperatura elevada. Nessa fase, não ocorre acúmulo expressivo de sacarose nos colmos. O desenvolvimento da cana-de-açúcar está ligado à temperatura ambiente, sendo máximo entre 30 e 34 °C e lento abaixo de 25 °C e acima de 35 °C (TAUCONNIER & BASSEREAU, 1975).



**Figura 1** - Distribuição das áreas com solos favoráveis à cultura da cana-de-açúcar sob condições climáticas não limitantes.

Quando cessa o crescimento, o teor de açúcar começa a elevar-se, a partir daí, a planta requer solo seco e baixa temperatura, de preferência em torno de 20°C. Se plantada em solos permanentemente úmidos, a cana não acumula açúcar (MAIA, 2006).

A cana-de-açúcar é cultivada em regiões cujas precipitações vão desde 1000 até 3000 mm anuais, precipitações abaixo dos 1000 mm anuais, recomenda-se irrigar (TRENTO FILHO, 2008).

A umidade do solo afeta a germinação, pois para que ela ocorra em porcentagem ideal requer-se bom suprimento de água, desde que não se mantenha o solo inundado afetando o fornecimento de oxigênio ou causando erosão (PLANALSUCAR, 1986).

De maneira geral, as fases de desenvolvimento vegetativo (brotação, perfilhamento e crescimento) são tanto maiores quanto melhor for a umidade disponível no solo (próximo à capacidade de campo). Entretanto, o excesso de umidade no solo, ou seja, o encharcamento é prejudicial à cultura da cana. Já a fase de maturação só se realizará por ocasião de déficit hídrico, resultado da condição de seca, já que é necessário a planta cessar o seu desenvolvimento para atingir a maturação (TRENTO FILHO, 2008).

Em regiões onde a estação seca não é bem definida obtém-se canas com menor teor de sacarose. O reinício das chuvas, combinado com uma elevação da temperatura mínima, tem como conseqüência a retomada do crescimento, diminuindo a quantidade de açúcar na planta (PLANALSUCAR, 1986).

### **c) Variedade**

A escolha das variedades de cana a serem utilizadas na formação do canavial deve levar em conta a relação entre as suas características, o local de implantação da cultura (TRENTO FILHO, 2008). Esta escolha é um dos principais fatores para o sucesso do empreendimento. Devem ser escolhidas variedades que possuam características definidas em relação à maturação, teor de açúcar, exigência em relação ao tipo de solo, resistência às doenças, despalha e porte.

Segundo MAIA (2006), as variedades de cana-de-açúcar podem atingir um teor máximo de sacarose em épocas diferentes, mesmo quando cultivadas em idênticas condições. Assim são classificadas em precoces (maturação entre maio e junho), médias (entre julho e agosto) e tardias (a partir de setembro).

Dentre os fatores de produção de cana-de-açúcar, a variedade ocupa lugar de destaque, já que é o único fator capaz de proporcionar aumentos significativos na

produtividade agrícola e industrial, sem aumentos nos custos de produção. Escolher uma boa variedade para plantio é, pois, muito importante (TRENTO FILHO, 2008).

A variedade SP 83-2847 é do grupo das variedades de cana-de-açúcar classificadas como pouco exigentes é uma das poucas opções de variedades para solos de baixa fertilidade (ambiente D e E), sobretudo nos arenosos, com alta produtividade agrícola. O que pode limitar sua expansão é que o teor de sacarose é baixo (entre 125 a 135 kg ha<sup>-1</sup> de ATR) e sensível à seca (ROSSETO et al., 2008).

A variedade SP 83-2847 é oriunda do cruzamento das variedades HJ 5741 e SP 70-1143, considerada como uma variedade rústica que germina bem, perfilhamento regular, fechamento bom, porte ereto, mas tomba quando adulta, a maturação é média a tardia, pobre, floresce regularmente, boa soca, de excelente produção e brotação de soqueiras, maturação média e tardia e alto teor de fibra. A planta é considerada resistente a broca, a ferrugem, intermediário ao carvão, resistente a nematóides e a escaldadura das folhas.

### **3.2. Importância econômica da cultura da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é cultivada em áreas subtropicais, entre 15° e 30° de latitude, podendo se estender até 35° de latitude tanto norte quanto Sul, sendo produzida comercialmente em mais de 70 países e territórios (LIMA, 2008).

O setor sucroalcooleiro gera para o Brasil 7 bilhões de dólares por ano, correspondendo a cerca de 2,4% do PIB, gera cerca de um milhão de empregos diretos e o sequestro de 20% das emissões de carbono que o setor de combustíveis fósseis emite no país (BRASIL, 2007).

No Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada em 8,9 milhões de hectares e constitui-se na matéria prima básica para três importantes produtos da agroindústria: açúcar, álcool etílico e aguardente (AGRIANUAL, 2009). Atualmente busca-se a produção de uma matéria prima com elevada riqueza em sacarose e de médio a baixo teor de fibra, que possibilite também produzir energia, dada a sobra de bagaço após a industrialização da cana-de-açúcar.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, participando com cerca de 33% da produção mundial, seguido pela Índia (22%) e China (7%). A produção brasileira concentra-se nas Regiões Sudeste (67%), Nordeste (12%) e Centro Oeste (11%). A produção nacional da safra 2007 destinada à indústria sucroalcooleira foi de 591 milhões de toneladas, das quais 337 milhões de toneladas são produzidas no Estado de São Paulo. A área ocupada com a cultura no Brasil é de 8,9 milhões de hectares (AGRIANUAL, 2009). Na região de Jaboticabal-SP, estima-se que a cana-de-açúcar seja cultivada em 255 mil hectares (LUPA, 2008).

Segundo ORTOLAN (2006) aproximadamente 85% da produção de cana-de-açúcar concentra-se nos Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Rio de Janeiro e Espírito Santo (**Figura 2**).

Segundo ORTOLAN (2006) o Brasil detém 40% do comércio internacional de açúcar e deve ampliar essa participação com a derrubada das barreiras na União Européia. Esta realidade só pode ser obtida devido às condições favoráveis de clima e relevo, chuvas regulares, tecnologia e muito espaço para crescer, sendo que nos 40 milhões de hectares, ou 5% da área total brasileira, são produzidos cerca de 120 milhões de toneladas de grãos e em outros 20 milhões de hectares as culturas semi-perenes e perenes, como a cana-de-açúcar, laranja e café.

O parque sucroalcooleiro nacional possui 355 usinas de açúcar e destilarias de álcool, sendo o setor responsável por cerca de 4,0 milhões de empregos diretos e indiretos, congregando mais de 72 mil agricultores (LIMA, 2008). Tais características colocam o Brasil como o único País no mundo que tem mais de 80% dos seus recursos energéticos baseados no uso de fontes de energia renováveis e não poluentes (ÚNICA, 2007).



**Figura 2** - Distribuição das áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar no Brasil.

A importância sócio-econômica da cultura canavieira em solos brasileiros é reconhecida devido à sua múltipla utilidade. Destas, o álcool combustível, produzido a partir da cana-de-açúcar, agrega conquistas agronômicas e industriais, que colocam o Brasil na vanguarda da produção de energia renovável no planeta, gerando uma fonte de energia alternativa mais barata e menos poluente, como roga o protocolo de Kyoto. Os combustíveis líquidos renováveis são importantes para a substituição dos derivados de petróleo, sendo uma oportunidade para o fortalecimento da agricultura no Brasil (LIMA, 2008).

Deve-se ressaltar o sucesso do lançamento dos veículos flex fuel em 2003, cujas vendas em março de 2008 atingiu o equivalente a 10% da frota automotriz do Brasil. As

vendas de veículos bicombustíveis representaram 84% do total de veículos vendidos em maio de 2008, contra 76% em maio de 2006. As perspectivas de uso desses veículos são bastante promissoras e devem impulsionar o consumo de álcool (LIMA, 2008).

As receitas com exportações provenientes do setor sucroalcooleiro tiveram aumentos de 49% de R\$ 4,87 bilhões para R\$ 7,38 bilhões em 2005 se comparado a 2004. Para 2010 projeções apontam que a produção deve atingir 570 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 184 milhões acima da produção atual (ORTOLAN, 2006).

Em meio a este parâmetro otimista do setor, novos sistemas de cultivo e legislações devem ser atendidos, a fim de se conquistar novos mercados e garantir os existentes. Neste sentido em 19 de setembro de 2002 foi publicado em São Paulo o decreto estadual nº 11.241, proibindo a queima da cana-de-açúcar e foram estabelecidos prazos limites para eliminação das queimadas dos canaviais paulistas. Os plantadores de cana-de-açúcar ficaram obrigados a reduzir essa prática, tendo como prazo 20 anos para áreas que são mecanizáveis e 30 anos para áreas não mecanizáveis (declividade superior a 12% ou queima menor que 150 ha). Neste contexto, tornam-se imprescindíveis novas pesquisas objetivando aumento de produtividade com sustentabilidade e aumento do retorno econômico (ORTOLAN, 2006).

### **3.3. Nitrogênio da palhada da cana-de-açúcar**

A colheita da cana-crua deixa na superfície do solo uma cobertura de palha que varia de 10 a 30 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de material seco, o que corresponde de 40 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (CANTARELLA, 1998). A mineralização deste resíduo cultural no solo é dependente dos seguintes fatores: temperatura, umidade, aeração, qualidade (composição química) destes restos culturais, especialmente da relação C:N, teores de lignina, celulose hemicelulose e polifenóis (OLIVEIRA & MORAES, 2002). O nitrogênio imobilizado na biomassa poderia suprir em parte a exigência nutricional da cultura, no entanto, pesquisas têm demonstrado que a taxa de mineralização desta palhada é lenta

(CANTARELLA et al., 2007).

Segundo CAMPBELL (2007) a maior mudança no sistema com colheita sem despalha a fogo na área de adubação refere-se à diminuição em longo prazo, da adubação nitrogenada. Embora os resíduos culturais deixados sobre a superfície do solo apresentem baixa quantidade de nitrogênio, quando comparada à reserva do solo, as colheitas sucessivas sem despalha a fogo devem contribuir, com o tempo, para o maior acúmulo de N no solo. Neste sentido, VALLIS et al. (1996) observaram redução da adubação nitrogenada em até  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  em um solo da Austrália onde foi cultivado cana-de-açúcar por um período de 20 anos.

GRAHAM et al. (2000) em cultivo de cana-de-açúcar após 59 anos sem queima, observaram que ocorre alterações significativas nos teores de N apenas na camada de 0-10 cm de profundidade, ainda segundo esses autores, apesar do acúmulo de resíduos na superfície do solo, a matéria orgânica decresceu em relação a uma área com pastagem nativa.

THORBURN et al. (2000) em cultivo de cana-de-açúcar sem despalha a fogo por 17 anos na Austrália observaram acúmulo de C e de N na camada superficial (0-5 cm de profundidade) do solo.

GAVA et al. (2005) avaliando a contribuição do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante e do  $^{15}\text{N}$  mineralizado da palha deixada sobre a superfície do solo em soqueira de cana-de-açúcar em um ano de cultivo, nas condições do Estado de São Paulo, observaram que do N-total acumulado na parte aérea da soqueira, 10 a 16% foi absorvido do fertilizante e aproximadamente 4% foi absorvido do resíduo cultural.

No solo, irá ocorrer mineralização do nitrogênio da palha assim como sua imobilização na biomassa microbiana. Esses dois processos ocorrem simultaneamente e a quantidade de nitrogênio do material em decomposição determinará, em grande parte, qual deles será o predominante. Como a palha de cana-de-açúcar possui em média uma relação C:N em torno de 100, é de se esperar uma intensa imobilização do N no solo, uma vez que, como regra geral, para relação C:N acima de 20 ocorre a imobilização (SIQUEIRA & FRANCO, 1998).

Estudos mostraram que a recuperação pela planta  $^{15}\text{N}$  proveniente dos resíduos

vegetais varia de 5 a 15% (MYERS et al., 1994). Essa variação, segundo os autores, depende da qualidade do resíduo, ou seja, do teor de N, que se for maior que  $20 \text{ g kg}^{-1}$  e a relação C:N menor que 25 apresenta uma mineralização mais rápida, e conseqüentemente maior aproveitamento do nutriente pela cultura ao longo do ciclo. Nessas condições, pode ocorrer deficiência de N nas plantas, uma vez que os resíduos orgânicos constituem-se primeiramente como fonte de nutrientes (macro e micronutrientes) para o solo e posteriormente para a própria cultura. Esta retenção torna-se prejudicial ao desenvolvimento da cultura, principalmente no estágio de crescimento e formação dos colmos, uma vez que a cultura requer grande quantidade de nitrogênio (SILVEIRA, 1985).

FARONI et al. (2003) observaram que 40 a 50% da matéria seca da palhada permanece sobre o solo após um ano de cultivo da cana-de-açúcar, e as quantidades de N liberadas durante o ciclo seguinte da cultura são de 3 a 30%.

Os resultados obtidos por VITTI (2003) mostram que o nitrogênio da palha acumulado na cultura aumentou com o tempo, principalmente no final do ciclo. Observou-se que o nitrogênio contido na palha ( $62 \text{ kg ha}^{-1}$ ) após a adubação da cana-de-açúcar com  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma de nitrato de amônio, apenas  $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$  de N contidos na palhada foram acumulados na cultura, o que representou  $4 \pm 0,3\%$  do N do resíduo da cultura.

O baixo aproveitamento do N-palha pode ser explicado pela lenta decomposição do resíduo no primeiro ano (aproximadamente 5%). Embora a estimativa do aproveitamento de N na parte aérea oriunda da mineralização da palha cresceu expressivamente com o tempo, pouco contribuiu para a nutrição da cultura, pois acumulou ao final do ciclo apenas  $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$ , ou seja, cerca de 3% do N total presente na palha. Essa estimativa se aproxima da verificada por GAVA et al. (2002), que verificaram reduzida mineralização de nitrogênio no período de um ano agrícola, disponibilizando no solo pequena quantidade de N e que cerca de 4% do N presente na palha foi acumulado na parte aérea. Neste sentido, GAVA et al. (2003) relatam que do nitrogênio absorvido pela cana-de-açúcar apenas 5 a 10% é proveniente da palhada, demonstrando que a maior parte do N oriundo da palhada é destinada ao estoque do

solo. VITTI (2003) observou que o N proveniente da palhada de cana-de-açúcar pouco contribui com a nutrição da cultura no ciclo seqüente.

Provavelmente, a contribuição do N da palha na nutrição da cana-de-açúcar seja maior nas próximas soqueiras onde foram depositadas a palha e conseqüente decomposição, uma vez que os resultados experimentais mostram que de  $22\% \pm 5,1\%$  de seu N foi recuperado no solo, ao final da primeira safra, sendo possível que parte desse nitrogênio já estivesse na forma mineral, não sendo absorvido pela cana-de-açúcar devido ao tamanho do "pool" do N no solo. A liberação do N-palha obtida por OLIVEIRA et al. (1999b) em dois ambientes agrícolas foi de 20%.

GRAHAM et al. (2002) constataram que a palhada aumentou a atividade microbiana e o acúmulo superficial de matéria orgânica, melhorando as características físicas do solo e beneficiando a reciclagem de nutrientes.

Os benefícios da palhada levam a acreditar que a presença desta proporcionará aumentos de produtividade, todavia ORLANDO FILHO et al. (1994) relataram que a presença de palha provocou redução acentuada na produção de colmos, mas o problema parecia estar relacionado à variedade de cana-de-açúcar utilizada. No entanto, BASANTA et al. (2003) também relataram produções menores em áreas de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo, o que neste caso foi explicada devido ao excesso de chuva e imobilização do N pela palha. TRIVELIN et al. (2002b) em experimento avaliando o efeito do uso ou não da despalha a fogo, não observaram diferença entre os tratamentos em relação a produtividade da cana-de-açúcar. Já URQUIAGA et al. (1995) obtiveram maiores produtividades em cana-de-açúcar, colhida sem despalha a fogo, na maioria dos nove ciclos avaliados. Em experimentos de longa duração, a produtividade também têm sido superior em áreas sem despalha a fogo, com incremento médio de  $9,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (em 39 colheitas) comparando aos tratamentos com queima (GRAHAM et al., 2000).

Segundo CANTARELLA et al. (2007) a médio e longo prazo, o solo pode acumular C e N orgânico quando a cana-de-açúcar é manejada sem despalha a fogo, mas, em curto prazo, o aporte de resíduos com alta relação C:N pode fazer aumentar a demanda por N mineral, concomitante a isso, segundo WEIR et al. (1998) a menor

evaporação de água, devido a cobertura vegetal, pode favorecer as perdas por lixiviação e por desnitrificação. ANTWERPEN et al. (2002) relatam que o aumento da exigência de N pode ser justificado devido ao aumento da produção em função da maior disponibilidade hídrica. Entretanto, CANTARELLA et al. (2007) acrescentam ainda que há dúvidas se a manutenção da palhada no solo influencia o efeito da aplicação de nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar, em comparação com o sistema com queima, pois os efeitos sobre a produtividade são complexos por envolver diversos fatores: adaptação das variedades, brotação das soqueiras sob a palha, incidência de pragas e doenças, disponibilidade de água e a nutrição nitrogenada.

THORBURN et al. (2002) prevêem, que em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo a dose de N deve ser  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  superior à dose empregada em cana queimada, para se beneficiar dos benefícios da palhada no sistema de cultivo e principalmente da água adicional e esta dose só se estabilizaria após 30 a 40 anos de cultivo. Todavia estes números devem ser revistos, visto as diferentes condições de clima, variedade e manejo.

### **3.4. Nitrogênio no sistema solo e planta**

Paralelo aos problemas em se estimar a dose adequada de nitrogênio a ser aplicada em sistema de colheita sem a despalha a fogo e seus efeitos na nutrição da cultura, existem relatos contraditórios na literatura referente a diminuição do nitrogênio no sistema solo e planta, especialmente do sistema de cultivo da cana-de-açúcar.

No solo, o nitrogênio esta predominantemente na forma orgânica, e com a mineralização libera-se na forma mineral ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4$ ) e associado com os fertilizantes nitrogenados aumenta a disponibilidade desses íons no solo e tem-se o contato íon-raíz e a absorção do nutriente pela planta. Para aumentar o nitrogênio disponível pelas plantas ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4$ ) e conseqüentemente a produtividade da cana-de-açúcar é importante favorecer a mineralização do N-orgânico e diminuir as perdas do nutriente, seja por volatilização, desnitrificação ou lixiviação.

Relatos apontam que as perdas de N por lixiviação são significativas, podendo

atingir valores da ordem de 50% do nitrogênio aplicado, em condições de altas temperaturas este valor pode ser ainda maior, da ordem de 70%, sabe-se que a uréia tem uma tendência constante mais favorável à perda por volatilização do N-NH<sub>3</sub> do que a amônia.

Neste sentido, TRIVELIN et al. (1988) trabalharam com material marcado (<sup>15</sup>N), uréia e aquamônia, encontraram perdas totais de 72,1 e 58,8 kg N ha<sup>-1</sup> que incluíam 7,0 e 35,0 kg ha<sup>-1</sup> de N como perdas por lixiviação, respectivamente. BOLOGNA et al. (2006) afirmam que as perdas de nitrogênio por lixiviação podem levar a problemas de queda da fertilidade do solo e até mesmo a contaminação do lençol freático.

OLIVEIRA et al. (1999b) em experimento conduzido em lisímetros contendo aproximadamente 250 kg de terra arenosa, obtiveram perda média de 4,5 kg ha<sup>-1</sup> de N ano<sup>-1</sup>. PADOVESE (1988) observaram valores mais baixo, situados em perdas anuais de apenas 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de N. Contradizendo esses resultados, VITTI (2003) concluíram que as perdas por lixiviação são pouco relevantes nas condições brasileiras, geralmente inferior a 5% do N aplicado. CAMARGO (1989) observa que em solos arenosos a perda de N por lixiviação começa ser relevante, atingindo cerca de 30% do N aplicado na forma de uréia.

Segundo CANTARELLA et al. (2007) as perdas de N em cana-de-açúcar nas regiões brasileiras é pequena devido: aplicação de baixas doses de fertilizantes nitrogenados, aplicação em período de baixa ocorrência de chuva e época de rápido crescimento da cana-de-açúcar.

A volatilização de NH<sub>3</sub> parece ser mais comum e expressiva, ainda que não possam ser desconsideradas as perdas oriundas do mecanismo conhecido como ponto de compensação de NH<sub>3</sub>, que acontecem quando a concentração de N na planta esta acima daquela da atmosfera, fenômeno este que pode ocorrer devido estresse de temperatura, de água, de altas doses de fertilizantes nitrogenados, devido desequilíbrio com suprimento em enxofre, em função da senescência de folhas e devido a uma diminuição da atividade das enzimas responsáveis pela assimilação do amônio (CANTARELLA et al., 2007). Neste sentido, VALLIS & KEATING (1994) sugerem que o processo de senescência foliar pode ser responsável pela perda de 5% do N da planta

de várias culturas. Em cana-de-açúcar ocorre perdas de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  (PRAZERTSAK et al., 2002) a  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  (TRIVELIN et al., 2002b). Segundo ARAÚJO et al., (2004) tendo o solo pH elevado pode ocorrer perdas de amônio por volatilização de  $\text{NH}_3$ .

Outras fontes de perda raramente medidas com boa precisão em condições de campo são as oriundas da desnitrificação, estas perdas ocorrem quando o N-nítrico encontra um ambiente anaeróbico, provocado por excesso de água, no qual a microbiota reduz o nitrato a formas gasosas ( $\text{N}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ), perdas estas que poderiam ajudar a explicar os 20 a 50% do N não contabilizados nos estudos envolvendo balanço com traçadores (CANTARELLA et al., 2007). DOBBIE et al. (1999) concluem que a presença de palha na superfície do solo causa aumento das perdas por desnitrificação.

TRIVELIN et al. (2002a) consideram que a maior parte dos 12% do N perdidos em ensaio de cana-planta, no qual a uréia foi incorporada ao solo ocorreu por desnitrificação.

LUCA (2002) trabalhando com cana sem queima em quatro cortes subseqüentes constataram aumento nos teores de N apenas na camada de 0-5 cm de profundidade do solo. Neste sentido, CANELLAS et al. (2003) em cultivo de cana-de-açúcar por 55 anos, sem despalha a fogo, em Cambissolo Eutrófico observaram aumentos na concentração de N de 1,5 para  $2,2 \text{ g kg}^{-1}$  até os 20 cm de profundidade do solo.

### **3.5. Importância do nitrogênio na nutrição da cana-de-açúcar**

Na Índia, existem trabalhos evidenciando que a falta de N, promoveu uma diminuição no teor de carboidratos, de clorofila e na assimilação de  $\text{CO}_2$ . O transporte de N para a planta e dentro dela é de suma importância à sua sobrevivência e crescimento, e no caso da cana-de-açúcar, as formas de N absorvidas pelas raízes podem ser usadas pelas próprias células radiculares para sintetizarem compostos orgânicos, ou podem ser diretamente transportadas, por fluxo de massa das raízes à parte aérea, onde ocorre a sua assimilação (SILVA & CASAGRANDE, 1983). Sabe-se que o fluxo de N é dirigido aos locais de demanda metabólica e não aos locais de déficits nutricionais (BURR & TAKAHASHI, 1955).

Existem correlações positivas entre a atividade da redutase do nitrato com produção de cana-de-açúcar e de açúcar por área e negativa com produção de açúcar por tonelada de colmos. Esse fato concorda com os de outros trabalhos onde se preconizam que elevados níveis de N no solo (SILVEIRA, 1985) ou em solução nutritiva (SILVEIRA, 1990), provocam aumentos nas taxas de absorção de N e conseqüentemente na atividade da redutase do nitrato (TRIVELIN et al., 2002b).

MALAVOLTA (1997) relata que uma planta bem nutrida em nitrogênio, apresenta alta atividade da enzima endógena, e estando bem nutrida pode acrescentar mais N, que não aumenta a atividade da enzima, todavia em planta deficiente em N o emprego de fertilizantes nitrogenados promove maior atividade dessa enzima e conseqüentemente maior produção.

Normalmente a síntese protéica ocorre nos tecidos foliares, meristemas e raízes e os excessos de N muito provavelmente seriam armazenados nas juntas basais na forma de amônio, aminoácidos e peptídeos, que estariam disponíveis à planta, quando e onde fossem necessários. Assim sendo, a condição da planta, deficiente ou não, determinaria a eficiência de absorção do nitrogênio. Todavia, existem evidências que a maior parte do N absorvido seja acumulada nos colmos na fase jovem da planta.

Provavelmente o nitrato acumulado será mobilizado para outros sítios de redução, possivelmente as folhas. Reforça-se essa hipótese pelo fato de que aumentos na área foliar, teor de proteínas nas folhas, concentração e atividade de enzimas, respiração mitocondrial e taxa de assimilação do CO<sub>2</sub> estão relacionados com altos níveis de nitrogênio. E ainda, os tecidos meristemáticos apresentam um metabolismo de proteínas bastante ativo e atuam como sítios, nos quais, ocorre predominantemente a síntese de ácidos nucléicos e proteínas, a partir de fotossíntese, para que o N possa desempenhar papel de controlador da taxa de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (CARNAÚBA, 1990).

O teor foliar adequado de nitrogênio na folha +1 em cana-de-açúcar situa-se na faixa de 18 e 25 g kg<sup>-1</sup> (RAIJ & CANTARELLA, 1997), 14,5 e 22,5 g kg<sup>-1</sup> (SUBIRÓS & SALAS, 1999), e para KORNDÖRFER (2008), os teores de N adequados estão entre 2 e 2,2%. Na folha +3, o teor foliar adequado de N situa-se na faixa de 13,4 e 22 g kg<sup>-1</sup>

(REIS Jr & MONNERAT, 2003), 12,5 e 22 g kg<sup>-1</sup> (MENDES, 2006), 19,6 e 22,8 g kg<sup>-1</sup> (MALAVOLTA, 1997), 20,3 a 22,8 g kg<sup>-1</sup> (MARTINEZ et al., 1999)

Para o acúmulo de N, KORNDÖRFER et al. (1997), em experimento de campo, contabilizaram 1,4 g de N por kg de colmo, e concluíram que a exigência de nitrogênio pela cana-de-açúcar situa-se entre 140 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Ressalta-se que o acúmulo de N pela cana-de-açúcar é muito variável entre os diferentes genótipos, MENDES (2006) observaram valores variando de 114,8 kg ha<sup>-1</sup> de N para a cultivar RB 92-8064 até 160,5 kg ha<sup>-1</sup> de N para a cultivar RB 85-5536. BITTENCOURT et al. (1986) em estudo com dez cultivares observaram valores entre 130 kg ha<sup>-1</sup> de N para a cultivar NA 56-79 até 300 kg ha<sup>-1</sup> de N para a cultivar SP 70-3145. TRIVELIN et al. (1995) constataram acúmulo de 260 kg ha<sup>-1</sup> de N na parte aérea da cultura da cana-de-açúcar e MENDES (2006) relata valores que oscilam de 114 a 271 kg ha<sup>-1</sup> de N.

O acúmulo de matéria seca na parte aérea das plantas, no período posterior aos 204 dias da colheita, não se relaciona bem com o acúmulo de N, pois enquanto nesse período ocorre incremento da ordem de 25% de matéria seca, no N o aumento seria superior a 80% (GAVA et al., 2001).

CAMPBELL (2007) evidenciou que as plantas acumularam maiores quantidades de N com o aumento nos níveis de fertilização nitrogenada, confirmando observações feitas por OLIVEIRA (1999a) e VITTI (1998). CAMPBELL (2007) ressalta que o acumulado de N por vaso, cultivado com cana-de-açúcar, aumentou de 3199,40 mg vaso<sup>-1</sup> na ausência da adubação nitrogenada, para 4891,8 mg vaso<sup>-1</sup> com a adubação, que foi atribuído exclusivamente ao aumento da maior massa seca, concluindo que a distribuição percentual de N total acumulado nas diversas partes da planta não variam com o aumento das doses de N.

ORLANDO FILHO et al. (1994) mostraram que o acúmulo de nitrogênio na cultivar CB 41-76 em cana-planta, em Latossolo Vermelho Férrico, Latossolo Vermelho Distrófico Argiloso e em Argissolo Amarelo Distrófico Arênico, foi de 0,87, 0,87 e 1,02 kg t<sup>-1</sup> de colmos, respectivamente. PRADO et al. (2002) observaram valores de exportação de nitrogênio da ordem de 88 kg ha<sup>-1</sup>. COLETI et al. (2002) trabalhando com duas

variedades de cana-de-açúcar observaram exportações nos colmos, para cana-planta e cana soca, de 146 e 84 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

GOMES (2003) avaliando a absorção e o acúmulo de macronutrientes em doze variedades de cana-de-açúcar (terceiro corte) em dois tipos de solos verificou que a concentração de N variou de 0,70 kg t<sup>-1</sup> (RB 84-5257) até 0,99 kg t<sup>-1</sup> (SP 80-1842) e média de 0,84 kg t<sup>-1</sup> em Latosso Vermelho Amarelo Distrófico psamítico. Em Nitossolo Vermelho Eutroférico Latossólico, o teor de N variou de 0,54 kg t<sup>-1</sup> (RB 83-5089) até 0,98 kg t<sup>-1</sup> (RB 82-5336) e média de 0,68 kg t<sup>-1</sup>, evidenciando a diferença na absorção de nutrientes em função da variabilidade genética e da fertilidade do solo.

Além dos métodos clássicos de determinação da nutrição pela análise química foliar, para o nitrogênio existem métodos indiretos, que são mais rápidos e menos onerosos, dentre eles se destaca a determinação da clorofila, utilizada para correlacionar com os teores adequados de N, todavia, quando são determinados pela extração dos pigmentos cloroplastídicos utilizando métodos laboratoriais, tornam-se procedimentos demorados e dispendiosos. Além disso, esta técnica implica na destruição das folhas, tornando-se necessário o desenvolvimento de procedimentos práticos, de baixo custo que permitam a estimativa dos teores de clorofila das folhas de forma rápida, precisa e sem destruição dos órgãos. Neste sentido, a determinação do teor relativo de clorofila por meio do clorofilômetro ou simplesmente SPAD (soil plant analysis development) tem surgido como um método alternativo aos procedimentos convencionais.

Várias pesquisas têm demonstrado que a medida do clorofilômetro correlaciona-se bem com o teor de clorofila em várias culturas (FANIZZA et al., 1991; GUIMARÃES et al., 1999; AZIA & STEWART, 2001). Assim os índices SPAD obtidos em folhas de diversas espécies apresentaram correlação positiva com a suficiência de N (PIEKIELEK & FOX, 1992; BLACKMER & SCHEPERS, 1995; GUIMARÃES et al., 1999; SHAPIRO, 1999). Como cerca de 50 a 70% do N total na folha está associado a enzimas presentes nos cloroplastos (CHAPMAN & BARRETO, 1997), o índice relativo de clorofila (IRC), geralmente, correlaciona-se bem com o teor de N na folha (MINOTTI et al., 1994), podendo indicar a deficiência de N na planta (WOOD et al., 1993).

Recentemente, foi demonstrada a potencialidade do SPAD-502 para avaliar a resposta de diversas espécies à aplicação de nitrogênio (HOEL & SOLHAUG, 1998; CARRERES et al., 2000; SANDOVAL-VILLA et al., 2000).

Os estudos envolvendo a aplicação de índices SPAD para avaliar o estado nutricional em nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar são escassos na literatura. WIEDENFELD (1997) verificou que a leitura SPAD da folha não foi afetada em função da aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar.

### **3.6. Respostas da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio**

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para as culturas de maneira geral e para a cultura da cana-de-açúcar, é preciso atenção especial, pois os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios (KORNDÖRFER et al., 2002).

Segundo TRIVELIN et al. (2002b) as maiores limitações do meio a produção da cana-de-açúcar no Brasil não se relacionam à radiação solar, temperatura e nem mesmo à água, mas a disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes minerais nos solos, com destaque ao nitrogênio e ao enxofre. Apesar de o nitrogênio contribuir com 1%, em média, na matéria seca da cana-de-açúcar (exige anualmente de 100 a 300 kg ha<sup>-1</sup>) seu papel é tão importante quanto ao do carbono, hidrogênio e oxigênio, que juntos constituem mais de 90% da matéria seca.

CARNAÚBA (1990) fez uma busca em mais de 20 trabalhos e observou que as doses de nitrogênio responsável pela maior produtividade da cana-de-açúcar variaram de 25 até 400 kg ha<sup>-1</sup>, indicando a importância de pesquisas científicas em torno da dose adequada e as respostas às aplicações de fertilizantes nitrogenados. SRIVASTAVA & SUAREZ (1992) acrescentam que no mundo as doses de fertilizantes nitrogenados variam de 45 a 300 kg ha<sup>-1</sup>.

ORLANDO FILHO et al. (1999) constataram que a resposta da cana-planta ao N se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subseqüentes, entre a cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada. O manejo

inadequado de um canavial, especialmente da adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas. Neste sentido, o manejo inadequado da adubação nitrogenada em canavial pode resultar na redução da produtividade da cultura nos tratamentos com as doses mais baixas de N, sendo esse efeito propagado para a safra seguinte, mesmo aumentando-se a dose de N (VITTI et al., 2007).

Segundo ESPIRONELO (1989) a adubação nitrogenada elimina sintomas de deficiência de N, melhora o perfilhamento e o desenvolvimento das plantas (folhas mais longas e largas de coloração verde intenso e menos ásperas). Em cana-planta, o nitrogênio promove aumentos lineares na produção de colmos (20 e 37 t ha<sup>-1</sup>) e no teor de açúcar (2,2 e 7,4 kg t<sup>-1</sup> cana). ALVAREZ et al. (1963) constataram que a adubação nitrogenada em cobertura de cana-soca queimada, proporcionou 10% de aumento na produção da cana-de-açúcar com a aplicação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N comparado a testemunha.

VITTI et al. (2007), em experimento com soqueira de cana-de-açúcar, colhida sem queima, avaliando o efeito da aplicação de cinco doses de N (35 até 175 kg ha<sup>-1</sup>), contendo na superfície 14 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de palha (62 kg de N), constataram diferença de 100%, na produção de colmos na 2<sup>o</sup> soca entre a maior dose e a testemunha. Na safra seguinte esse diferencial na produção foi de 50%, mantendo resposta linear na produção de cana-de-açúcar às doses de N, no entanto, a adubação nitrogenada não afetou a qualidade tecnológica dos colmos. Esses autores levantam a hipótese de questionamento se não seria necessário aplicar maior dose de N na implantação da colheita sem queima, para garantir o vigor das socas, com reduzida dose de N nos ciclos agrícolas futuros. Neste sentido, VITTI (2003) avaliou a resposta da cana-de-açúcar (cana-soca colhida sem queima) a aplicação de nitrogênio com doses variando de 0 a 175 kg ha<sup>-1</sup>, observando resposta linear às doses de N na produção de colmos e que a produção na maior dose foi o dobro em relação à testemunha.

ALVAREZ et al. (1963) em experimento com cana-de-açúcar, com despalha

fogo, empregando 0, 80 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio) em dezoito experimentos fatoriais N e K em solo 'massapê-salmourão' de Tapiratiba (1957-58), obtiveram aumentos médio de 7 t ha<sup>-1</sup> na produção de colmos com a aplicação de N. ORLANDO FILHO et al. (1999) também constataram esse efeito e afirmaram que a resposta da cana-planta ao N se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subseqüentes, quando comparada com e sem adubação nitrogenada. Os autores complementam que o manejo inadequado de um canavial, especialmente da adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas.

ORLANDO FILHO et al. (1999) obtiveram para cana-planta, primeira e terceira soca, resposta linear às doses de N, independente das fontes e dos modos de aplicação. Estudos com a aplicação de N em cana-de-açúcar apontam sinergismo entre o N e os micronutrientes, a aplicação deste macronutriente provoca aumento na disponibilidade de Zn, Fe, Mn e Cu no solo (YADAV et al., 1987).

CARDOSO (2002) observou que a redução da adubação nitrogenada em cana-planta (sem despalha a fogo) de 100 para 30 kg ha<sup>-1</sup> de N causou queda drástica no rendimento de colmos, com o restabelecimento da adubação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, na safra seguinte, a produtividade aumentou, porém com ganhos não tão expressivos em comparação as que antecederam ao período da redução da aplicação de N. Neste sentido, ORLANDO FILHO et al. (1999) observaram diminuição na produtividade agrícola ao longo dos ciclos, sendo mais drástica na cana-planta (cana de ano e meio) para a primeira soca. CHAPMAN et al. (1983) constataram que as soqueiras requerem maior quantidade de N para produzirem se comparadas com a cana-planta, provavelmente devido à diminuição das reservas de N no solo ao longo do ciclo.

Entretanto, outros trabalhos não indicaram efeitos expressivos do nitrogênio no rendimento da soqueira de cana-de-açúcar (ANJOS et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1998).

Em uma ampla revisão de literatura feita por CANTARELLA & RAIJ (1986), observou-se que na maioria dos experimentos não houve respostas das soqueiras de

cana-de-açúcar à aplicação de N. Os autores acrescentaram que os experimentos sem respostas ao nitrogênio não devem ser interpretados como se em todos esses casos as plantas pudessem prescindir do nutriente, devendo-se levar em consideração que muitas vezes o erro experimental é elevado em ensaios de campo, não permitindo a detecção de respostas moderadas do N, resultando em conclusão pela não significância dos aumentos de produção observados em função da adição desse nutriente. OITICICA et al. (1999) observaram ausência de resposta na produção da cana-de-açúcar com a aplicação de nitrogênio (até 60 kg ha<sup>-1</sup>) em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

ESPIRONELO (1987) cita trabalhos em que não se encontrou resposta da cana-planta à adubação nitrogenada, sendo que a menor necessidade de nitrogênio foi encontrada em solos que já haviam sido cultivados com cana-de-açúcar. Tal observação foi explicada pelo maior teor de matéria orgânica do solo, decorrente do acúmulo de raízes de cultivos anteriores da própria cana, associados ao maior número de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico.

Paralelo a esse contexto é preciso atentar as questões econômicas da aplicação de N na cultura da cana-de-açúcar, pois a análise econômica permite inferir se o rendimento da cultura por quilograma de N aplicado foi satisfatório e, ao agricultor, um bom retorno econômico sobre o capital empregado (CRUZ et al., 2008).

Para a cana-de-açúcar, poucas pesquisas têm atentado para questão econômica da adubação nitrogenada, no entanto, ESPIRONELO (1985) em experimento com cana-de-açúcar no estado de São Paulo apontava que a adubação mais econômica situava-se com adubações nitrogenadas da ordem de 80 kg ha<sup>-1</sup>.

ALVAREZ et al. (1991) em experimento avaliando a viabilidade econômica da aplicação de N, P e K em cana-de-açúcar (cana-planta), em Latossolo Roxo, observaram que as doses mais econômicas coincidiram com as máximas doses de N aplicadas (180 kg ha<sup>-1</sup>). Esses autores apresentam que as produções nas adubações mais econômicas variaram de um mínimo de 79,6 t ha<sup>-1</sup> com 90 kg ha<sup>-1</sup> de N para um máximo de 209 t ha<sup>-1</sup> com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. Observa-se ainda que a adubação nitrogenada promove aumento linear da produtividade máxima econômica e mostrou-se altamente

significativa  $r = 0,84^{**}$ .

Em trabalhos recentes, em canavial de terceira soqueira colhido sem despalha a fogo, avaliando o efeito da aplicação de uréia e de sulfato de amônia, TEODORO (2007) constatou que as doses de 96 e 92 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio foram responsáveis pelo maior retorno econômico, respectivamente.

OTO (2007) em revisão de literatura em cana-planta observou que a dose econômica de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar está próxima de 75 kg ha<sup>-1</sup> para as condições do Centro Sul.

### **3.7. Efeitos do nitrogênio na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**

A qualidade do caldo da cana-de-açúcar varia em função das variedades do sistema de manejo, da palhada, da soqueira, da cana colhida sem queima e também da nutrição mineral da planta (SOUZA et al. 2005). Como a cultura da cana-de-açúcar apresenta alta exigência em nitrogênio sendo considerado o primeiro ou o segundo nutriente mais absorvido pela cultura (PRADO et al. 2002), espera-se efeito desse macronutriente na qualidade da matéria prima de cana-de-açúcar.

Assim, COSTA et al. (2003) verificaram que a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio não afetou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. MARQUES (1996) verificou que a aplicação de N na cana-de-açúcar, na forma de lodo de esgoto, também não afetou as qualidades tecnológicas (Brix, Pol e Fibra).

KORNDÖRFER (1994) afirma que a adubação nitrogenada está normalmente associada ao maior crescimento vegetativo e, portanto, maior umidade da cana-de-açúcar, neste sentido FRITZ (1984) observou que com a aplicação de doses crescentes de nitrogênio em cana-de-açúcar ocorre redução no teor de sacarose. No entanto, a quantidade total de açúcar produzida por hectare aumenta (ESPIRONELLO et al., 1981).

Segundo MALAVOLTA (1994) a diminuição da Pol % com o aumento da adubação nitrogenada obtidas em condições brasileiras é oposta ao que se é verificado na literatura estrangeira, pois observa-se aumento da Pol % em cana-de-açúcar até a

dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N e só ocorre diminuição da Pol % com o uso de dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de N, considerada dose muito alta e pouco utilizada na cultura.

KORNDÖRFER & MARTINS (1992) relatam que ocorre aumento linear na quantidade de açúcar produzida por hectare com aplicação de N, apesar de também resultar, em elevação no teor de umidade dos colmos, levando à redução no teor de sacarose.

CAMPANHÃO et al. (2005), em soqueira de cana-de-açúcar, verificaram que a adubação nitrogenada não afetou diretamente a Pol da cana, todavia, afetou a produtividade e conseqüentemente a Pol em t ha<sup>-1</sup>. Neste sentido, PRADO & PANCELLI (2006) observaram que a adubação nitrogenada não afetou a qualidade da primeira soqueira da cana-de-açúcar, entretanto, na segunda soqueira aumentou a Pol e o rendimento teórico recuperável.

Em relação ao efeito da adubação nitrogenada no teor de sacarose, ESPIRONELO (1989) observou resposta diferente das observadas por VITTI et al. (2007), visto que com a aplicação dos adubos nitrogenados observaram diminuição nos teores de sacarose do caldo e prejuízo na pureza da cana-de-açúcar. Neste sentido, MALAVOLTA (2006) relata que o uso de fertilizantes nitrogenados em cana-de-açúcar promove menor armazenamento de açúcar, pois os esqueletos carbônicos são consumidos induzindo a planta a vegetar mais.

AZEREDO et al. (1986) e TRIVELIN et al. (2002b), observaram que a adubação nitrogenada não afetou a qualidade tecnológica dos colmos. Ao mesmo tempo, esses resultados contrariam os de SILVEIRA & CROCOMO (1990), que constataram decréscimo no teor de sacarose em plantas que se desenvolveram na presença de alta concentração de N.

RESENDE et al. (2006) avaliando as respostas tecnológicas da cana-planta e da cana-soca em função da aplicação de nitrogênio (80 kg ha<sup>-1</sup>) ou na sua ausência, verificaram que a aplicação de N reduziu os teores de Brix, Pol, Fibra e PCC em cana-planta e Brix, Pol e PCC em cana-soca, o que segundo CASAGRANDE (1991) esse efeito é justificável, uma vez que o N prolonga o período vegetativo da cultura.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda Estrella de Matão pertencente à Usina São Martinho no Município de Matão, SP, em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa (EMBRAPA, 2006), localizada geograficamente 21°33' S de latitude e 48°18' W de longitude, região canavieira importante do Estado de São Paulo.

A área experimental inicialmente foi cultivada com soja e em 2001 iniciou-se o cultivo da cana-de-açúcar, utilizando o sistema de colheita mecanizada. Em 2004/2005 realizou-se a reforma do canavial fazendo rotação com soja seguido do plantio da cana-de-açúcar em 2005.

Esta área recebeu preparo convencional na renovação do canavial onde foi aplicado calcário (CaO = 42%, MgO = 7% e PRNT = 83%) a fim de se elevar o valor de saturação por bases a 70%. No primeiro corte a área foi adubada com 435 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 27-00-24 e a produção foi de 97 t ha<sup>-1</sup>. Na primeira soqueira a área foi adubada com 439 kg (27-00-24) e produziu 71 t ha<sup>-1</sup>.

Antes da implantação do experimento (01-11-2007) foram coletadas 15 sub-amostras de terra, para compor a amostra composta, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo. Em seguida as amostras foram destorroadas, passadas por peneira de 4 mm de abertura de malha, homogeneizadas e realizou análise química para fins de fertilidade (**Tabela 1**) (RAIJ et al., 2001), e também as amostras da camada de 0-20 e 20-40 cm de profundidade foi realizado a análise granulométrica seguindo a metodologia descrita por CAMARGO et al. (1986) (**Tabela 2**). Nessa mesma ocasião realizou-se a coleta da palhada da superfície do solo em três pontos aleatórios de 1 m<sup>2</sup>. Em seguida o material vegetal foi seco em estufa de

circulação forçada a 65 °C até atingir massa constante, posteriormente determinou-se a massa da matéria seca da palhada (12 t ha<sup>-1</sup>) e o material foi moído. E realizou-se a análise química do teor de macro e micronutrientes na palhada (N = 8,1; P = 0,4; K = 0,3; Ca = 3,4; Mg = 0,5 e S = 1 g kg<sup>-1</sup>; B = 9; Cu = 3; Fe = 1613; Mn = 87 e Zn = 11 mg kg<sup>-1</sup>), conforme a metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983). Posteriormente realizou-se a demarcação da área experimental.

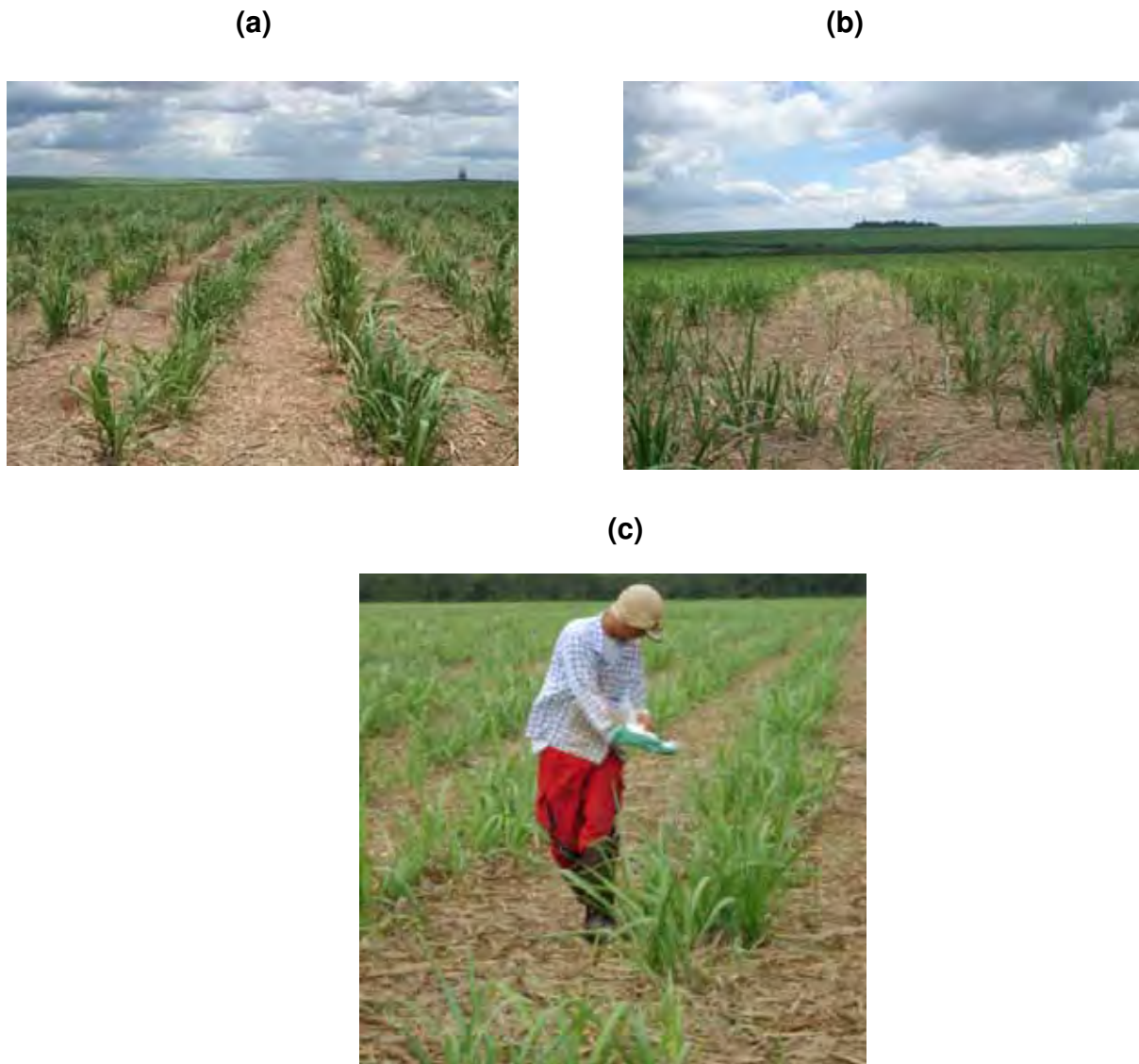
**Tabela 1.** Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento. Matão-SP, 2007

Profundidade	M.O.	P	K	Ca	Mg	SB	H+Al	Al	CTC	m	V
Cm	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%	%	
0-10	28	6	1,1	36	8	47,1	20	0,1	67,1	0,2	69
10-20	24	5	0,6	30	7	37,6	22	0,1	59,6	0,3	63
20-40	15	5	0,5	11	3	14,5	31	0,4	45,5	21,6	32
40-60	13	4	0,3	6	2	8,3	34	0,6	42,3	45,0	18
60-80	11	4	0,3	4	1	5,3	28	0,6	33,3	55,1	15
80-100	10	4	0,0	3	1	4,0	31	0,7	35,0	66,1	11

**Tabela 2.** Atributos físicos do solo onde foi instalado o experimento. Matão-SP, 2007

Camada do solo	-----Areia-----				Classe Textural
	Argila	Silte	Fina	Grossa	
cm	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
0-20	400	68	228	304	Argilosa
20-40	360	73	230	337	Argilosa

A unidade experimental foi composta por parcelas de cinco linhas de cana-de-açúcar com 15 m de comprimento, espaçadas em 1,5 m entre elas, totalizando 112,5 m<sup>2</sup> por parcela, sendo as três linhas centrais como área útil, com um corredor de 2 m entre as parcelas (parte frontal) e 4,5 m entre as parcelas (parte lateral), totalizando o experimento 4136 m<sup>2</sup> (**Figura 3**).



**Figura 3** – Vista geral da área experimental referente à parte frontal **(a)** e a lateral **(b)** e detalhe da aplicação dos fertilizantes nas linhas da soqueira **(c)** em plena brotação da cana-de-açúcar (06-12-2007). Matão-SP, 2007

O experimento foi instalado após o corte da primeira soqueira da cana de açúcar (variedade SP 83-2847). Os tratamentos foram compostos por cinco doses de nitrogênio, empregando-se a dose padrão igual a  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  indicada para a cana-soca, com meta de alta produtividade no estado de São Paulo (RAIJ & CANTARELLA, 1997). Assim, as doses de nitrogênio (tratamentos), foram as seguintes: D1 = 0 ; D2 =

60; D3 = 120; D4 = 180 e D5 = 240 kg de N ha<sup>-1</sup>, correspondendo a zero, metade, uma vez, uma vez e meia e duas vezes a dose recomendada, respectivamente. Como fonte de nitrogênio foi utilizado o nitrato de amônio (35% de N). O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições.

O adubo foi aplicado aproximadamente a 10 cm de distância das linhas da soqueira em plena brotação (6-12-2007), um mês após o corte da cana-de-açúcar (6-11-2007) (**Figura 3 c**).

Na adubação, além do N, foi aplicado potássio em todos os tratamentos, na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), enquanto o P não foi necessário aplicar (RAIJ & CANTARELLA, 1997).

O manejo das plantas daninhas foi realizado aos dois meses após o corte da cana-de-açúcar, com aplicação em área total de 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de Velpar ® (Diuron + Hexazinone) + 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de Boral ® (sulfentrazone). O controle de formigas foi realizado com aplicação de clorpirifós (Lakree Fogging) e óleo mineral dentro do olheiro.

Aos 92 dias após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar (8-03-2008) realizou-se o desbaste das bordaduras, conforme pode ser observado na **Figura 4**, com detalhe da unidade experimental na **Figura 5**.

Para as avaliações de crescimento e/ou desenvolvimento da segunda soqueira de cana-de-açúcar, foi avaliado o número, a altura e o diâmetro dos colmos aos quatro (6-04-2008) (**Figura 6**) e aos nove (6-09-2008) meses após a brotação. Os números dos colmos foram determinados pela amostragem de 1,5 metro na linha da soqueira em cada unidade experimental. A altura foi medida da superfície do solo até a bainha da primeira folha totalmente expandida (folha +1) e o diâmetro dos colmos foram determinados com o uso de um paquímetro digital (Starrett 727-2001®) na metade do primeiro gomo, logo após a superfície do solo em oito plantas por unidade experimental.



**Figura 4** – Vista geral da área experimental referente ao desbaste da bordadura entre os blocos na cana-de-açúcar aos 92 dias após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Como existe divergência na literatura, o estado nutricional das plantas foi determinado aos quatro (6-04-2008) e aos nove (6-09-2008) meses após a brotação da cana-de-açúcar através de amostragens de oito folhas por unidade experimental para as folhas +3 (MALAVOLTA, 1992) e para as folhas +1 (RAIJ & CANTARELLA, 1997) (**Figuras 7 a; b**). Após a coleta, as folhas foram lavadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada de ar, a uma temperatura entre 65 a 70 °C, até atingir massa constante. O material vegetal foi moído em moinho tipo Willey (peneira com abertura de malha de 1 mm) para posterior determinação dos teores de nutrientes (BATAGLIA et al., 1983).

Assim, foram coletadas as folhas +1 (folha mais alta com colarinho visível), os 20 cm central e excluída a nervura central (**Figuras 7 a; d**) (RAIJ & CANTARELLA, 1997) e, também, as folhas +3 (duas folhas abaixo da folha +1) (**Figura 7 b**), aos quatro (6-04-2008) e aos nove (6-09-2008) meses após a brotação da soca.

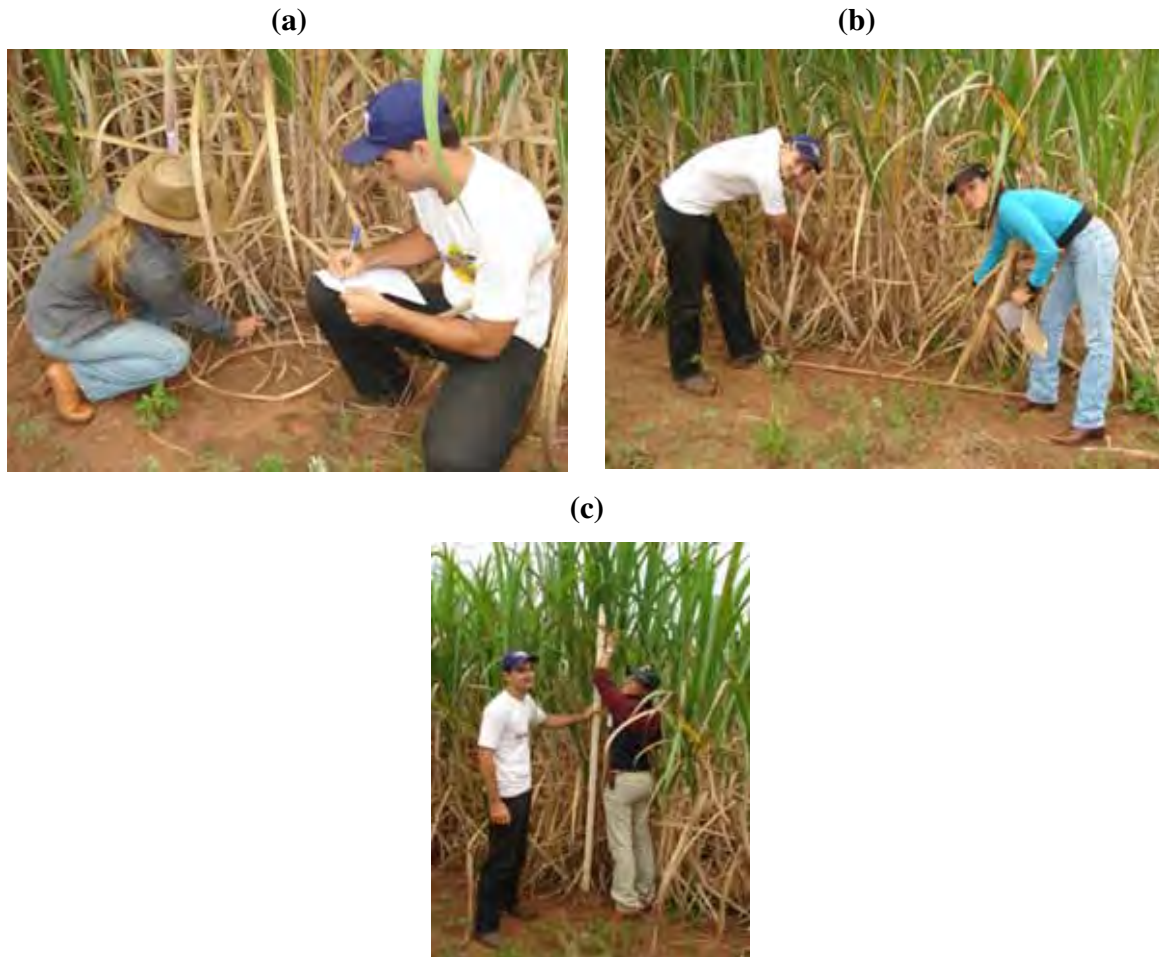


**Figura 5** – Detalhe da unidade experimental com cana-de-açúcar aos 92 dias após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Salienta-se ainda, que foi realizada a leitura SPAD na parte mediana de oito folhas, entre a borda da folha e a nervura principal, por unidade experimental, ou seja, efetuou-se a medida indireta do teor de clorofila, com uso do aparelho Minolta SPAD-502 (**Figura 7 c**), considerando os dois tipos de folhas e aos quatro e aos nove meses após a brotação da segunda soqueira da cana-de-açúcar.

Realizou-se amostragem do solo aproximadamente a 10 cm de distância da linha de cana-de-açúcar, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, coletadas em oito pontos por parcela, e nas camadas de 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo em quatro pontos por parcela aos seis meses após a aplicação dos tratamentos (6-06-2008), e a após a colheita (11-12-2008) (**Figura 8**). As determinações analíticas nas amostras de solo para fins de fertilidade seguiram os métodos descritos por RAIJ et al. (2001). Parte da amostra de solo foi acondicionada em sacos plásticos e colocada em caixa térmica contendo gelo, para minimizar alterações nas concentrações de amônio e nitrato, conforme indicações de MATTOS JÚNIOR et al. (1995) para o transporte do campo ao laboratório. Em seguida essas

amostras foram armazenadas em congelador para extração e determinação de amônio e nitrato seguindo a metodologia proposta por TEDESCO et al. (1985).

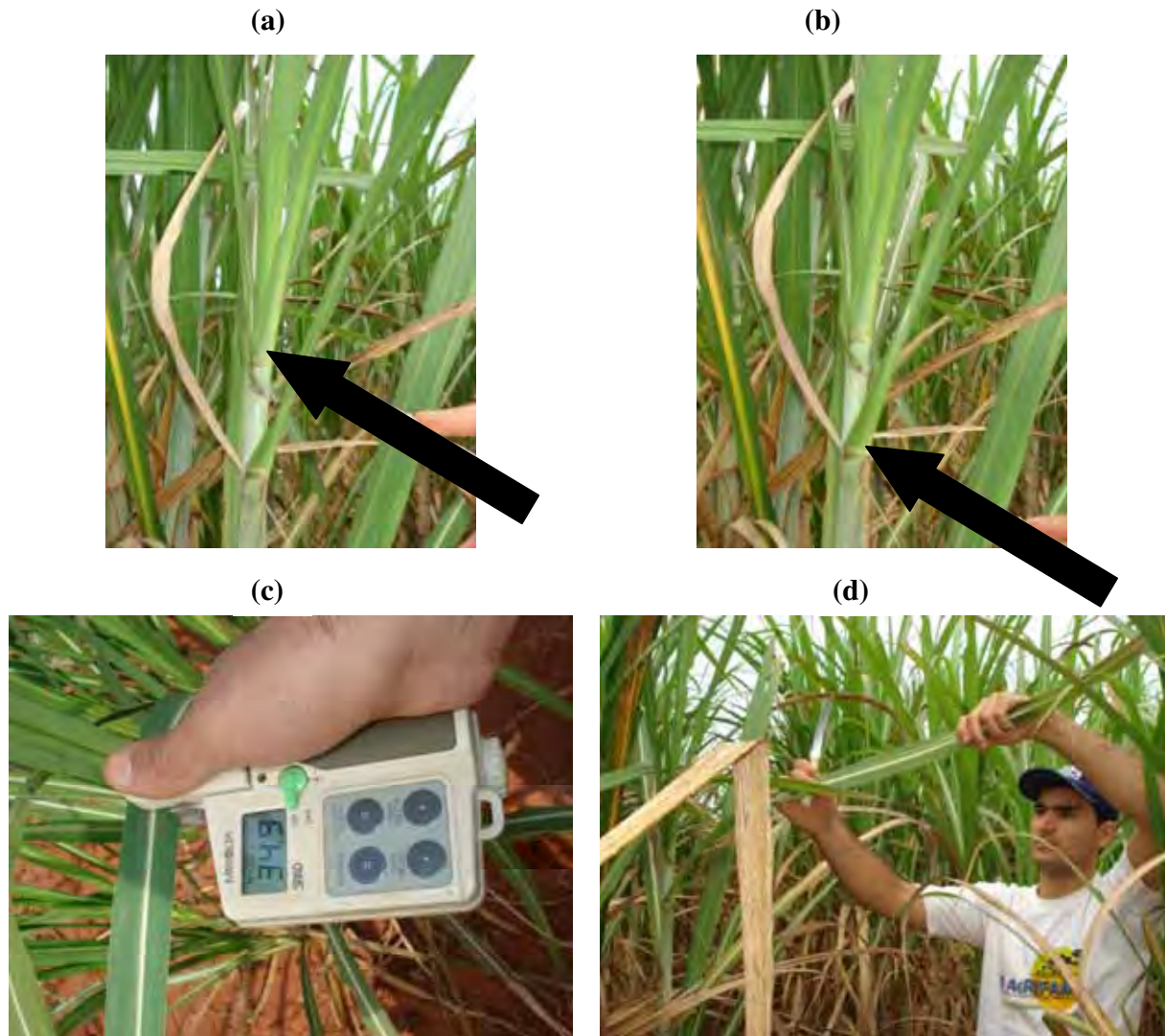


**Figura 6** – Detalhe da avaliação do diâmetro do colmo **(a)**, do número de colmos **(b)** e da altura dos colmos **(c)** aos quatro meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar (6-04-2008). Matão-SP, 2008

Para o cálculo das concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$ , foi considerada a densidade do solo igual a  $1 \text{ kg dm}^{-3}$  (PRIMAVESI et al., 2001; CANTARELLA et al., 2002).

A colheita da segunda soqueira de cana-de-açúcar foi efetuada no dia 8-11-2008 sem a despalha a fogo. Avaliou-se a produção de colmos, a partir da coleta manual de colmos da área útil (1 metro linear da linha central). As folhas secas e as verdes foram

retiradas dos colmos (**Figura 9**), pesados para determinação da massa úmida. Posteriormente, as sub-amostras de folhas (secas e verdes) e de colmos foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C até atingir massa constante e moídas em moinho tipo Willey (peneira com abertura de malha de 1 mm).



**Figura 7** – Detalhe da folha +1 **(a)**, da folha +3 **(b)**, da leitura SPAD realizada na folha **(c)** e a coleta da folha indicando o terço médio do limbo foliar da cana-de-açúcar **(d)**. Matão-SP, 2008



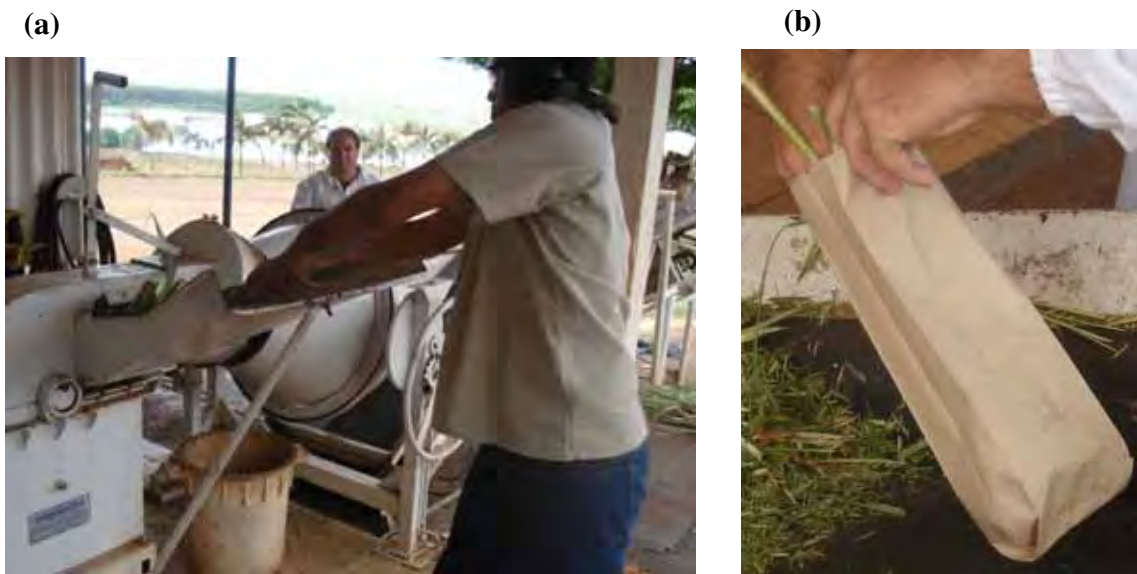
**Figura 8** – Detalhe da amostragem de solo com uso de trado holandês realizada aproximadamente a 10 cm de distância da soqueira da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008



**Figura 9** – Detalhe dos colmos da cana-de-açúcar coletados na ocasião da colheita (8-11-2008). Matão-SP, 2008

Realizou-se a análise química dos teores de macro e micronutrientes de amostras das folhas (secas e verdes) e dos colmos, na época da colheita, conforme método descrito por BATAGLIA et al. (1983).

Por ocasião da colheita também foi realizada a amostragem de 10 colmos contíguos da linha central de cada parcela, conforme indicado por SPIRONELLO (1987). Em seguida cada amostra (10 colmos) foi triturada mecanicamente em uma forrageira (**Figura 10 a**) e foi separada uma sub-amostra (cerca de 500 g) acondicionadas em saco de papel destinada para análise da qualidade tecnológica (**Figura 10 b**). A análise tecnológica constou das seguintes avaliações: teor de sacarose (Pol% cana), fibra, pureza e concentração de sólidos solúveis, determinados segundo o método descrito pela COPERSUCAR (1989).



**Figura 10** – Detalhe da moagem do material vegetal em cada parcela (a) e da coleta de amostra para análise de qualidade (b). Matão-SP, 2008

Com os resultados obtidos pela análise tecnológica foi calculado o ATR, ou açúcar teórico recuperável ( $\text{kg t}^{-1}$ ), conforme metodologia da Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (1980), através da seguinte equação:  $\text{ATR (kg t}^{-1}\text{)} = (10 \times S - 0,76 \times F - 6,9) \times (5/3 - 200/3 \times P)$  onde, ATR = açúcar

teórico recuperável em  $\text{kg t}^{-1}$  de colmos de cana-de-açúcar; S (sacarose) = pol (%); F = fibra (%) e P = pureza (%).

O rendimento bruto de açúcar foi obtido:  $\text{RBAÇ}=(\text{PCC}\times\text{PC})\times 0,01$ , onde RBAÇ – rendimento bruto de açúcar em  $\text{t ha}^{-1}$ ; PCC – quantidade de açúcar em % contido nos colmos e determinada em laboratório; PC – produção de colmos em  $\text{t ha}^{-1}$ . E o rendimento bruto do álcool foi obtido:  $\text{BA}=\left(\left(\left(\text{PCC}\times\text{F}\right)+\text{ARL}\right)\times\text{Fg}\right)\times\text{PC}\times 0,01$ , onde RBA – rendimento bruto de álcool em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ; F – fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052; ARL – açúcares redutores livres em %; Fg – fator de Gay Lussac igual a 0,6475, conforme metodologia de MOURA et al. (2005).

Para análise econômica da adubação nitrogenada na segunda soqueira da cana-de-açúcar, foram considerados os preços médios do mês de outubro de 2008 para a tonelada de cana-de-açúcar (R\$ 29,99) e da tonelada do nitrato de amônio (R\$ 860,00) (HERINGER, 2009). O custo operacional de produção da cultura da cana-de-açúcar (operações, insumos, administração e pós-colheita, exceto o custo do N), para o ano de 2007, situou em R\$ 2901,50 por hectare para a segunda soqueira (AGRIANUAL, 2009) e considerando o valor da tonelada de cana-de-açúcar foi obtida a produção conhecida como o ponto de equilíbrio, ou seja, a produção mínima suficiente para cobrir os custos operacionais. Portanto, para a obtenção dos incrementos líquidos de produção de cana-de-açúcar, fez à diferença entre a produção total e o custo de produção, exceto o custo do N. A partir destes valores, calcularam-se o valor líquido de produção (incremento líquido x preço da cana-de-açúcar), a receita líquida (valor líquido da produção – custo do N) e a relação benefício/custo (valor líquido da produção/custo do N).

Os resultados do teor foliar de macro e micronutrientes, de crescimento, de produção, qualidade e análise econômica da cana-de-açúcar foram submetidos à análise de variância, utilizando-se do teste F a 1 e 5% de probabilidade, realizou-se o estudo de regressão polinomial (1 e 2º grau). Para os resultados dos atributos químicos do solo utilizou-se delineamento em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, considerando como parcelas as 5 doses de N e como sub-parcelas as 6 camadas do solo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Efeito dos tratamentos na concentração de amônio e nitrato aos seis e aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar

A aplicação de nitrogênio afetou as concentrações de amônio e nitrato nas diferentes camadas do solo avaliadas. Observa-se, ainda, interação entre as doses de nitrogênio e as diferentes camadas do solo na concentração de amônio e nitrato no solo aos seis e aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar (**Tabela 3**).

Nas concentrações de amônio no solo aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar, ocorreu interação entre doses de nitrogênio e as camadas de profundidade do solo, apresentando efeito significativo para aplicação de N dentro de todas as camadas de profundidade do solo (**Tabela 3**). Verifica-se efeito com ajuste linear no aumento da concentração de amônio nas camadas de 0-10 cm (**Figura 11 a**), 40-60 cm (**Figura 11 d**), 60-80 cm (**Figura 11 e**) e 80-100 cm (**Figura 11 f**) de profundidade do solo, enquanto nas camadas de 10-20 cm (**Figura 11 b**) e de 20-40 cm (**Figura 11 c**) de profundidade observou-se efeito com ajuste quadrático na concentração de amônio, atingindo ponto de máximo (10,1 e 7,8 mg kg<sup>-1</sup>) nas doses de 188 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

As concentrações de nitrato no solo aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar, também apresentaram efeito significativo para aplicação de N dentro de todas as camadas do solo, exceto para a camada de 20-40 cm de profundidade. Observa-se efeito com ajuste linear na concentração de nitrato nas camadas de 10-20 cm (**Figura 12 b**), 40-60 cm (**Figura 12 c**), 60-80 cm (**Figura 12 d**) e 80-100 cm (**Figura 12 e**) de profundidade no solo, enquanto que na camada de 0-10 cm (**Figura 12 a**) de

profundidade observa-se efeito com ajuste quadrático na concentração de nitrato, atingindo ponto de máximo ( $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) na dose de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

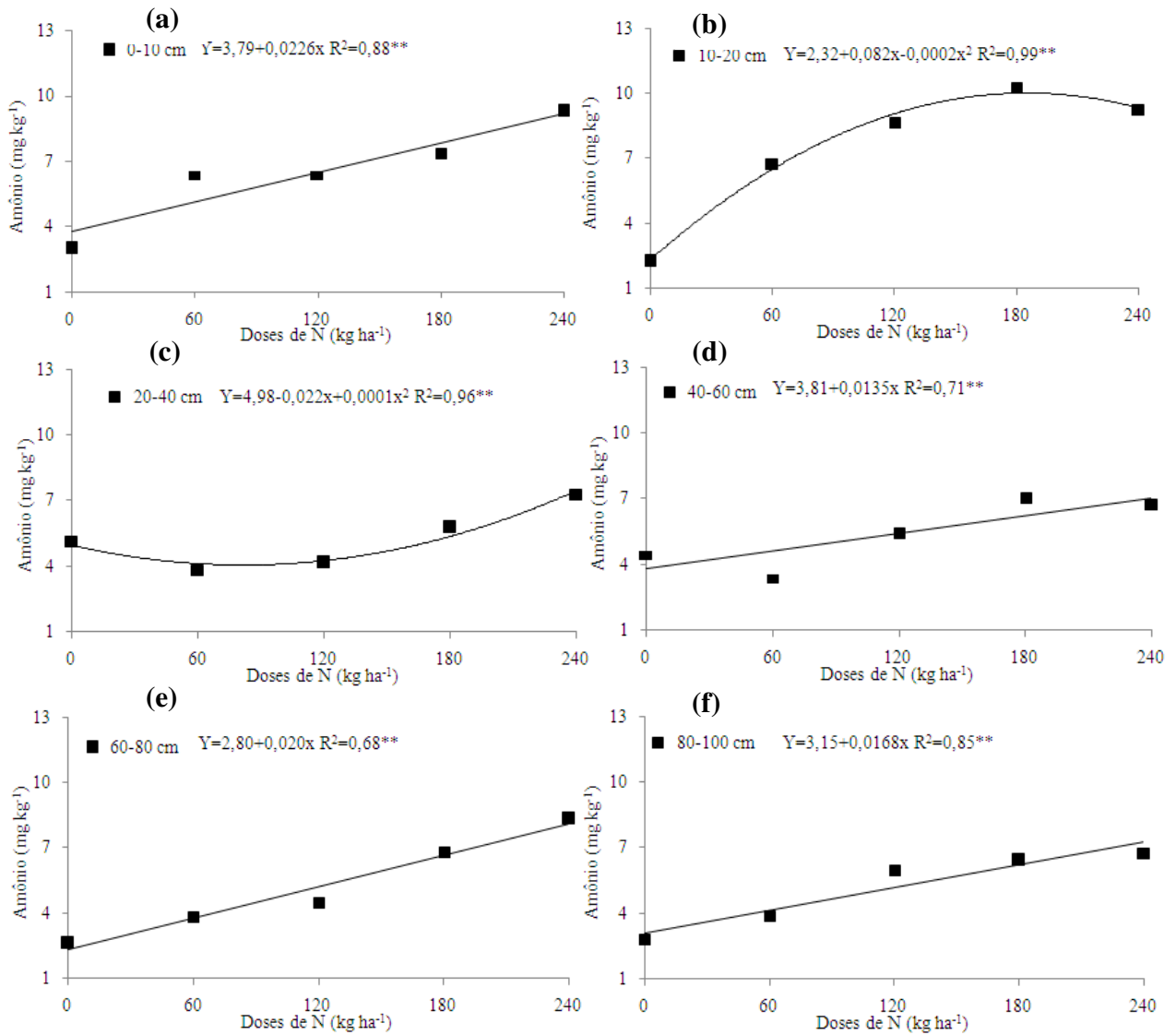
**Tabela 3.** Resultados médios da concentração de amônio e nitrato no solo em função da aplicação de nitrogênio aos seis e aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Doses de Nitrogênio (D) kg ha <sup>-1</sup>	Seis meses		Doze meses	
	Amônio	Nitrato	Amônio	Nitrato
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
0	3,4	3,7	13,7	14,0
60	4,7	5,2	14,2	16,9
120	6,3	7,1	14,9	15,8
180	7,0	8,9	15,9	17,0
240	7,9	9,0	15,4	17,1
Teste F	27,54**	34,52**	0,64 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>
C.V. (a) (%)	28,9	28,4	37,7	33,2
Camadas (C)	-----Teste F-----			
0-10 cm	6,5	6,9	15,1	16,7
10-20 cm	7,5	7,6	14,9	16,1
20-40 cm	5,2	6,2	14,6	16,8
40-60 cm	5,4	6,7	15,8	16,0
60-80 cm	5,2	7,3	13,9	14,2
80-100 cm	5,2	6,0	14,8	17,2
Teste F	6,48**	3,83**	0,45 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>
Interação Dx C	2,45**	9,64**	2,33**	2,25**
C.V.(b) (%)	28,4	21,7	28,1	20,2
Desdobramento	-----Teste F-----			
D. d. C. 0-10 cm	7,59**	22,85**	2,47 <sup>ns</sup>	2,99*
D. d. C. 10-20 cm	14,79**	7,37**	3,47*	0,95 <sup>ns</sup>
D. d. C. 20-40 cm	2,73*	1,22 <sup>ns</sup>	3,39*	2,55*
D. d. C. 40-60 cm	3,36*	34,38**	0,68 <sup>ns</sup>	2,65*
D. d. C. 60-80 cm	7,79**	12,65**	0,43 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>
D. d. C. 80-100 cm	4,32**	17,31**	0,88 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>

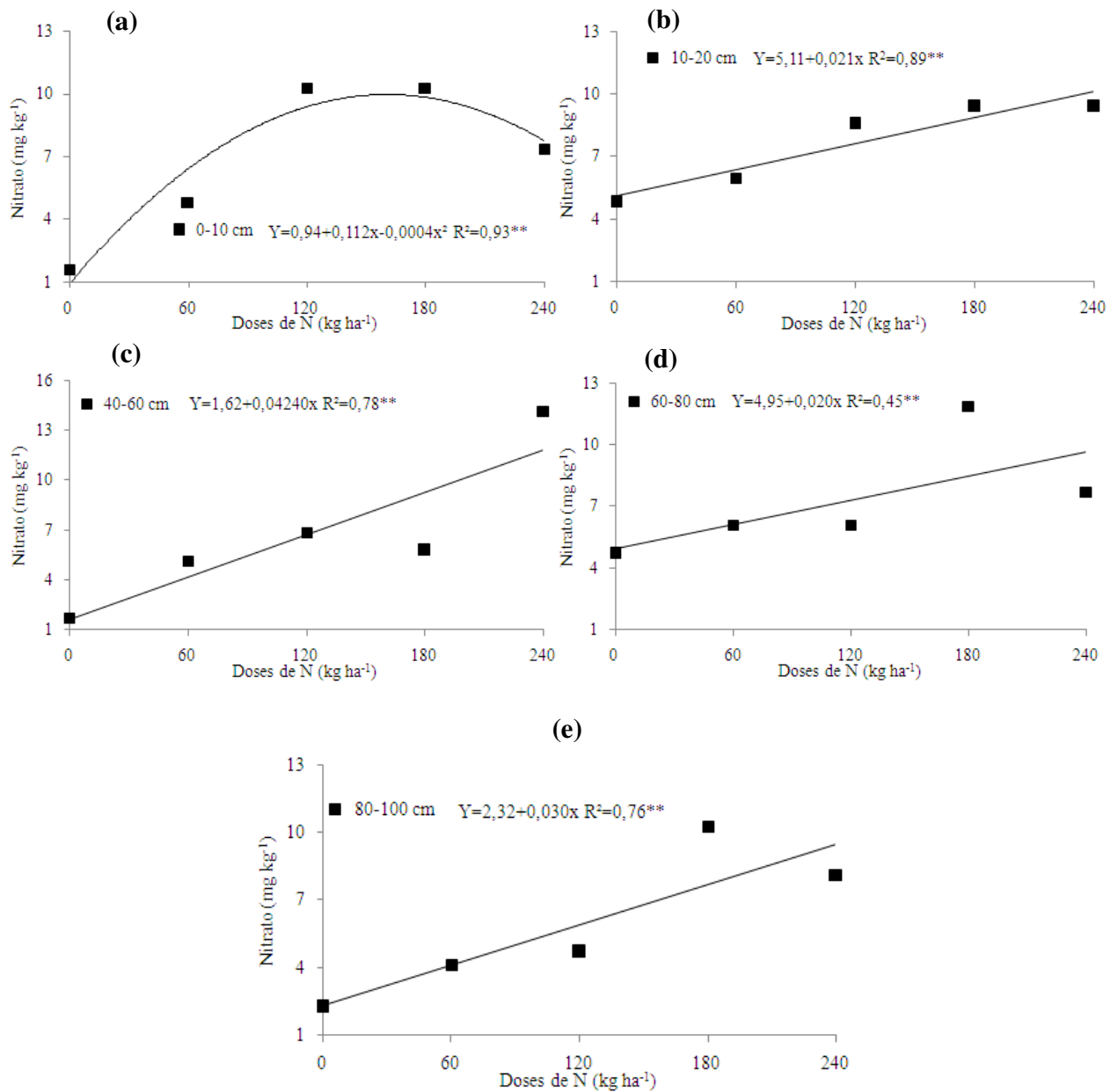
\*\*; \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.

Aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar o efeito da aplicação do nitrogênio na sua concentração no solo depende da camada de solo analisada. Assim houve interação para concentração de amônio entre as doses de nitrogênio e as camadas de 10-20 cm, 20-40 cm e também concentração de nitrato nas camadas de

10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm de profundidade do solo (**Tabela 3**).



**Figura 11** – Concentrações de amônio no solo em função da aplicação de nitrogênio nas camadas: 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 20-40 cm (c), 40-60 cm (d), 60-80 cm (e) e 80-100 cm (f) de profundidade no solo, respectivamente aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008



**Figura 12** – Concentração de nitrato no solo em função da aplicação de nitrogênio nas camadas: 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 40-60 cm (c), 60-80 cm (d) e 80-100 cm (e) de profundidade no solo, respectivamente aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

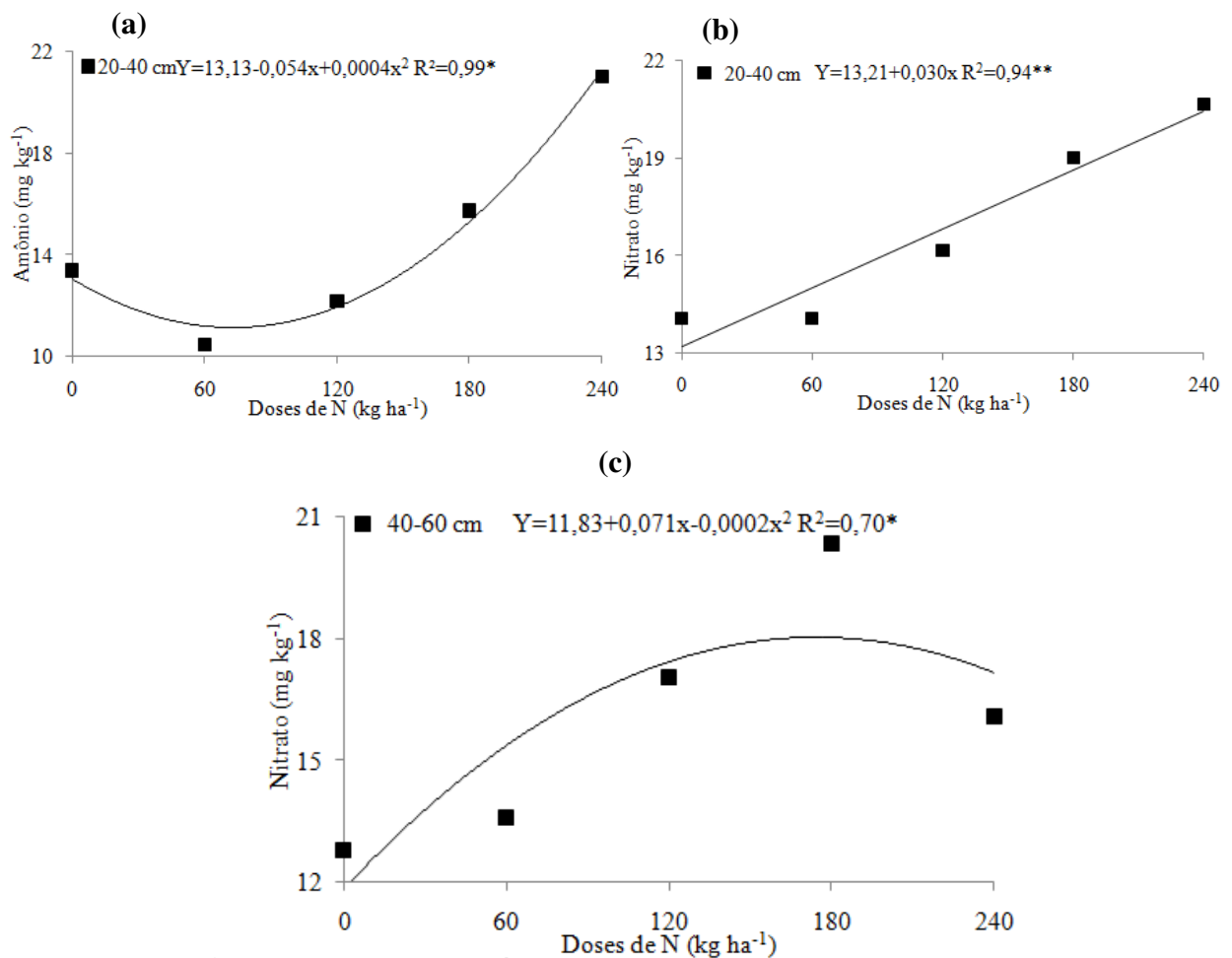
Observa-se efeito com ajuste quadrático crescente na concentração de amônio na camada de 20-40 cm de profundidade (**Figura 13 a**). A concentração de nitrato na camada de 20-40 cm de profundidade aumentou com ajuste linear em função da aplicação de N (**Figura 13 b**), e na camada de 40-60 cm de profundidade observa-se efeito com ajuste quadrático, sendo o máximo (18,1 mg de nitrato kg<sup>-1</sup>) obtido com a dose de 178 kg ha<sup>-1</sup> de N (**Figura 13 c**). Salienta-se que na camada de 10-20 cm (na concentração de amônio) e na camada de 0-10 cm (na concentração de nitrato) de profundidade do solo observou-se interação significativa, no entanto, não foram explicados pelos modelos de regressão testados.

A diminuição da concentração do amônio no perfil solo pode ocorrer devido ao menor pH com o aumento da profundidade no solo (MARSCHNER, 1995) ou, ainda, a menor aeração e, com isso, menor ocorrência e atividade das bactérias responsáveis pelos processos de amonificação (GIRACA, 2005).

PRIMAVESI et al. (2005) observaram que a aplicação de N (0 a 200 kg ha<sup>-1</sup>) em capim-coastcross não alterou as concentrações de amônio no solo em diferentes profundidades (0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), todavia, as concentrações de nitrato no solo aumentaram de 1,5 para 16,3 mg dm<sup>-3</sup>. Observaram ainda que, na maior dose de nitrogênio, a maior concentração de nitrato no solo foi verificada na camada de 10-20 cm de profundidade, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho, possivelmente devido a maior ocorrência de bactérias nitrificadoras (ROSOLEM et al., 2003). A maior concentração de nitrato no solo também foi observada por SILVEIRA (1985).

No entanto, TRIVELIN et al. (1988), trabalhando com nitrogênio marcado (<sup>15</sup>N), ureia e aquamônia, encontraram perdas totais de 72,1 e 58,8 kg ha<sup>-1</sup> de amônio e nitrato e concluíram que 7,0 e 35,0 kg de N ha<sup>-1</sup> são lixiviados, respectivamente. Segundo BRUM (1975), a maior lixiviação do nitrato em relação ao amônio ocorre devido aos cátions amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) tenderem a ser adsorvidos pelas cargas negativas do solo, e os ânions nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), por serem pouco adsorvidos, tendem a ser lixiviados, justificando a maior concentração de nitrato à de amônio em profundidade. Essas perdas de nitrogênio levam a problemas de diminuição da fertilidade do solo e

até mesmo à contaminação do lençol freático (BOLOGNA et al., 2006). Contradizendo esses relatos, VITTI (2003) concluíram que as perdas por lixiviação são pouco relevantes nas condições brasileiras, geralmente inferiores a 5% do N aplicado. CAMARGO (1989) observa que em solos arenosos a perda de N por lixiviação começa ser relevante, atingindo cerca de 30% do N aplicado na forma de uréia.



**Figura 13** – Concentração de amônio na camada de 20-40 cm (a), e de nitrato nas camadas de 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c) de profundidade no solo, respectivamente, em função da aplicação de nitrogênio aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\*; \* - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Comparando as concentrações de amônio e nitrato no solo em função da aplicação de N, verifica-se que as concentrações de nitrato são maiores que as de amônio, e as diferenças entre a concentração de amônio e nitrato permanecem praticamente constantes com o aumento das doses de nitrogênio (**Tabela 3**), confirmando resultados obtidos por SILVEIRA (1985).

Possivelmente ocorreu maior concentração de nitrato porque o amônio presente no solo pode ser oxidado a nitrato, em uma reação mediada por bactérias autotróficas, processo denominado de nitrificação (SILVA & VALE, 2000). Neste sentido, AMOR ASUNCIÓN (1965) verificou que existe relação direta entre bactérias autotróficas e teor de nitrato no solo.

Neste trabalho observou-se aumento de N, principalmente, nas camadas superficiais, já LUCA (2002) trabalhando com a aplicação de N cana-de-açúcar (sem queima) em quatro cortes constatou aumento nos teores de N apenas na camada de 0-5 cm.

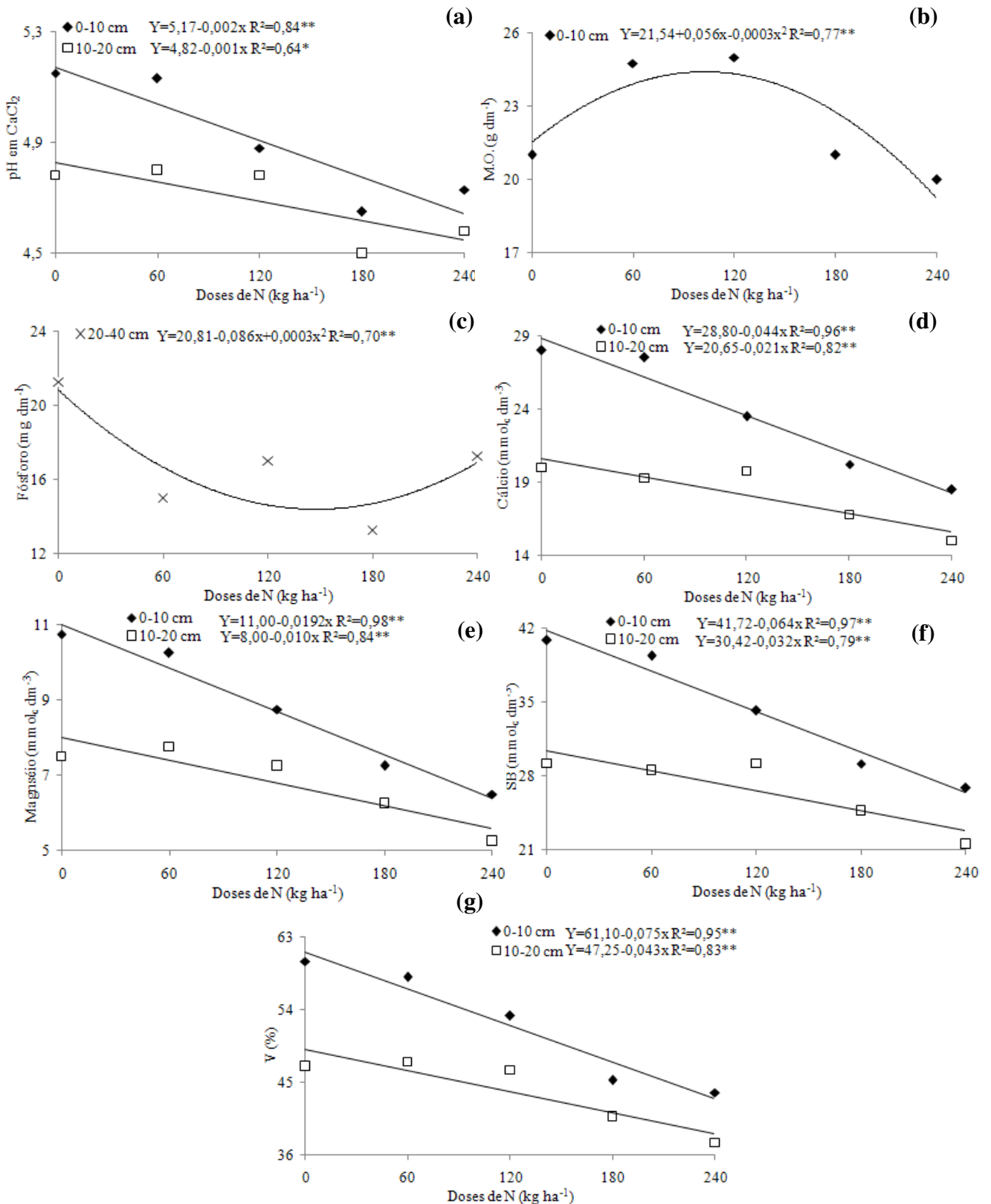
## **5.2. Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo aos seis e aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar**

Notou-se interação para todos os atributos químicos, exceto na concentração de K e H+Al, indicando que o efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo depende da camada do solo analisada (**Tabela 4**). A aplicação de nitrogênio, aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar, promoveu diminuição no pH, na concentração de P, Ca, Mg, SB e V% nas camadas superficiais do solo (**Figuras 14 a; c; d; e; f; g**). Portanto, observa-se que a aplicação de N promoveu diminuição com ajuste linear no pH, na concentração de Ca e Mg que refletiu na diminuição da soma de bases e da saturação por bases das camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade do solo.

**Tabela 4.** Resultados médios dos atributos químicos do solo em função da aplicação de nitrogênio aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Doses de N (D)	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
kg ha <sup>-1</sup>		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmolc dm <sup>-3</sup>						%
0	4,3	13	10	1,0	11	4	32	16,2	48,3	29
60	4,3	15	9	1,0	10	4	33	15,6	48,5	28
120	4,3	16	9	1,2	10	4	34	15,4	49,4	28
180	4,2	13	7	1,0	9	3	36	13,0	49,0	24
240	4,2	14	9	1,0	8	3	37	12,1	48,8	22
Teste F	1,83 <sup>ns</sup>	2,84 <sup>ns</sup>	3,79*	2,85 <sup>ns</sup>	7,83*	7,60*	3,24 <sup>ns</sup>	9,83**	0,14 <sup>ns</sup>	7,08**
C.V. (a) (%)	5,4	22,9	23,5	28,5	21,6	25,8	15,5	19,4	11,4	19,7
Camadas (C)										
0-10 cm	4,9	22	10	1,8	24	9	31	34,1	65,1	52
10-20 cm	4,7	20	14	1,7	18	7	34	26,6	60,8	44
20-40 cm	4,3	14	17	1,1	8	4	36	12,5	48,2	26
40-60 cm	4,0	11	5	0,7	4	2	36	6,1	42,5	14
60-80 cm	3,9	10	3	0,5	2	1	35	3,8	39,0	10
80-100 cm	3,9	9	3	0,5	2	1	34	3,5	37,3	9
Teste F	145,35**	160,35**	335,97**	124,18**	535,68**	282,54**	5,46**	634,37**	201,61**	604,44**
C.V. (b) (%)	3,7	12,5	16,9	23,2	18,4	22,5	10,6	15,9	7,5	12,8
Interação DxC	1,86*	2,0*	4,47**	1,67 <sup>ns</sup>	4,02**	3,21**	1,24 <sup>ns</sup>	5,03**	1,89*	3,22**
Desdobramento										
D. d. C. 0-10 cm	6,96**	4,14**	3,19*	-	21,70**	17,40**	-	26,26**	1,58 <sup>ns</sup>	15,86**
D. d. C. 10-20 cm	2,55*	6,05**	5,87**	-	5,76**	5,52**	-	7,99**	0,96 <sup>ns</sup>	5,91**
D. d. C. 20-40 cm	0,95 <sup>ns</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	14,66**	-	0,96 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	-	1,63 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>	1,85 <sup>ns</sup>
D. d. C. 40-60 cm	0,14 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	-	0,59 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	-	0,83 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>
D. d. C. 60-80 cm	0,29 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	-	0,05 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-	0,05 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
D. d. C. 80-100 cm	0,19 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-	0,01 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>

\*\* , \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.



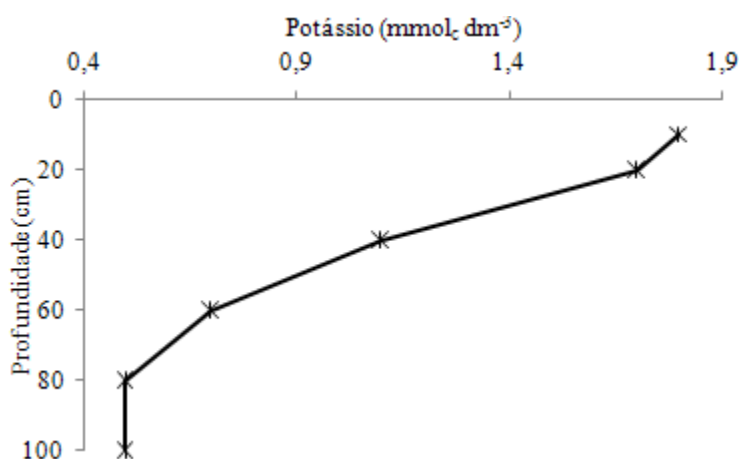
**Figura 14** – Efeito da aplicação de nitrogênio no pH nas camadas de 10-20 e 20-40 cm **(a)**, na M.O. na camada de 10-20 cm **(b)** na concentração de P na camada de 20-40 cm **(c)**, de Ca **(d)** e de Mg **(e)** nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, na SB **(f)** e no V% **(g)** nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade no solo, respectivamente, aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). **\*\***; **\*** - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Ressalta-se que a concentração de P nas camadas de 0-10 e 10-20 cm profundidade do solo não foi explicado pelos modelos de regressão testados (linear e quadrático). O mesmo ocorreu com a concentração de H+Al na camada de 0-100 cm de profundidade do solo.

Aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar, a matéria orgânica do solo (M.O.), aumentou com ajuste quadrático na camada de 0-10 cm de profundidade do solo, em função da aplicação de N, sendo a dose de 93 kg ha<sup>-1</sup> de N a responsável pelo ponto de máximo (24,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) (**Figura 14 b**). Ressalta-se que na camada de 10-20 cm de profundidade o teor de M.O. no solo foi significativo pelo teste F, no entanto, não foi explicado pelos modelos de regressão testados (linear e quadrático) (**Tabela 4**). Esse aumento da matéria orgânica com aplicação de N também já foi relatada na literatura (ORLANDO FILHO et al., 1998), isso se deve ao nitrogênio promover maior quantidade de fragmentos de raízes e biomassa microbiana, que fazem parte da matéria orgânica do solo (COSTA, 2001).

Neste sentido, ALVAREZ et al. (1995) observaram que a matéria orgânica nos primeiros cinco centímetros do solo sob palha, é composta por materiais de fácil decomposição que são mineralizados rapidamente em condições de laboratório. CAMPBELL et al. (1989) destaca ainda, que a palha proporciona aumentos na quantidade de aminoácidos e amino açúcares na camada de 0-7,5 cm do solo.

A concentração de K no solo, aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar, diminuiu em função da camada de solo analisada, independentemente da aplicação de nitrogênio (**Figura 15**), corroborando os resultados obtidos por COSTA (2001).



**Figura 15** – Concentração de potássio nas camadas de 0 a 100 cm de profundidade no solo, aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). Matão-SP, 2008

Observa-se efeito significativo dos tratamentos, aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar em todos os atributos químicos do solo (**Tabela 5**). Notou-se interação para P, Ca, Mg, SB e CTC, indicando que o efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo depende da camada analisada.

Ressalta-se, que aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar a alteração da concentração de P nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e de Mg na camada de 10-20 cm de profundidade do solo (**Tabela 5**), não foram explicados pelos modelos de regressão testados (linear e quadrático).

A aplicação de nitrogênio, aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar, promoveu diminuição na concentração de P, Ca, Mg, SB e CTC nas camadas superficiais, exceto a concentração de Ca e a CTC, na camada de 20-40 cm de profundidade do solo, que aumentaram com ajuste quadrático, sendo as doses 113 e 163 kg ha<sup>-1</sup> de N as responsáveis pelos pontos de máximo de 7,59 e 50,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente (**Figuras 16 a; b; c; d; e**).

FARONI (2008) avaliando a resposta da cana-de-açúcar a aplicação de N em dois solos também observaram que a aplicação de N proporcionou diminuição da concentração de Ca no solo na camada de 0-25 cm de profundidade do solo.

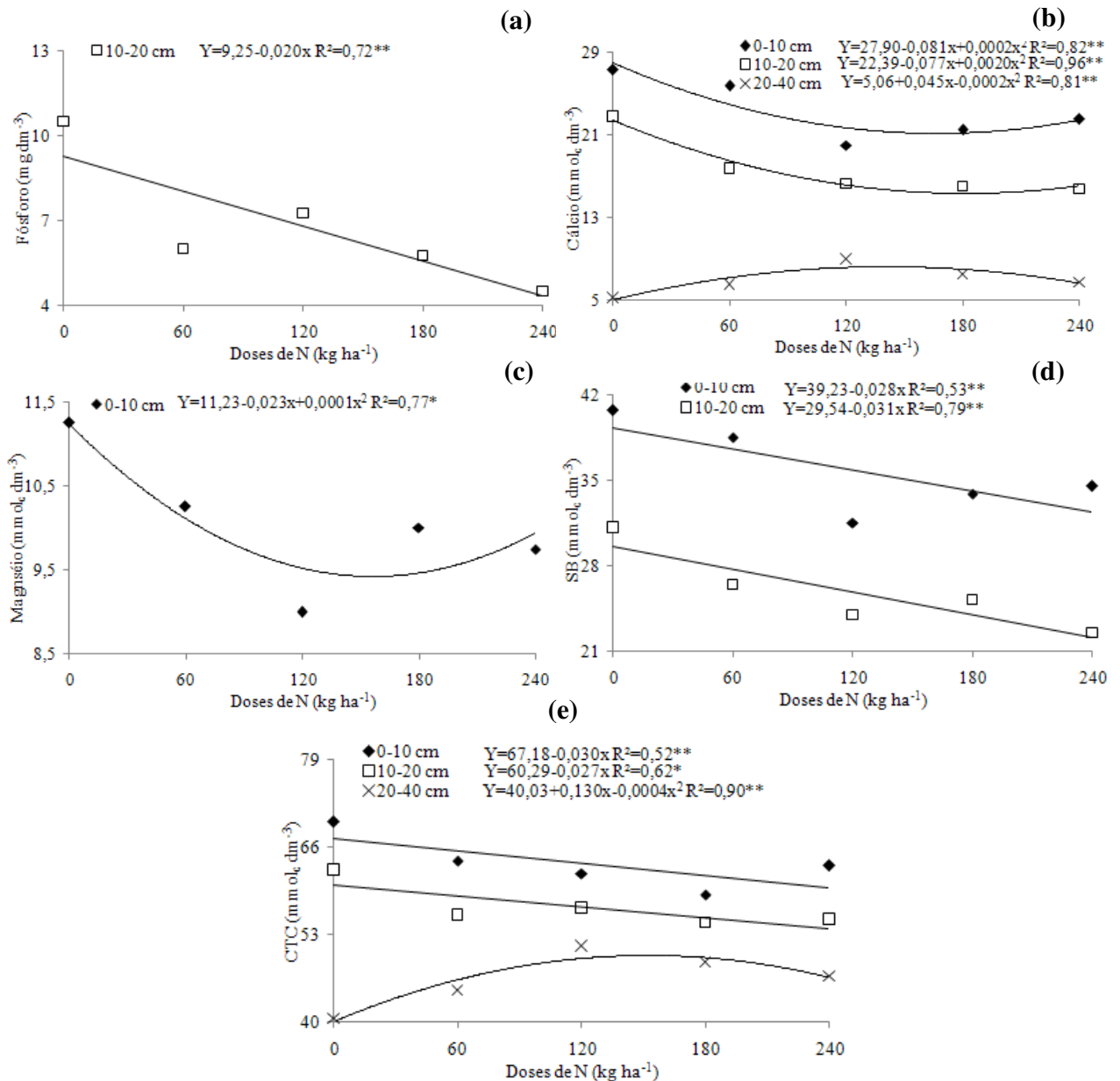
VITTI et al. (2002) em experimento com cana-de-açúcar, trabalhando com aplicação de mistura de sulfato de amônio e uréia em vaso, observaram diminuição do pH com a aplicação desses fertilizantes. A diminuição do pH com a aplicação de N, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar possivelmente se deve ao processo de nitrificação, onde converte-se o íon amônio a nitrato e íons de hidrogênio são liberados e pode ocorrer perda de cátions para as camadas mais profundas, acompanhando o ânion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (TISDALE et al., 1985; HACLIN et al., 2005). Além disso, durante o processo de decomposição da matéria orgânica do solo, o primeiro produto com nitrogênio é o amônio e quando ele é convertido a nitrato, íons de hidrogênio são liberados, os quais podem causar a acidificação do solo (RAIJ, 1991).

Os resultados demonstram que a aplicação de N, aos seis meses após a aplicação dos tratamentos, afeta a reação do solo e pode diminuir as bases apenas nas camadas superficiais, resultados semelhantes foram observados por COSTA (2001) avaliando o efeito da aplicação de diferentes fontes de N nos atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar, onde evidenciaram diminuição da concentração de Mg e na V% e aumento de H+Al com a aplicação de N.

**Tabela 5.** Resultados médios dos atributos químicos do solo em função da aplicação de nitrogênio aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Doses de N (D)	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
kg ha <sup>-1</sup>		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmolc dm <sup>-3</sup>	dm <sup>3</sup>			%
0	4,4	13	5	1,0	11	4	34	16	49,7	28
60	4,3	12	5	1,0	10	4	32	15	46,8	28
120	4,2	13	5	1,2	9	4	35	14	48,7	28
180	4,4	12	4	1,1	9	4	33	14	47,2	25
240	4,3	13	4	1,0	9	4	34	13	47,3	25
Teste F	0,86 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	5,55 <sup>**</sup>	2,66 <sup>ns</sup>	4,70 <sup>**</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>
C.V. (a) (%)	8,2	19,2	23,5	19,6	19,8	29,7	24,3	19,8	13,4	29,9
Camadas (C)										
0-10 cm	5,0	21	7	2,4	23	10	28	35	63,6	57
10-20 cm	4,7	17	7	1,4	18	7	31	26	57,1	45
20-40 cm	4,2	12	5	0,9	7	3	35	11	46,4	24
40-60 cm	4,0	9	3	0,6	3	2	36	6	41,5	13
60-80 cm	4,0	9	3	0,6	3	1	35	5	40,1	12
80-100 cm	4,0	8	2	0,5	2	1	35	4	38,9	10
Teste F	155,60 <sup>**</sup>	192,63 <sup>**</sup>	98,86 <sup>**</sup>	287,39 <sup>**</sup>	1043,97 <sup>**</sup>	492,6 <sup>**</sup>	27,92 <sup>**</sup>	1133,58 <sup>**</sup>	218,30 <sup>**</sup>	629,53 <sup>**</sup>
C.V.(b) (%)	3,7	13,3	21,9	17,7	13,2	18,3	8,3	12,2	6,4	13,1
Interação DxC	1,06 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	4,87 <sup>**</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	8,32 <sup>**</sup>	2,12 <sup>*</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	5,84 <sup>**</sup>	3,30 <sup>**</sup>	1,60 <sup>ns</sup>
Desdobramento										
D. d. C. 0-10 cm	-	-	3,08 <sup>*</sup>	-	19,48 <sup>**</sup>	3,90 <sup>**</sup>	-	13,79 <sup>**</sup>	4,21 <sup>**</sup>	-
D. d. C. 10-20 cm	-	-	22,01 <sup>**</sup>	-	18,39 <sup>**</sup>	6,27 <sup>**</sup>	-	10,94 <sup>**</sup>	2,79 <sup>*</sup>	-
D. d. C. 20-40 cm	-	-	3,81 <sup>**</sup>	-	4,09 <sup>**</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	-	3,40 <sup>ns</sup>	4,56 <sup>**</sup>	-
D. d. C. 40-60 cm	-	-	0,21 <sup>ns</sup>	-	0,31 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	-	0,34 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	-
D. d. C. 60-80 cm	-	-	0,39 <sup>ns</sup>	-	0,83 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	-	0,84 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	-
D. d. C. 80-100 cm	-	-	0,47 <sup>ns</sup>	-	0,09 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-	0,10 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	-

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup> e <sup>ns</sup> – Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.



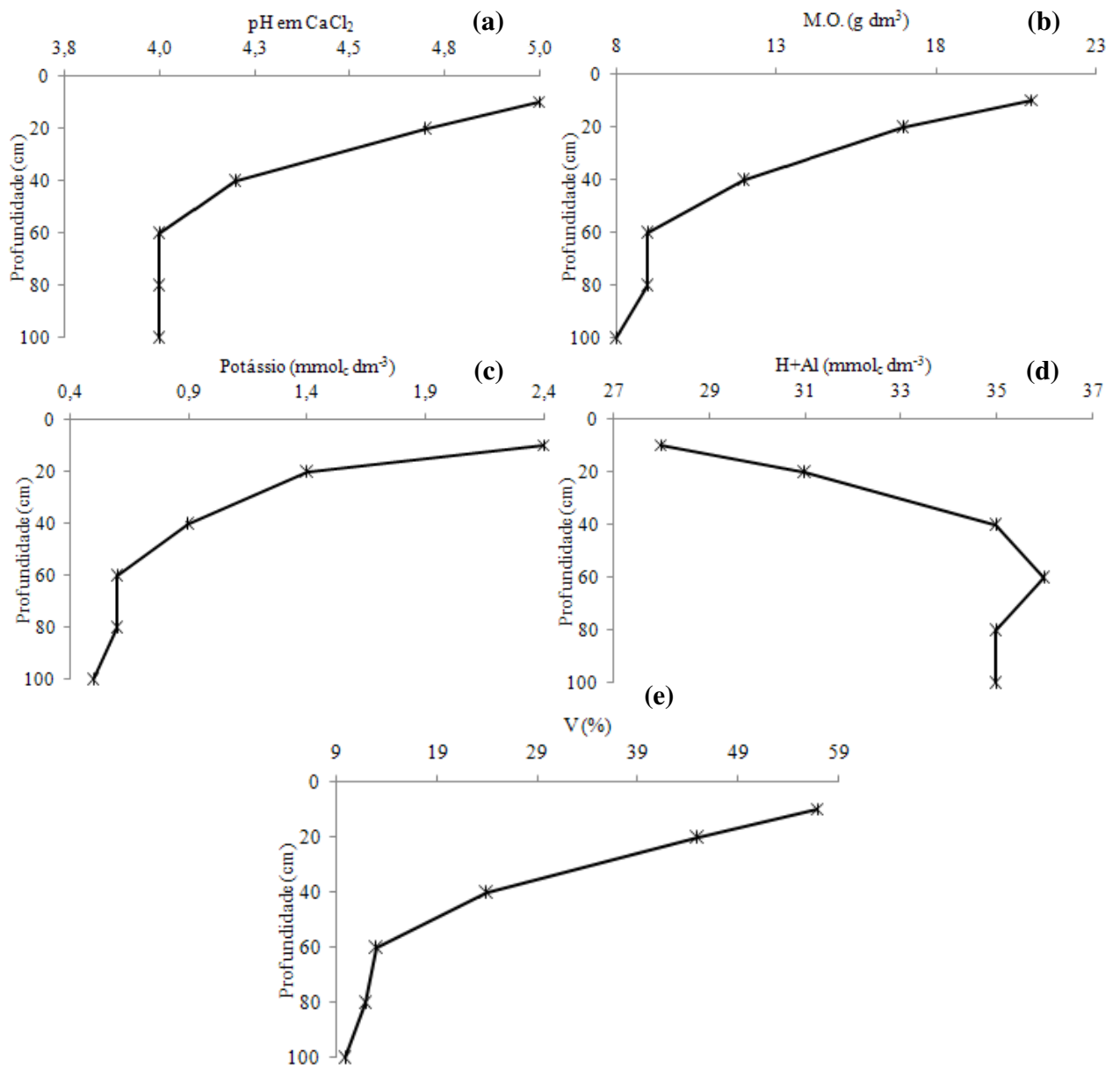
**Figura 16** – Efeito da aplicação de nitrogênio na concentração de P na camada de 10-20 cm (a), de Ca nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (b) de Mg na camada de 0-10 cm (c), na SB nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (d) e na CTC nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (e) de profundidade no solo, respectivamente, aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\*; \* - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

TEIXEIRA et al. (2001) também observaram que a aplicação de N ( $0-800 \text{ kg ha}^{-1}$ ) promoveu diminuição na saturação por bases, para esses autores essa diminuição ocorreu porque o N diminuiu a disponibilidade de Mg no solo.

Outra explicação para diminuição das bases com a aplicação de N se deve ao maior crescimento da cultura, que respondeu com aumento de produção até a dose de  $138 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, o que proporciona maior absorção de nutrientes e conseqüentemente diminuição da concentração desses nutrientes no solo.

O pH, a M.O., a concentração de K e o V%, aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar, diminuíram com o aumento da profundidade do solo, enquanto o H+Al apresentou comportamento contrário (**Figuras 17 a; b; c; e; d**).

A diminuição do pH, M.O., P, K, Ca, Mg, B, CTC, V% e o aumento do H+Al com a profundidade do solo é amplamente relatada na literatura (FARONI, 2008; COSTA et al., 2007) e esses efeitos se devem aos tratos culturais (adubação, calagem, culturas plantadas, sistema de cultivo, etc.) sobre o meio de cultivo.



**Figura 17** – Valor pH (a) M.O. (b), concentração de K (c), H+Al (d) e V% nas camadas de 0 a 100 cm de profundidade no solo, aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). Matão-SP, 2008

### 5.3. Efeito dos tratamentos na medida indireta da clorofila e nos teores foliares de nutrientes aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar

Aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar observa-se efeito significativo no teor foliar de Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn na folha +1 e de Ca, B, Cu, Fe e Zn na folha +3 e a interação entre as doses de nitrogênio e as folhas nos teores foliares de Ca, B, Cu e Mn (**Tabela 6**).

Notou-se pela interação que o efeito da aplicação de nitrogênio nos teores foliares de Ca, B, Cu e Mn dependem do tipo de folha coletada. Portanto, para diagnose foliar desses nutrientes para cana-de-açúcar é importante considerar o tipo de folha, corroborando as observações de PRADO (2008).

Verifica-se que não houve efeito significativo da leitura SPAD com o aumento da aplicação de N, possivelmente porque a aplicação de N não promoveu diferenças significativas no teor foliar de N, e assim também não ter proporcionado diferenças que fossem perceptíveis pela leitura SPAD (**Tabela 6**).

De forma geral, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, os teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn e Zn na folha +1 estão adequados segundo RAIJ & CANTARELA (1997), assim como os teores de P, Ca, B e Mn, na folha +3, segundo MALAVOLTA (1992). Todavia, os teores de N e Cu na folha +1 (16,6 g kg<sup>-1</sup> e 5 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) estão abaixo da faixa adequada (18-25 g kg<sup>-1</sup> e 6-15 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) segundo RAIJ & CANTARELA (1997) (**Tabela 6**). Os teores de N, K, Mg, S, Cu, Fe e Zn na folha +3 (17,1; 9,5; 1,3 e 1 g kg<sup>-1</sup>; 4; 70 e 10 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) estão abaixo da faixa adequada segundo MALAVOLTA (1992) (20-22, 13-15; 2-2,5 e 1,5-2 g kg<sup>-1</sup>; 8-10; 80-150 e 25-30 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) (**Tabela 6**).

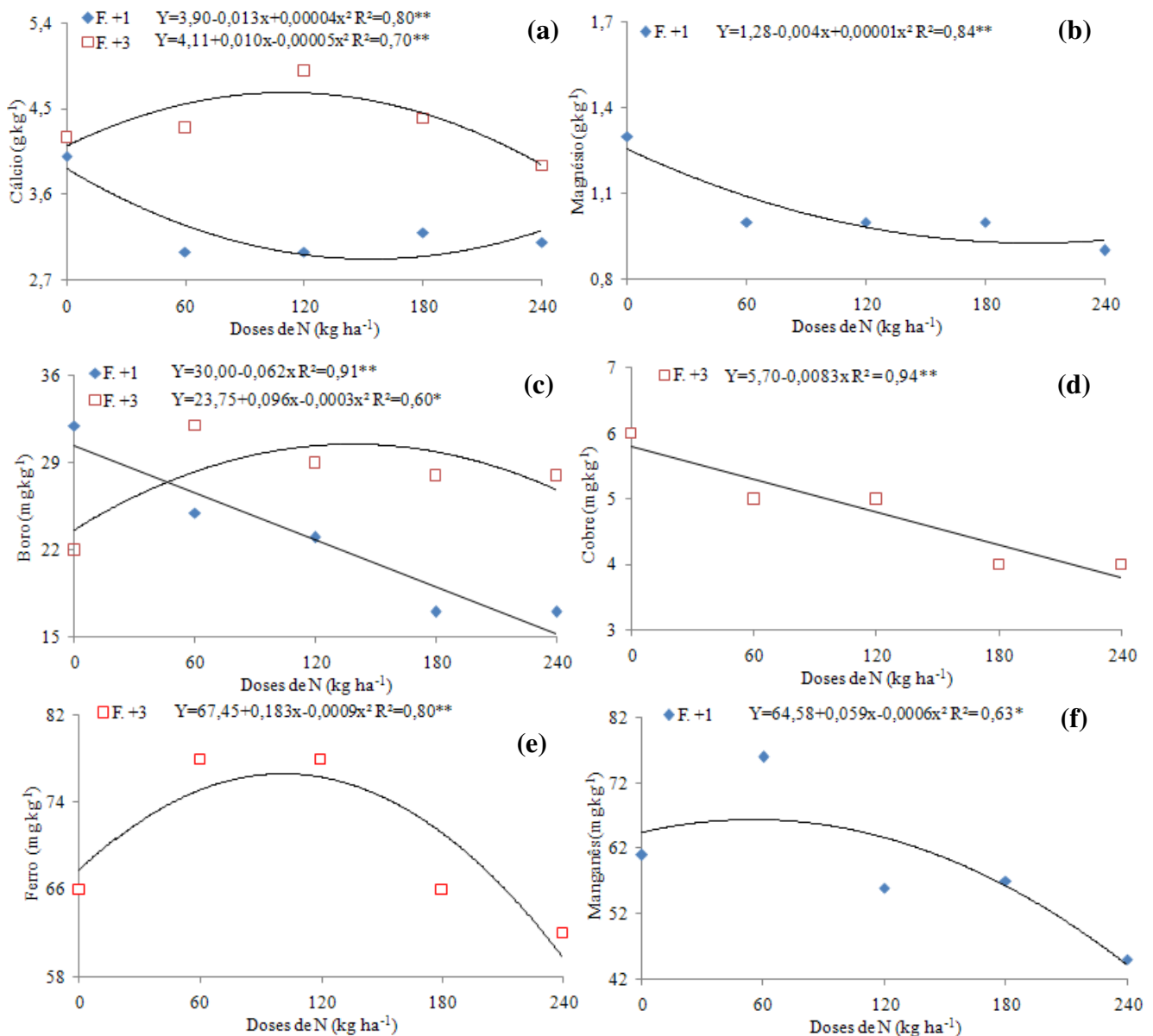
A aplicação de N promoveu aumento com ajuste quadrático no teor de cálcio, na folha +3, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, sendo a dose de 102 kg ha<sup>-1</sup> de N a responsável pelo maior teor foliar do nutriente (4,63 g kg<sup>-1</sup>). Para folha +1 o aumento da aplicação de N promoveu diminuição com ajuste quadrático no teor de Ca, sendo a dose de 161 kg ha<sup>-1</sup> de N a responsável pelo menor teor do macronutriente (2,85 g kg<sup>-1</sup>) (**Figura 18 a**).

**Tabela 6.** Resultados médios da leitura SPAD, dos teores de macro e micronutrientes na folha + 1 e + 3 aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Nitrogênio (D) kg ha <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----						
	SPAD	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0	39,7	17,7	1,8	10,7	4,0	1,3	1,1	32	5	73	61	11
60	38,4	16,3	1,7	11,4	3,0	1,0	1,0	25	5	67	76	12
120	40,0	16,2	1,8	10,6	3,0	1,0	1,0	23	4	65	56	10
180	38,4	15,9	1,6	10,0	3,2	1,0	0,9	17	5	62	57	10
240	40,9	16,8	1,6	11,1	3,1	0,9	1,0	17	5	63	45	11
Teste F	1,65 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	2,52 <sup>ns</sup>	6,29 <sup>**</sup>	6,80 <sup>**</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	9,84 <sup>**</sup>	2,58 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	10,95 <sup>**</sup>	0,80 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	3,9	6,3	10,6	10,8	13,4	10,8	9,1	12,9	12,5	8,3	11,8	22,6
							Folha +1					
0	42,4	17,0	1,6	9,6	4,2	1,4	1,2	22	6	66	62	10
60	41,8	17,1	1,6	9,2	4,3	1,3	1,2	32	5	78	68	9
120	42,3	16,9	1,5	9,2	4,9	1,4	1,2	29	5	78	61	11
180	41,9	17,9	1,7	9,7	4,4	1,4	1,2	28	4	66	67	11
240	40,6	16,6	1,5	9,9	3,9	1,2	1,2	28	4	62	71	10
Teste F	0,56 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	4,74 <sup>**</sup>	2,65 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	3,10 <sup>*</sup>	5,63 <sup>**</sup>	4,65 <sup>**</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	4,7	6,2	9,9	8,02	5,8	10,5	12,0	17,1	14,7	12,0	10,2	17,22
Folha +1 (F)	39,6	16,6	1,7	10,8	3,2	1,0	1,0	23	5	66	59	11
Folha +3 (F)	41,8	17,1	1,6	9,5	4,3	1,3	1,2	28	5	70	66	10
Teste F das folhas	2,50 <sup>ns</sup>	3,03 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	47,51 <sup>**</sup>	67,77 <sup>**</sup>	58,37 <sup>**</sup>	22,83 <sup>**</sup>	22,78 <sup>**</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>	10,61 <sup>**</sup>	1,95 <sup>ns</sup>
Teste F (DxF)	0,89 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	2,34 <sup>ns</sup>	4,74 <sup>*</sup>	2,77 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	11,58 <sup>**</sup>	5,08 <sup>**</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	7,22 <sup>**</sup>	2,22 <sup>ns</sup>
Literatura <sup>(1)</sup>	-	18-25	1,5-3,0	10-16	2-8	1-3	1,5-3,0	10-30	6-15	40-250	25-250	10-50
Literatura <sup>(2)</sup>	-	20-22	1,8-2,0	13-15	5-7	2-2,5	1,5-2,0	20-50	8-10	80-150	50-125	25-30

\*\*; \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. <sup>(1)</sup> - Teores de nutrientes adequados, considerando a folha +1, em pleno desenvolvimento vegetativo (RAIJ & CANTARELLA, 1997); <sup>(2)</sup> - Teores de nutrientes adequados, considerando a folha +3, aos quatro meses após a brotação da cana-soca (MALAVOLTA, 1992).

A aplicação de N promoveu diminuição com ajuste quadrático no teor de Mg da folha +1 (**Figura 18 b**).



**Figura 18** – Teor de cálcio (a) e boro (c) na folha +1 e +3, teor de magnésio (b) e manganês (f) na folha +3, e teor de cobre (d) e ferro (f) na folha +1 em função da aplicação de nitrogênio aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\*, \* - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Para o teor de boro, verifica-se que a aplicação de N promoveu decréscimo com ajuste linear no teor do macronutriente na folha +1, entretanto, houve aumento com ajuste quadrático na folha +3, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, sendo a de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N a responsável pelo maior teor de B (4,5 mg kg<sup>-1</sup>) (**Figura 18**

c). Segundo MALAVOLTA & MORAES (2007) tem-se efeito antagônico entre nitrogênio e boro, corroborando as observações para folha +1 e para folha +3, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, acima da dose de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em cana-de-açúcar.

A aplicação de N, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, promoveu diminuição com ajuste linear no teor de Cu na folha +3 (**Figura 18 d**) e aumento com ajuste quadrático nos teores de Fe na folha +3 e de Mg na folha +1, sendo a dose de N igual a  $102 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $49 \text{ kg ha}^{-1}$  a responsável por  $77 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $66 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente (**Figuras 18 e; f**).

COSTA (2001) trabalhando com a terceira soqueira de cana-de-açúcar, colhida sem despalha a fogo, observou que na folha +1 o teor de N variou de 15,8 até 18,8  $\text{g kg}^{-1}$ , estando o teor médio entre 15,9 e 17,7  $\text{g kg}^{-1}$  adequado para a cultura. Para REIS Jr & MONNERAT (2003), na folha +3, a faixa de N adequada esta entre 13,4 e 22  $\text{g kg}^{-1}$ .

As diferenças entre os teores observados no trabalho e os relatados na literatura, possivelmente, ocorrem em função da época de amostragem, sendo que foi considerado amostragem aos 4 meses após a brotação, enquanto, RAIJ & CANTARELLA (1997) referem-se a amostragem em pleno desenvolvimento da cultura, que ocorre após os 4 meses da brotação e também a outros fatores, tais como cultivares (MENDES, 2006) condições edafoclimáticas, produtividades distintas e o efeito de diluição retratado por JARRELL & BEVERLY (1981), onde a concentração dos nutrientes é diluída com o maior crescimento da planta. GOMEZ ALVAREZ (1974) acrescenta ainda que a concentração dos nutrientes nas folhas da cana-de-açúcar é afetada pela idade da cultura, variações climáticas (especialmente nebulosidade) e até a hora do dia, a qual indica como ideal das 6 às 8 horas da manhã. Portanto, nota-se que vários fatores podem afetar o teor foliar dos nutrientes na cana-de-açúcar, o que contribui para pequenas diferenças nos teores dos nutrientes relatados na literatura.

É pertinente ressaltar que a aplicação de N não afetou o teor desse nutriente nas folhas (+1 e +3) aos quatro meses (06-04-2008) após a brotação da cana-de-açúcar (**Tabela 6**).

Em virtude das funções do N na nutrição da planta, sua aplicação ao promover aumento do crescimento da planta, o que pode ter levado a diluição do seu teor nos tecidos foliares, não sendo possível perceber diferenças significativas no teor desse macronutriente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

Aos nove meses após a aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar observam-se

efeito significativo nos teores foliar de Fe na folha +1 e de B, Fe e Zn na folha +3 (**Tabela 7**). No entanto os teores de Fe na folha +1 não foram explicados pelos modelos de regressão testados (linear e quadrático).

Aos nove meses após a aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar observa-se que a aplicação de N promoveu diminuição com ajuste linear para os teores de boro (**Figura 19 a**) e quadrático para os teores de Fe (**Figura 19 b**). Possivelmente o menor teor desses nutrientes se deve ao aumento da produtividade com a aplicação de N, promovendo a diluição nos nutrientes (JARRELL & BEVERLY, 1981). FARONI (2008) em cultivo de cana-planta e soqueira em duas áreas de cultivo também observaram que a aplicação de N (0 até 150 kg ha<sup>-1</sup>) não promoveu aumento nos teores foliares desse nutriente e segundo os autores isso ocorreu devido ao aumento da produtividade o que diluiu a maior quantidade do nitrogênio absorvido.

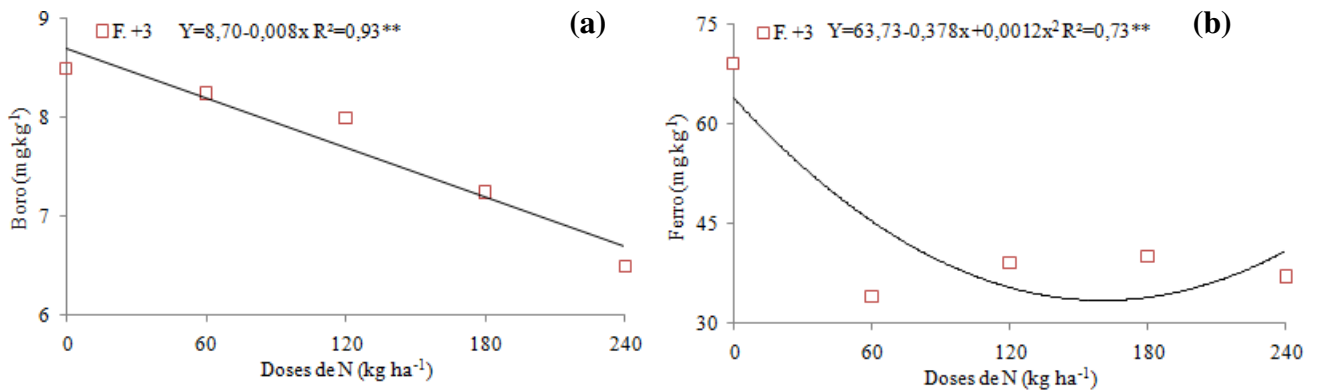
Observa-se que, aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar, os teores de P, Ca, S, B, Fe, Mn e Zn foram maiores na folha +3 se comparados aos teores na folha mais nova (folha +1), encontrou-se maiores teores de K na folha +1 aos nove meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar, possivelmente pela alta mobilidade desses nutrientes nas plantas (MALAVOLTA, 1980). Ao passo que na folha +3, aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar o maior teor obtido para Ca e B é justificado devido à baixa mobilidade destes nutrientes na planta (MALAVOLTA, 1980). Por outro lado, pesquisas recentes indicaram nova classificação de mobilidade “variável” dos nutrientes nas plantas, uma vez que a espécie de plantas e mesmo o estado nutricional interno pode alterar a dinâmica do nutriente entre os órgãos das plantas (WELCH, 1999).

Para SMITH & LONERAGAN (1997) Ca, Mn, B e Fe são considerados imóveis e Zn, Cu, Mo, Fe, B e S são considerados de mobilidade variável de acordo com as culturas, portanto os maiores teores de Ca, S, B e Mn na folha +3 aos quatro e aos nove meses e de Fe e Zn aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar podem ser justificados pela baixa mobilidade desses nutrientes na cultura da cana-de-açúcar.

**Tabela 7.** Resultados médios da leitura SPAD, dos teores de macro e micronutrientes na folha + 1 e + 3 em função da aplicação de nitrogênio aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Nitrogênio (D)	SPAD	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
0	28,7	19,3	0,5	4,9	0,6	0,3	0,4	5	1	25	10	5	
60	29,0	20,2	0,3	4,6	0,6	0,3	0,4	4	1	12	7	4	
120	28,8	20,1	0,4	4,5	0,7	0,3	0,4	4	1	21	9	5	
180	29,4	20,2	0,4	4,8	0,7	0,3	0,4	5	1	13	10	5	
240	27,2	21,5	0,4	4,5	0,7	0,3	0,4	4	1	16	9	6	
Teste F	1,14 <sup>ns</sup>	3,29 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	8,06 <sup>**</sup>	6,62 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)	5,5	4,5	25,8	6,3	13,7	10,6	16,9	17,2	11,3	22,8	10,4	26,4	
0	28,9	19,9	0,5	4,4	1,5	0,5	0,5	9	1	69	23	7	
60	28,7	21,0	0,6	3,7	1,2	0,3	0,6	8	1	34	19	8	
120	28,5	21,2	0,6	4,0	1,2	0,3	0,5	8	1	39	26	10	
180	29,8	20,5	0,4	3,6	1,2	0,3	0,5	7	1	40	20	9	
240	29,2	21,2	0,6	4,9	1,2	0,4	0,6	7	1	37	20	8	
Teste F	0,23 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	1,52 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	3,31*	1,0 <sup>ns</sup>	19,12 <sup>**</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)	7,03	4,9	23,8	29,4	20,1	29,8	10,6	11,7	22,3	14,9	19,4	23,1	
Folha +1 (F)	28,6	20,2	0,4	4,7	0,7	0,3	0,4	4	1	17	9	5	
Folha +3 (F)	29,0	20,0	0,5	4,1	1,3	0,3	0,5	8	1	44	22	8	
Teste F das folhas	0,85 <sup>ns</sup>	6,17 <sup>ns</sup>	22,88 <sup>**</sup>	3,21 <sup>ns</sup>	91,32 <sup>**</sup>	1,66 <sup>ns</sup>	54,40 <sup>**</sup>	155,49 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	288,60 <sup>**</sup>	189,21 <sup>**</sup>	46,56 <sup>**</sup>	
Teste F (DxF)	0,51 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	3,75*	0,72 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	8,60 <sup>**</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	7,73 <sup>**</sup>	

\*\* , \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.



**Figura 19** – Teor de boro **(a)** e ferro **(b)** na folha +3 em função da aplicação de nitrogênio aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Na Venezuela, GOMEZ ALVAREZ (1974) notou efeito antagônico do nitrogênio nos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, neste trabalho observou-se redução nos teores de B, Mn e Zn na folha +1 e de Ca, Cu, Fe e Zn na folha +3, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio, sendo que para magnésio, potássio e fósforo não foi observado efeito significativo, todavia, a diminuição no teor desses nutrientes deve estar relacionada ao efeito de diluição, porque a aplicação de N promoveu aumento do crescimento das plantas.

Para DECHEN et al. (2007) o excesso de N pode provocar competição com a absorção de outros nutrientes como o K, Ca e Mg, todavia, neste trabalho observou-se redução apenas de Mg na folha +1 e de Ca na folha +3, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, com a aplicação de nitrogênio. Possivelmente a diminuição do teor de Ca e Mg se deve a diminuição desses nutrientes no solo em função da aplicação de nitrogênio (**Figuras 14 d; e**).

A presença de N pode proporcionar aumento (efeito sinérgico) ou diminuição (efeito inibitório ou antagônico) na absorção dos nutrientes, sendo os casos mais comuns de efeito sinérgico: N e S, N e Ca, N e Mg, N e Zn, N e Cu, e N e Mn; e os casos mais comuns de efeito antagônico: N e B e N e S-SO<sub>4</sub> (MALAVOLTA & MORAES, 2007). Neste sentido, o efeito sinérgico entre nitrogênio e manganês, observado no presente trabalho, confirmam observações para folha +1 aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar.

A aplicação de N não afetou os teores de P, corroborando as observações de FARONI (2008).

Estudos mostram que a aplicação de N promove aumento nos teores de S, mesmo quando esse nutriente não faz parte do adubo (FARONI, 2008). Há uma relação entre a concentração de N e de S nas folhas, geralmente de 10-15, o que indica nutrição adequada (PRATES et al., 2006). Para MALAVOLTA (1980) existe uma estequiometria muito fina entre esses dois elementos, sendo que, em média, há aproximadamente 34 átomos de N para cada átomo de S e, para a maioria das culturas a relação entre esses nutrientes na matéria seca das plantas é da ordem de 15:1. No presente trabalho, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, verifica-se relação de N:S de 16:1, portanto, muito próximo da relação da nutrição adequada apresentada na literatura.

#### **5.4. Efeito dos tratamentos no teor e no acúmulo de nutrientes nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos na época da colheita da cana-de-açúcar**

A aplicação de N influenciou o teor de Ca e S nas folhas secas, no teor de N, Fe, e Zn nas folhas verdes, e no teor de N, B e Zn nos colmos de cana-de-açúcar (**Tabela 8**).

Para o teor de N nas folhas verdes e nos colmos verifica-se incremento com ajuste quadrático em função da aplicação do nitrogênio, atingindo o máximo de 7,0 e 2,3 g kg<sup>-1</sup> com as doses de 118 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (**Figura 20 a**). No entanto, nas amostras da folha +1 e +3 aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar não foi possível constatar diferença significativa no teor de N ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F em função da aplicação do nitrogênio (**Tabelas 6 e 7**).

Possivelmente o acúmulo de N nas folhas secas não foi influenciado pela aplicação desse macronutriente devido a medida que as folhas entram em senescência o N é redistribuído para as folhas verdes em função da sua alta mobilidade nas plantas (MALAVOLTA, 2006).

Para o teor de S e Zn nos colmos observa-se diminuição desse nutriente com ajuste quadrático em função da aplicação de N (**Figuras 20 b; d**).

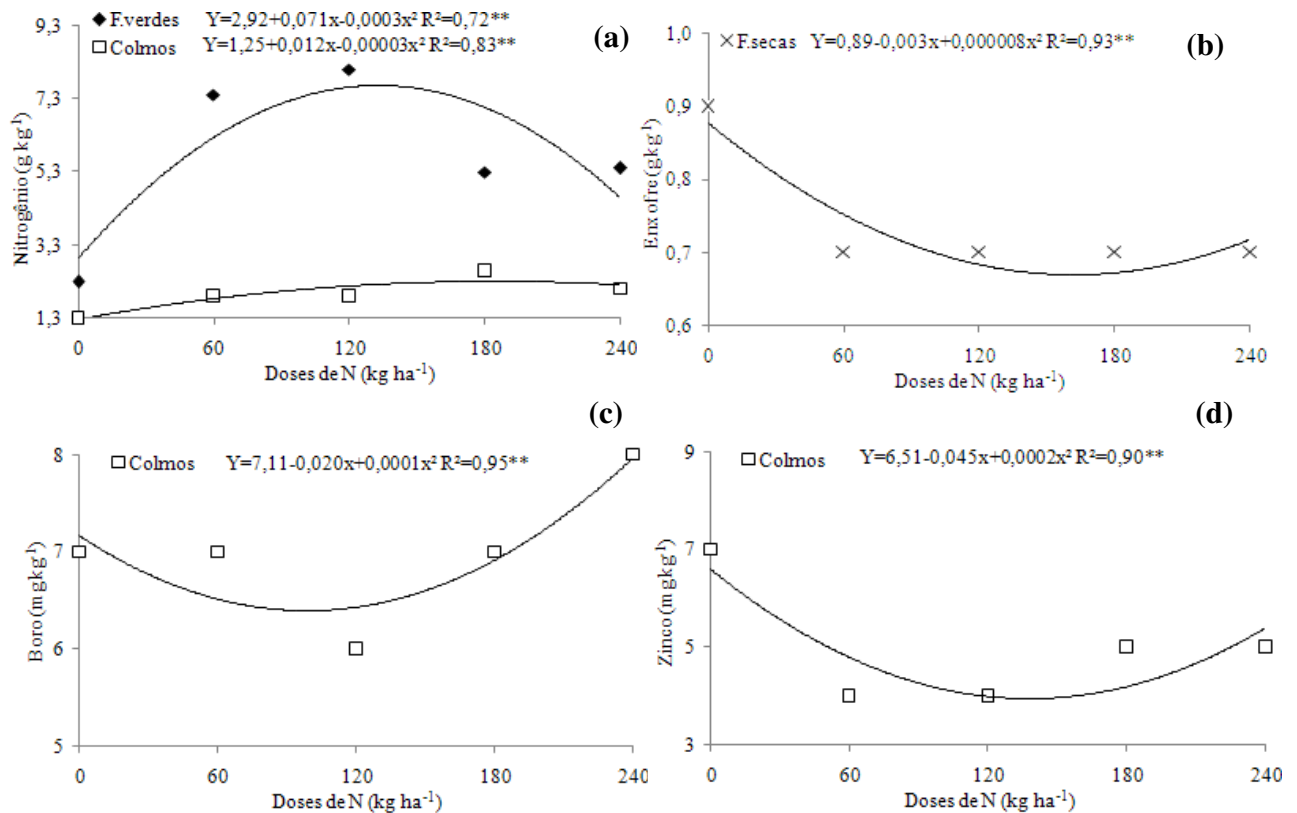
Para o teor de B nos colmos, a aplicação de N proporcionou aumento desse nutriente com ajuste quadrático (**Figura 20 c**). Ressalta-se, que embora a aplicação de N promoveu alterações significativas nos teores de B nas folhas verdes, os resultados não foram explicados pelos modelos de regressão testados (linear e quadrática).

Salienta-se que o teor de Ca nas folhas secas, e os teores de Fe e Zn nas folhas verdes foram significativos, no entanto, não foram explicados pelos modelos de regressão testados (linear e quadrática).

**Tabela 8.** Resultados médios dos teores foliares de macro e micronutrientes nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos em função da aplicação de nitrogênio aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Nitrogênio kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	Folhas secas											
0	2,8	0,2	1,5	3,1	0,9	0,9	6	2	365	103	7	
60	2,7	0,2	1,5	2,3	0,7	0,7	8	2	392	91	7	
120	2,7	0,2	1,5	2,2	0,7	0,7	7	2	291	79	6	
180	3,4	0,2	1,6	2,6	0,7	0,7	7	2	363	88	6	
240	3,4	0,3	2,1	2,1	0,8	0,7	8	3	379	103	8	
Teste F	0,85 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	4,24*	0,90 <sup>ns</sup>	14,78**	2,09 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)	26,0	26,6	29,9	15,9	25,2	6,4	14,6	19,0	15,9	25,2	19,6	
	Folhas verdes											
0	2,3	1,0	11,6	2,5	1,1	28,1	2	5	232	83	15	
60	7,4	1,0	11,7	2,4	1,2	30,0	2	4	233	94	14	
120	8,1	1,1	12,6	2,4	1,2	31,3	1	4	320	88	15	
180	5,3	1,1	12,6	2,3	1,1	27,5	2	4	236	78	13	
240	5,4	1,0	12,0	2,1	1,1	27,5	2	5	372	88	15	
Teste F	34,18**	1,54 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	15,00**	0,86 <sup>ns</sup>	16,75**	0,29 <sup>ns</sup>	5,93**	
C.V. (%)	13,6	8,1	12,2	11,9	10,5	10,3	12,8	20,0	11,4	25,4	4,2	
	Colmos											
0	1,3	0,2	2,2	0,5	0,6	0,5	7	3	96	31	7	
60	1,9	0,2	1,9	0,4	0,6	0,5	7	2	85	38	4	
120	1,9	0,2	1,7	0,4	0,6	0,4	6	2	72	34	4	
180	2,6	0,2	1,7	0,3	0,6	0,4	7	2	83	31	5	
240	2,1	0,2	2,2	0,3	0,4	0,4	8	2	81	25	5	
Teste F	17,93**	2,25 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	4,93*	2,63 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	4,62*	
C.V. (%)	11,8	16,6	27,0	30,5	24,9	11,0	10,0	29,7	16,4	24,1	24,6	

\*\* , \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.



**Figura 20** – Teor de nitrogênio (a) nas folhas verdes e nos colmos, teor de enxofre (b) nas folhas secas, e teor de boro (c) e zinco (d) nos colmos em função da aplicação de nitrogênio na época da colheita da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Observa-se que a dose que proporcionou os maiores teores de N nas folhas verdes e nos colmos foram de 118 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, estão relativamente próximos da dose que proporcionou a maior produção (138 kg ha<sup>-1</sup> de N).

GOMES (2003) em cultivo de doze variedades de cana-de-açúcar sem o uso da despalha a fogo em dois solos observaram teores nos colmos (em g kg<sup>-1</sup>) variando de 0,8 a 1,4 para o N, de 0,1 a 0,2 para o P e de 1,2 a 4,0 para o K. No presente trabalho observa-se variação média em (g kg<sup>-1</sup>) de 1,3 a 2,6 para o N, de 0,2 para o P e de 1,7 a 2,2 para o K, verifica-se assim que os teores desses macronutrientes estão de acordo com os relatados na literatura.

Aplicação de N promoveu efeito significativo no acúmulo de P, Ca, S, B e Fe nas folhas secas, no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg S, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas verdes e no acúmulo de N, P, B e Mn nos colmos (**Tabela 9**).

Houve incremento com ajuste quadrático no acúmulo de N nas folhas verdes e nos colmos em função da aplicação de N, atingindo com doses de 122 e 167 kg ha<sup>-1</sup> de N os pontos de máximos de 96,3 e 98,8 kg ha<sup>-1</sup> de N (**Figura 21 a**), respectivamente.

Houve incremento com ajuste quadrático no acúmulo de P nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos em função da aplicação de N, atingindo com as doses de 175, 124 e 143 kg ha<sup>-1</sup> de N os pontos de máximo de 0,4, 13,3 e 10,5 kg ha<sup>-1</sup> de P, respectivamente (**Figura 21 b**).

Para o acúmulo de K e Mg nas folhas verdes observa-se resposta com ajuste quadrático à aplicação de N, sendo as doses de 116 e 113 kg ha<sup>-1</sup> de N as responsáveis pelos pontos de máximo (156,0 e 14,9 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) (**Figura 21 c**).

Para o acúmulo de Ca e S nas folhas secas e nas folhas verdes observa-se resposta com ajuste quadrático à aplicação de N, sendo as doses de 90 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N as responsáveis pelo maior acúmulo de Ca e S (1,7 e 378,4 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) (**Figura 21 d**).

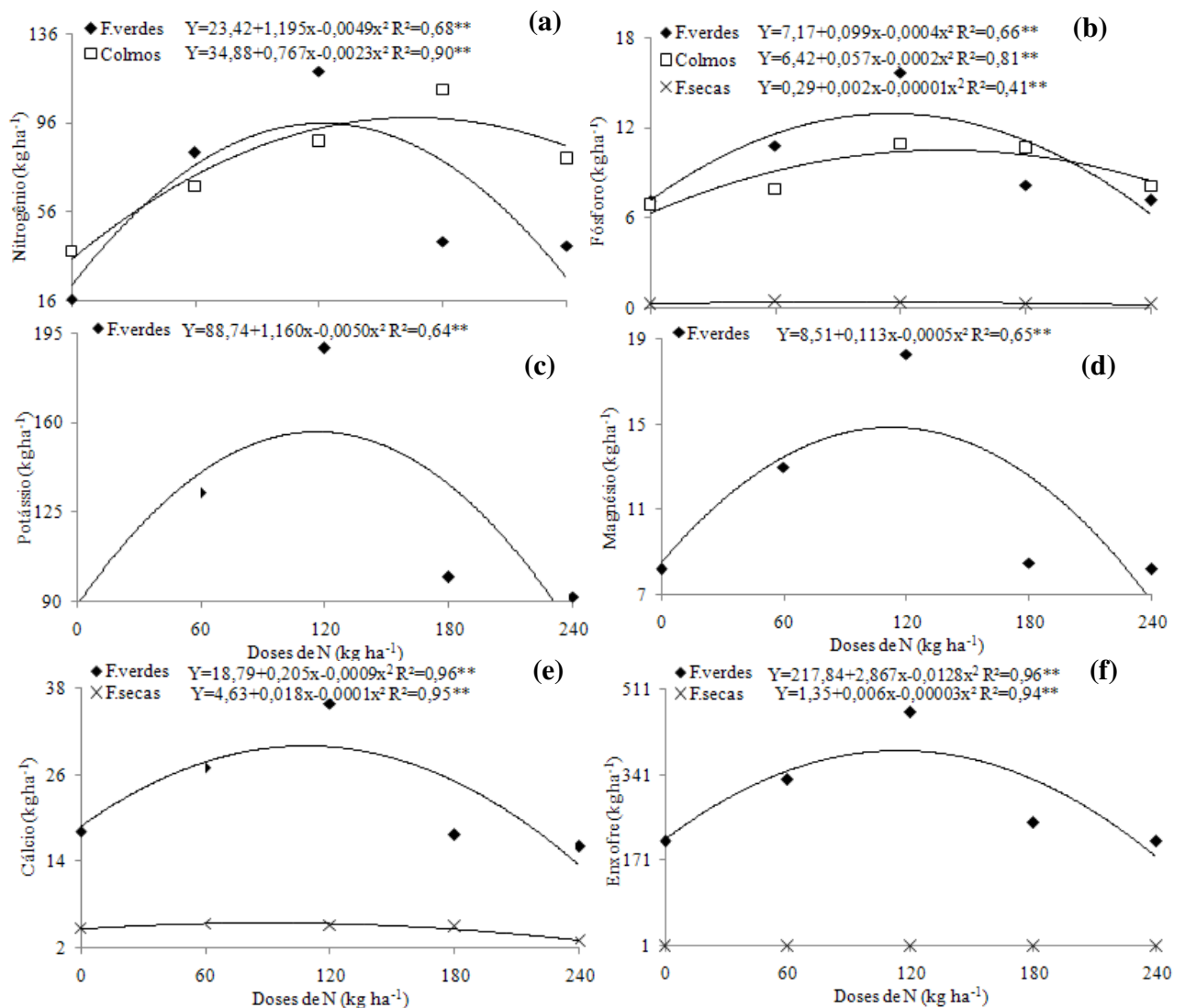
Houve incremento com ajuste quadrático para o acúmulo de Ca e S nas folhas secas e nas folhas verdes em função da aplicação de N, sendo o ponto de máximo para o acúmulo de Ca nas folhas secas (5,4 kg ha<sup>-1</sup>) e nas folhas verdes (30,5 kg ha<sup>-1</sup>) obtidos com a aplicação de 90 e 114 kg ha<sup>-1</sup> de N (**Figura 21 e**). O maior acúmulo de S nas folhas secas (1,7 kg ha<sup>-1</sup>) e nas folhas verdes (378,4 kg ha<sup>-1</sup>) foram obtidos com a aplicação de 100 e 112 kg ha<sup>-1</sup> de N (**Figura 21 f**).

Houve incremento com ajuste quadrático no acúmulo de B nas folhas secas e nas folhas verdes à aplicação de N, sendo o máximo de 17 g ha<sup>-1</sup> (para as duas variáveis) obtidos com a aplicação de 129 e 92 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Notou-se incremento com ajuste linear no acúmulo de B nos colmos em função da aplicação de nitrogênio (**Figura 22 a**).

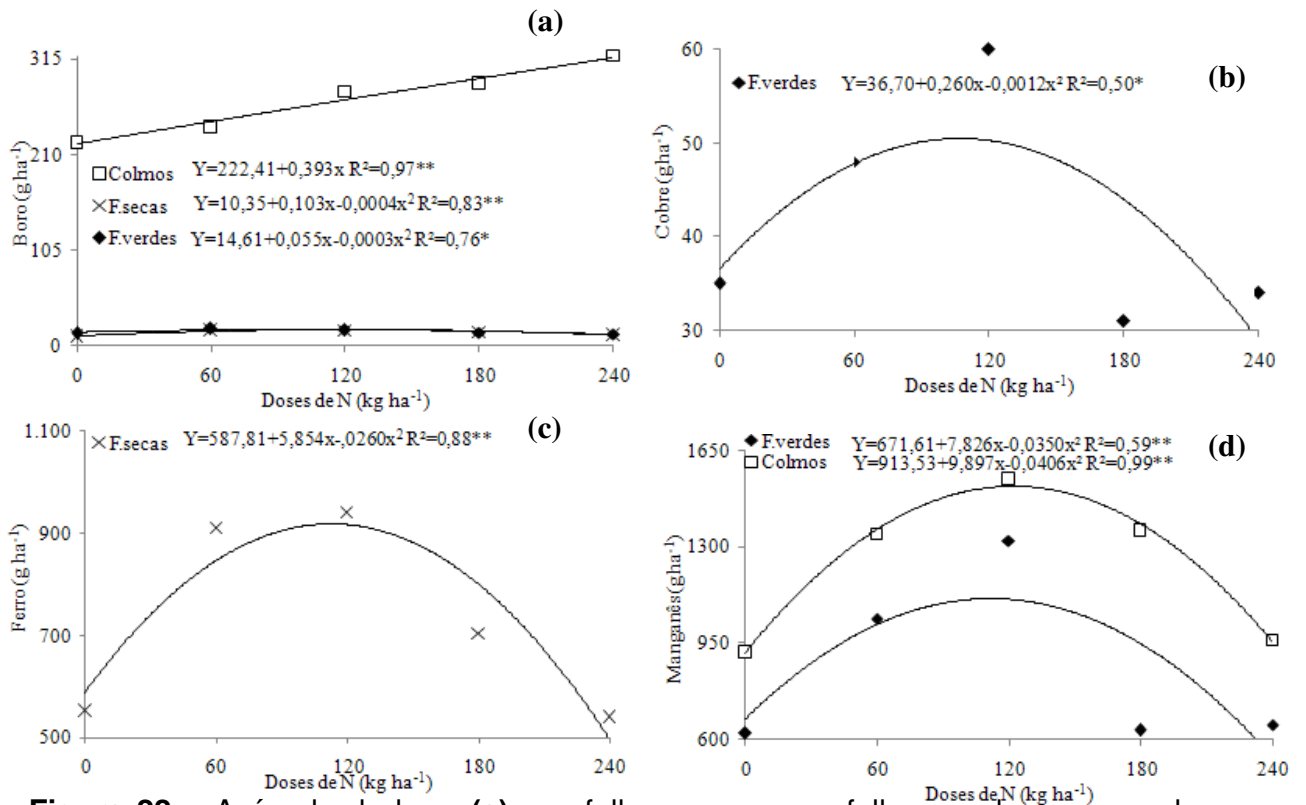
**Tabela 9.** Resultados médios do acúmulo de macro e micronutrientes nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos em função da aplicação de nitrogênio aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Nitrogênio kg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----						-----g ha <sup>-1</sup> -----					
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
0	4,2	0,3	2,2	4,7	1,3	1,3	10	3	552	154	11	
60	6,2	0,5	3,5	5,3	1,5	1,7	17	5	910	209	15	
120	6,3	0,4	3,5	5,1	1,5	1,6	16	5	940	189	13	
180	6,3	0,3	3,0	5,0	1,3	1,3	15	4	703	168	11	
240	4,8	0,3	3,0	3,0	1,1	1,0	12	4	540	146	11	
Teste F	1,65 <sup>ns</sup>	10,94 <sup>**</sup>	3,11 <sup>ns</sup>	4,23 <sup>*</sup>	1,07 <sup>ns</sup>	6,72 <sup>**</sup>	7,52 <sup>**</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	4,79 <sup>*</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)	27,3	14,9	19,5	19,5	25,0	15,9	16,4	28,0	23,9	25,4	25,8	
Folhas secas												
0	16,9	7,1	87,2	18,2	8,2	209,3	14	35	1716	624	109	
60	82,7	10,8	132,5	26,9	13,0	331,9	19	48	2599	1040	154	
120	119,1	15,7	189,0	35,9	18,3	465,5	17	60	4914	1322	220	
180	42,8	8,2	99,7	17,7	8,5	215,8	15	31	1928	634	108	
240	40,9	7,2	92,0	16,1	8,2	208,6	12	34	2805	653	114	
Teste F	49,31 <sup>**</sup>	32,47 <sup>**</sup>	12,23 <sup>**</sup>	43,65 <sup>**</sup>	52,56 <sup>**</sup>	53,66 <sup>**</sup>	3,81 <sup>**</sup>	4,52 <sup>*</sup>	60,39 <sup>**</sup>	7,6 <sup>**</sup>	66,01 <sup>**</sup>	
C.V. (%)	19,0	12,9	20,2	11,0	10,9	10,8	18,3	27,9	11,7	26,7	8,4	
Folhas verdes												
Colmos												
0	38,5	6,9	73,3	16,1	18,2	13,7	223	94	2969	917	212	
60	67,3	7,9	65,9	13,0	17,3	16,2	240	72	2986	1345	138	
120	87,7	10,9	77,1	19,4	22,8	17,9	279	80	3277	1546	161	
180	110,8	10,7	75,0	13,2	19,7	18,4	288	98	3606	1359	196	
240	80,0	8,1	83,5	11,4	15,2	16,4	318	65	2063	959	197	
Teste F	37,40 <sup>**</sup>	5,82 <sup>**</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	1,67 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	2,6 <sup>ns</sup>	4,40 <sup>*</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>	4,92 <sup>*</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	
C.V. (%)	11,4	16,4	28,7	33,3	26,7	13,6	13,4	29,1	15,8	20,2	26,2	

\*\*; \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente.



**Figura 21** – Acúmulo de nitrogênio nas folhas verdes e nos colmos (a), de enxofre nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos (b), de potássio nas folhas verdes (c) e magnésio nas folhas verdes (d) de cálcio nas folhas secas e verdes (e) e de enxofre nas folhas secas e nas folhas verdes (f) em função da aplicação de nitrogênio na época da colheita da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\*, \* - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008



**Figura 22** – Acúmulo de boro (a) nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos, acúmulo de cobre (b) nas folhas verdes, acúmulo de ferro (c) nas folhas secas, e acúmulo de magnésio (d) nas folhas verdes e nos colmos em função da aplicação de nitrogênio na época da colheita da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\*, \* - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Para o acúmulo de Cu nas folhas verdes, a aplicação de N promoveu aumento desse micronutriente com ajuste quadrático, sendo a dose de 108 kg ha<sup>-1</sup> de N a responsável pelo ponto de máximo (51 g ha<sup>-1</sup>) (**Figura 22 b**).

Para o acúmulo de Fe nas folhas secas, observa-se que a aplicação de N promoveu acréscimos no teor desse micronutriente com ajuste quadrático, sendo a dose de 113 kg ha<sup>-1</sup> de N a responsável pelo ponto de máximo (917 g ha<sup>-1</sup>) (**Figura 22 c**).

O acúmulo de Mn nas folhas verdes e nos colmos aumentou com ajuste quadrático em função da aplicação de N, sendo as doses de 112 e 122 kg ha<sup>-1</sup> de N as responsáveis pelo maior acúmulo do nutriente (1109 e 1517 g ha<sup>-1</sup>) (**Figura 22 d**).

Salienta-se que os teores de Zn nos colmos e de Fe nas folhas verdes foram significativos, no entanto, não foram explicados pelos modelos de regressão testados.

GOLDEN (1961) afirma que a quantidade de nutrientes nos colmos de cana-de-açúcar variava de 46 a 82 para o N, de 14 a 30 para o P e de 93 a 157 para o K, com o advento do novo sistema de cultivo (sem despalha a fogo) e com o uso de novas variedades, o acúmulo variou (em kg 100 t<sup>-1</sup>) no presente experimento de 39 a 111 para o N, de 7 a 11 para o P e de 66 a 84 para o K, indicando, possivelmente, que as variedades atuais são mais eficientes na utilização dos nutrientes. Já ORLANDO FILHO et al. (1980) trabalhando com cana-soca, observaram acúmulo médio em kg 100 t<sup>-1</sup> de 72 para o N, de 13 para o P e de 71 para o K.

PRADO et al. (2002) em cana-soca (SP 80-1842), cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo, observaram valores de exportação em kg ha<sup>-1</sup> de 88 para o N, de 4,1 para o P e de 54 para o K, COLETI et al. (2002) observaram exportações nos colmos para cana-soca, em kg ha<sup>-1</sup> de 84 para o N, de 9,8 para o P e de 118 para o K, resultados esses um pouco abaixo dos observados no presente trabalho (98,8, 10,1 e 75,5 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Neste sentido, GOMES (2003) em cultivo de doze variedades de cana-de-açúcar sem o uso da despalha a fogo em dois solos observou exportação pelo colmo (em kg ha<sup>-1</sup>) variando de 34,4 a 104,9 para o N (com uma produção de 29 e 54 t ha<sup>-1</sup>), de 2,2 a 9,5 para o P (com uma produção de 42 e 54 t ha<sup>-1</sup>) e de 47,5 a 285,5 para o K (com uma produção de 29 e 79 t ha<sup>-1</sup>), portanto verifica-se que a variação de acúmulo de nutrientes é muito grande, pois depende do solo, do ano agrícola (estágio), das práticas culturais e da sua adaptabilidade ao ambiente (GOMES, 2003).

Para DILLEWIJN (1952) é difícil propor valores para exportação de K nos colmos, pois há grande facilidade de ocorrência de consumo de luxo desse nutriente em condições de alta disponibilidade, neste sentido BEAUCLAIR (1994) observou exportações de K vai até 380 kg 100 t<sup>-1</sup> de colmos, portanto o valor observado no presente trabalho (75,5 kg ha<sup>-1</sup>) encontra-se dentro desta amplitude.

A extração de nutrientes pela cana-de-açúcar obedece, de forma geral, a seguinte ordem decrescente: Si, K, N, P, Ca, S, Mg, Cl, Fe, Zn, Mn, Cu, B e Mo

(MALAVOLTA, 1994). No presente trabalho, para a SP 83-2847, observou-se que a ordem de extração dos nutrientes seguiu a seguinte ordem decrescente: N, K, Mg, Ca, S, P, Fe, Mn, B, Zn e Cu.

O acúmulo de N, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , oscilou nos colmos de 38 a 111, nas folhas verdes de 17 a 120 e nas folhas secas de 4 a 6. FARONI (2008) observou acúmulo de N, em  $\text{kg ha}^{-1}$  oscilando nos colmos de 33 a 59, nas folhas verdes de 30 a 54 e nas folhas secas de 23 a 25.

Possivelmente o teor de S nas folhas secas e Zn nos colmos diminuíram com a aplicação de nitrogênio devido ao aumento do crescimento das plantas ter promovido a diluição desses nutrientes.

A discussão da exigência nutricional fica um pouco comprometida, porque são poucos os trabalhos que têm sido desenvolvidos com cana-de-açúcar, focando a exigência nutricional e a exportação de nutrientes, especialmente nos cultivares mais modernos, os quais sofreram significativa interferência genética por melhoramento vegetal (PRADO et al., 2002).

### **5.5. Efeito dos tratamentos no crescimento aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar**

Observa-se diferença significativa ( $P < 0,5$ ) para o diâmetro e número de colmos aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar e para a altura aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio (**Tabela 10**).

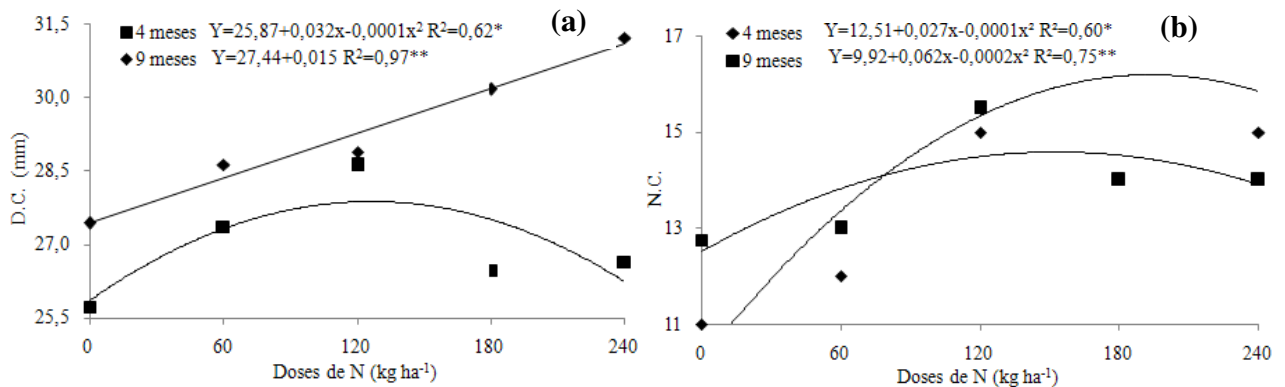
Analisando o aumento do diâmetro nos colmos de cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio observa-se efeito com ajuste quadrático aos quatro meses após a brotação da cultura, atingindo ponto de máximo (28,4 mm) com a aplicação de  $159 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, e ajuste linear aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar (**Figura 23 a**). Para altura, a aplicação de fertilizantes nitrogenados também apresentou efeitos benéficos, sendo a dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N a responsável pelo ponto de máximo aos quatro meses após sua brotação. Houve incremento com ajuste quadrático no número

de colmos em função da fertilização nitrogenada, atingindo ponto de máximo (14,7 e 14,0) na dose de 156 e 135 kg ha<sup>-1</sup> de N aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar, respectivamente (**Figura 23 b**).

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância para diâmetro dos colmos (D.C.), altura e número dos colmos (N.C.) em função da aplicação de nitrogênio aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Nitrogênio Kg ha <sup>-1</sup>	D.C. mm	Altura cm	N.C. m <sup>-1</sup>
Quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar			
0	25,72	170	11
60	27,36	168	12
120	28,61	183	15
180	26,47	160	18
240	26,64	170	15
Teste F	3,67*	6,26**	7,56**
Média Geral	26,96	170	13,85
C.V. (%)	4,2	4,0	14,8
-----Teste F-----			
R.L.	0,28 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>ns</sup>	18,11**
R.Q.	8,84*	1,35 <sup>ns</sup>	4,66 <sup>ns</sup>
D.R.	3,35 <sup>ns</sup>	20,38**	0,14 <sup>ns</sup>
Nove meses após a brotação da cana-de-açúcar			
0	27,43	228	13
60	28,62	241	13
120	28,89	246	16
180	30,16	234	14
240	31,22	245	14
Teste F	31,29**	0,02 <sup>ns</sup>	4,86*
Média Geral	29,26	239	14
C.V. (%)	1,8	6,3	7,1
-----Teste F-----			
R.L.	121,79**	-	5,07*
R.Q.	0,57 <sup>ns</sup>	-	5,99*
D.R.	2,04 <sup>ns</sup>	-	8,16*

\*\*; \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste F, respectivamente. R.L. – Regressão linear; R.Q. – Regressão quadrática e D.R. – Desvio de regressão.



**Figura 23** – Diâmetro dos colmos (D.C.) (a) e número de colmos (N.P.) (b) em função da aplicação de nitrogênio aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\* e \* - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

ALVAREZ & CASTRO (1999), em cana-de-açúcar de primeira soqueira, verificaram que o diâmetro dos colmos aos 120 dias após a colheita foi de 24 mm, valor esse um pouco abaixo do observado no presente trabalho (28,4 mm). O diâmetro aumentou de 25,87 para 28,4 aos quatro meses e de 27,4 para 31,0 aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar, confirmando o efeito benéfico da aplicação de nitrogênio no aumento do diâmetro dos colmos. ORLANDO FILHO et al. (1999) avaliando o efeito da aplicação de adubos nitrogenados em cana-de-açúcar constataram que a aplicação de nitrogênio reflete em maior vigor das soqueiras, e conseqüentemente aumento da produção nos cortes subseqüentes, entre a cana-de-açúcar com e sem aplicação de nitrogênio. Esses autores observaram, ainda, respostas lineares no crescimento da cultura à aplicação de nitrogênio até a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho.

Nota-se que a melhor dose de nitrogênio proporcionou aumento no número e no diâmetro dos colmos de 48 e 10% aos quatro meses e de 12 e 13% aos nove meses após a brotação da segunda soqueira de cana-de-açúcar, comparado a testemunha (sem a aplicação do nutriente). Esses resultados confirmam observações de WEBER et al. (2001) que constataram aumento do número de colmos, elevando de 9,2 colmos m<sup>-1</sup>

de sulco de cana-de-açúcar na ausência da aplicação de nitrogênio para 10,3 colmos  $m^{-1}$  de sulco de cana-de-açúcar na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

O aumento no número de colmos com a aplicação de N é justificada pelo importante efeito do nitrogênio na taxa de perfilhamento das culturas (MALAVOLTA, 2006) e ainda corrobora com ESPIRONELO (1989), onde relata que a aplicação de nitrogênio melhora o perfilhamento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar (folha mais longa e larga de coloração verde intensa e menos áspera).

Observa-se que a altura das plantas aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar aumentou de 170 cm, na ausência da aplicação de nitrogênio, para 183 cm com aplicação de N igual a  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , representando aumento de 8%, embora não seja explicado pelos métodos de regressão de 1º e 2º grau (**Tabela 10**). Resultados semelhantes foram obtidos por FONSECA et al. (2008) avaliando a resposta da cana-planta a aplicação de nitrogênio, concluíram que a aplicação de N ( $0-120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) promove efeito linear na altura das plantas de cana-de-açúcar, que deve ter sido devido ao aumento no comprimento dos gomos (ORLANDO FILHO, 1983).

ALVAREZ & CASTRO (1999) observaram 23 perfilhos de cana  $m^{-1}$  de sulco aos 131 dias e 14 perfilhos  $m^{-1}$  de sulco aos 167 dias após a colheita de cana-crua. Neste sentido observa-se diminuição no número de perfilhos com o desenvolvimento da cultura, sendo que aos quatro meses após a aplicação dos tratamentos foi obtido 15 colmos  $m^{-1}$  de sulco e aos nove meses após a aplicação dos tratamentos caiu para 14 colmos  $m^{-1}$  de sulco com a mesma dose ( $137 \text{ kg ha}^{-1}$  de N).

TEIXEIRA (2005) avaliando as respostas da cana-de-açúcar a aplicação de nitrogênio e potássio, verificou que o nitrogênio não apresentou diferença no aumento do número dos colmos, no entanto, segundo o autor a maior dose de N ( $250 \text{ kg ha}^{-1}$ ) refletiu na produção de 7 colmos  $m^{-1}$  de sulco, contra 6,0 colmos  $m^{-1}$  de sulco na testemunha, representando um ganho de 12% no número de colmos. Esses valores estão um pouco abaixo dos observados no presente trabalho (15 e 14 perfilhos  $m^{-1}$  de sulco aos quatro e aos nove meses após a brotação), possivelmente em virtude das diferentes épocas de avaliação.

FRANCO (2008) em cultivo de cana-de-açúcar também observou que a aplicação de nitrogênio promoveu incremento na parte aérea refletindo em maior massa seca, devido aos efeitos benéficos das adubações nitrogenadas no crescimento radicular, proporcionando maior absorção de água e nutrientes.

### 5.6. Efeito dos tratamentos na produção da cana-de-açúcar

Observa-se efeito significativo da aplicação de nitrogênio na produção da cana-de-açúcar (**Tabela 11**).

**Tabela 11.** Resumo da análise de variância da produção de colmos de cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio. Matão-SP, 2008

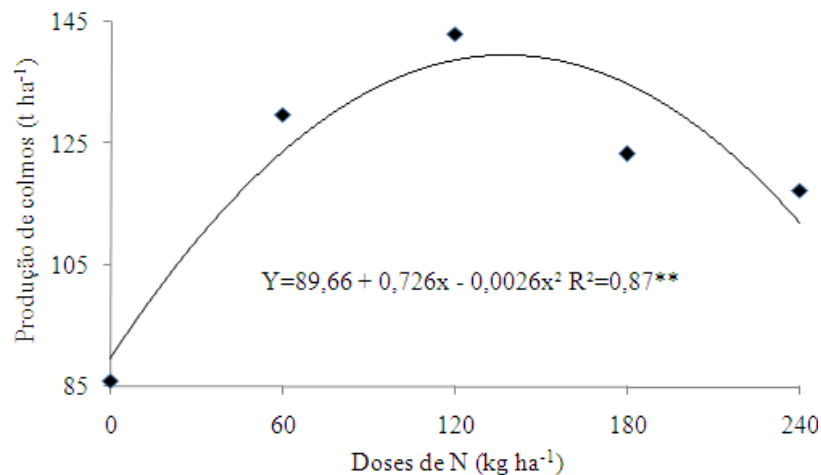
Nitrogênio	Produção (t ha <sup>-1</sup> )
kg ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>
0	85,91
60	129,86
120	143,05
180	123,25
240	117,25
Teste F	24,12**
Blocos	1,11 <sup>ns</sup>
Média Geral	115,42
C.V. (%)	7,22
	Teste F
R.L.	16,77**
R.Q.	67,29**
D.R.	1,83 <sup>ns</sup>

\*\*; \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1% e a 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste F, respectivamente.  
R.L. – Regressão linear; R.Q. – Regressão quadrática e D.R. – Desvio de regressão.

Verifica-se que a aplicação de N promoveu aumento com ajuste quadrático na produção de cana-de-açúcar, sendo o máximo (140 t ha<sup>-1</sup>) obtido com a dose de 138 kg ha<sup>-1</sup> de N (**Figura 24**).

O efeito do nitrogênio no aumento da produção de colmos da soqueira da cana-de-açúcar é reflexo do efeito desse nutriente no crescimento da planta. Pois se verificou que a dose de 138 kg ha<sup>-1</sup> de N correspondeu a maior produtividade da cana-de-açúcar

esta próxima as doses que promoveram o maior diâmetro dos colmos (159 kg ha<sup>-1</sup> de N) (**Figura 23 a**), e o maior número de colmos (156 kg ha<sup>-1</sup> de N) (**Figura 23 b**) aos quatros meses após a brotação da cana-de-açúcar e ao maior número de colmos (137 kg ha<sup>-1</sup> de N) (**Figura 23 a**) aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar.



**Figura 24** – Produção de colmos da cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio (médias de quatro repetições). \*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

No presente trabalho a aplicação de N promoveu aumento de 40% na produção da cana-de-açúcar se comparado à testemunha (**Figura 24**). O efeito benéfico da aplicação de nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar corrobora os resultados obtidos por ORLANDO FILHO et al. (1999).

Resultados semelhantes foram obtidos por ALVAREZ et al. (1963), constatando que a aplicação de nitrogênio em cobertura de cana-soca, com despalha a fogo, promoveu aumento de 5% na produção da cana-de-açúcar com a aplicação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N se comparado a testemunha. Em cana-de-açúcar, sem despalha a fogo, CARDOSO (2002) observou que a redução na aplicação de nitrogênio de 100 para 30 kg ha<sup>-1</sup> causou queda drástica no rendimento dos colmos.

VITTI et al. (2007), em experimento com soqueira de cana-de-açúcar, colhida sem queima, avaliando o efeito da aplicação de cinco doses de N (35 até 175 kg ha<sup>-1</sup>),

constataram diferença de 100%, na produção de colmos na 2<sup>o</sup> soca entre a maior dose de N e a testemunha, na safra seguinte essa diferença na produção foi de 50%, e portanto esses resultados estão próximos do obtido no presente trabalho (56%). Neste sentido, FARONI (2008) em experimento com cana-de-açúcar avaliando a resposta da cultura a aplicação de N (0-120 kg ha<sup>-1</sup>) em duas áreas distintas também observou aumento de produtividade da cultura com a aplicação desse nutriente.

CARDOSO (2002) observou que a redução na aplicação de nitrogênio de 100 para 30 kg ha<sup>-1</sup> resultou em queda de 30% na produção de cana-soca (40 t ha<sup>-1</sup>) e TEODORO (2007) verificou que a ausência da aplicação de N promoveu redução de 16% na produção da cana-de-açúcar (soqueira), corroborando os efeitos benéficos da aplicação de N na produção da cultura observados no presente trabalho.

A resposta da cana-de-açúcar à aplicação de altas doses de N (até 138 kg ha<sup>-1</sup>) possivelmente ocorreu em virtude do sistema de colheita sem o uso da despalha a fogo ter sido implantado a poucos anos (6 anos na área e lavoura de segunda soqueira) e assim, para degradação da palhada, tem-se grande imobilização de N, aumentando a exigência de aplicação de nitrogênio (VITTI, 2003). Neste sentido, TEODORO (2007) relata que em longo prazo, o solo pode acumular N orgânico quando a cana-de-açúcar é manejada sem despalha a fogo, mas, em curto prazo, o aporte de resíduos com alta relação C:N pode aumentar a demanda por N mineral. Para esse autor, a diminuição das reservas de N do solo ao longo dos ciclos e o tempo necessário para a formação do reservatório de N fazem com que a soqueira de cana-de-açúcar tenha uma dependente maior em nitrogênio. Assim, se em determinado ano não for realizada a adubação da soqueira da cana-de-açúcar com nitrogênio, não será apenas a produtividade daquela safra afetada, mas também o efeito ocorrerá nos anos seguintes, refletindo na menor longevidade do canavial.

Possivelmente a alta produtividade observada no experimento (média igual a 115,9 t ha<sup>-1</sup>) (**Tabela 11**) se deve aos efeitos benéficos da palhada, conforme explicados por FARONI (2008) tais como: aumento na disponibilidade de nutrientes ao longo dos ciclos agrícolas, aumento do teor de matéria orgânica do solo, com isso maior retenção e estabilidade no fornecimento de água e aumento da atividade das macro e

micro faunas do solo. Também notou-se ao longo do período experimental que não houve restrições hídricas e de temperaturas baixas, exceto no mês de julho (**Figura 28 e 29**). Portanto, o período de estresse foi relativamente curto e provavelmente a presença da palha minimizou esse efeito na planta.

Verifica-se que a dose que promoveu a maior produção de cana-de-açúcar (138 kg ha<sup>-1</sup> de N) proporcionou acúmulo nas folhas verdes de N, P, K, Ca, Mg e S (95,0; 13,2; 153,6; 29,9; 14,0 e 369,7 kg ha<sup>-1</sup>) e de Cu e Mn (50 e 1085 g ha<sup>-1</sup>). O acúmulo de N, P, K e S, nos colmos, estão um pouco acima dos valores relatados por ROSSETO et al. (2008) (60; 8; 96 e 18 kg ha<sup>-1</sup>) e acúmulo de Ca, Mg, Cu e Mn, nas folhas verdes, estão um pouco acima dos observados por ORLANDO FILHO (1993) (40; 16; 105 e 1420 g ha<sup>-1</sup>). Possivelmente, essas diferenças se devem as cultivares diferentes (MENDES, 2006) condições edafoclimáticas, produtividades distintas e o efeito de diluição (JARRELL & BEVERLY, 1981).

Para o colmo, a dose que promoveu maior produção da cana-de-açúcar (138 kg ha<sup>-1</sup> de N) proporcionou acúmulo nos colmos de N e P (96,9 e 10,5 kg ha<sup>-1</sup>), e de B e Mn (277 e 1506 g ha<sup>-1</sup>), ressalta-se que o acúmulo desses nutrientes está dentro da faixa relatada por ROSSETO et al. (2008) (50-120 e 4-32 kg ha<sup>-1</sup>, e 149 e 1052 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

### 5.7. Efeito dos tratamentos na produção de fitomassa pela cana-de-açúcar

Observa-se efeito significativo da aplicação de nitrogênio na produção de fitomassa das folhas secas (F.S.), das folhas verdes (F.V.) e dos colmos (C.) (**Tabela 12**).

Verifica-se que a aplicação de N promoveu aumento com ajuste quadrático na produção de fitomassa das F.S, F.V. e dos colmos, sendo as doses de 117, 105 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N as responsáveis pelos pontos de máximo de 2,39; 12,16 e 44,01 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (**Figura 25**).

A produção de fitomassa média das F.S. (1,9 t ha<sup>-1</sup>), F.V. (9,8 t ha<sup>-1</sup>) e dos colmos (38,7 t ha<sup>-1</sup>) (**Tabela 12**) estão diferentes das observadas por FARONI (2008)

em experimento com cana-soca os quais obteve (9,49; 4,80 e 26,7 t ha<sup>-1</sup>), respectivamente, possivelmente as diferenças de produção de fitomassa das F.S. e F.V. se devem aos critérios distintos do que foi consideradas folha seca e verde, e a maior produção de fitomassa de colmo no presente trabalho seguiu a alta produtividade nesta área de cultivo de cana-de-açúcar (**Tabela 11**). Além disso, o sistema de cultivo, variedades e dose de N também podem interferir sobre a produção de fitomassa (TRIVELLIN et al., 1996).

**Tabela 12.** Resultados médios da produção de fitomassa das folhas secas, das folhas verdes e dos colmos da segunda soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

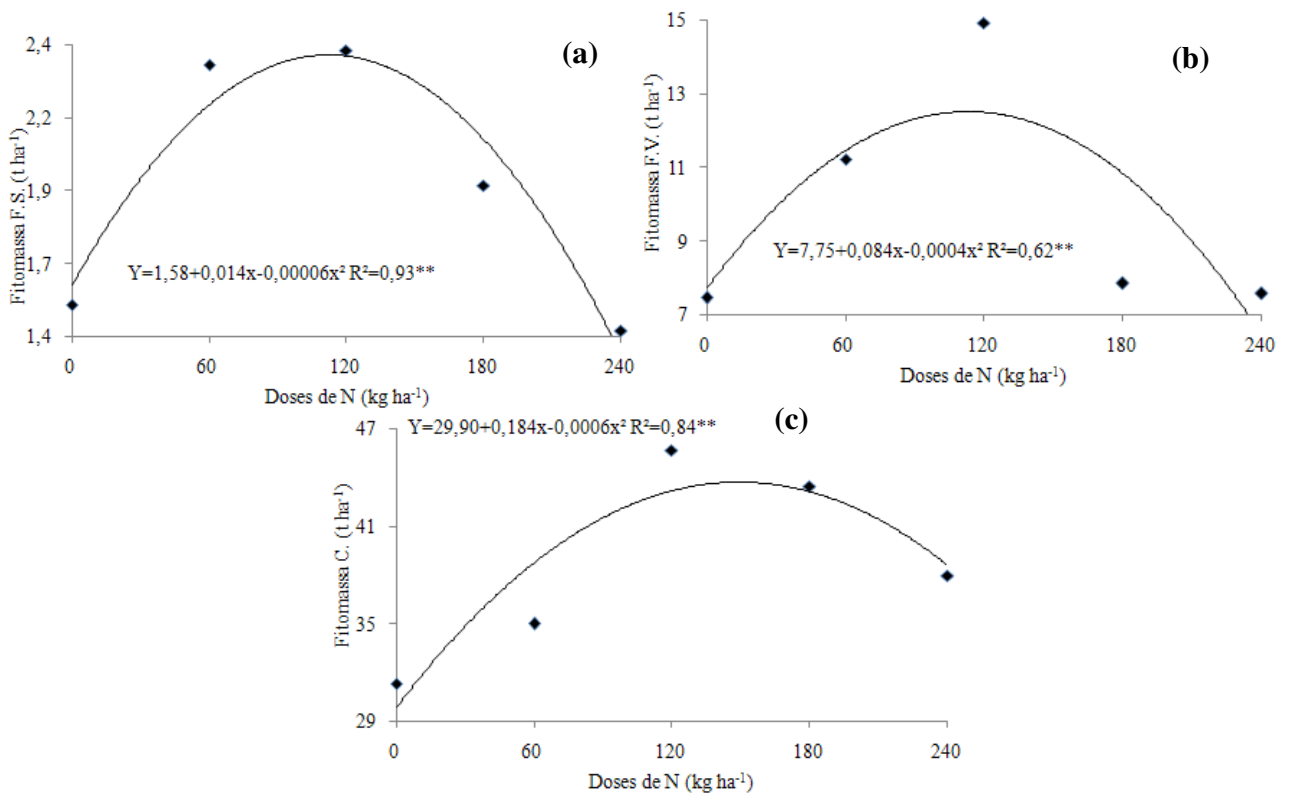
Nitrogênio kg ha <sup>-1</sup>	Folhas secas	Folhas verdes	Colmos
	-----t ha <sup>-1</sup> -----		
0	1,51	7,47	31,34
60	2,33	11,21	35,01
120	2,38	14,91	45,66
180	1,92	7,86	43,48
240	1,42	7,59	37,99
Teste F	12,19**	54,40**	14,12**
C.V. (%)	13,4	8,9	8,1
	-----Teste F-----		
R.L.	2,12 <sup>ns</sup>	4,96*	19,17**
R.Q.	43,36*	129,85**	28,01**
D.R.	0,05 <sup>ns</sup>	58,86**	4,98*

\*\*; \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1 e a 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste F, respectivamente. R.L. – Regressão linear; R.Q. – Regressão quadrática e D.R. – Desvio de regressão.

TRIVELLIN et al. (2002b) em cultivo de cana-de-açúcar em vaso observaram comportamento semelhante, isto é, a aplicação de N também promoveu aumento da produção de colmos, folhas verdes e folhas secas.

Possivelmente a produção de fitomassa de colmos diminuiu a partir da dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N devido a outros fatores limitantes, tais como potencial produtivo da variedade, interferência de altas doses de N na macro e microfauna do solo e a limitação pela absorção de outros nutrientes, neste sentido podemos destacar que a aplicação de N promoveu acidificação do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de

profundidade (**Figura 14 a**) o que levou a diminuir a disponibilidade de Ca e Mg nessas camadas do solo (**Figuras 14 d; e**) o que proporcionou uma menor absorção desses nutrientes (**Figuras 18 a; b**). Além da aplicação de N promover o menor teor desses nutrientes também diminuiu o teor de B (**Figura 19 a**), podendo assim ter limitado a produção de fitomassa de cana-de-açúcar.



**Figura 25** – Fitomassa das folhas secas (F.S.) **(a)**, das folhas verdes (F.V.) **(b)** e dos colmos (C.) **(c)** em função da aplicação de nitrogênio na segunda soqueira de cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Verifica-se que a aplicação de N promoveu maior vigor das plantas de cana-de-açúcar, pois conforme se aplicou N aumentou a quantidade de folhas verdes (**Figura 25 b**), confirmando o efeito benéfico da aplicação de N na produção de área verde (MALAVOLTA, 2006).

### 5.8. Efeito dos tratamentos na qualidade, no rendimento bruto de açúcar e álcool da cana-de-açúcar

Para as variáveis tecnológicas do colmo, houve efeito da aplicação de nitrogênio apenas no rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) e no rendimento bruto de álcool (RBA) (**Tabela 13**). Salieta-se que o coeficiente de variação foi abaixo de 10, exceto para açúcares redutores, considerado como baixo por GOMES (1970), o que indica bom controle sobre as variações do acaso.

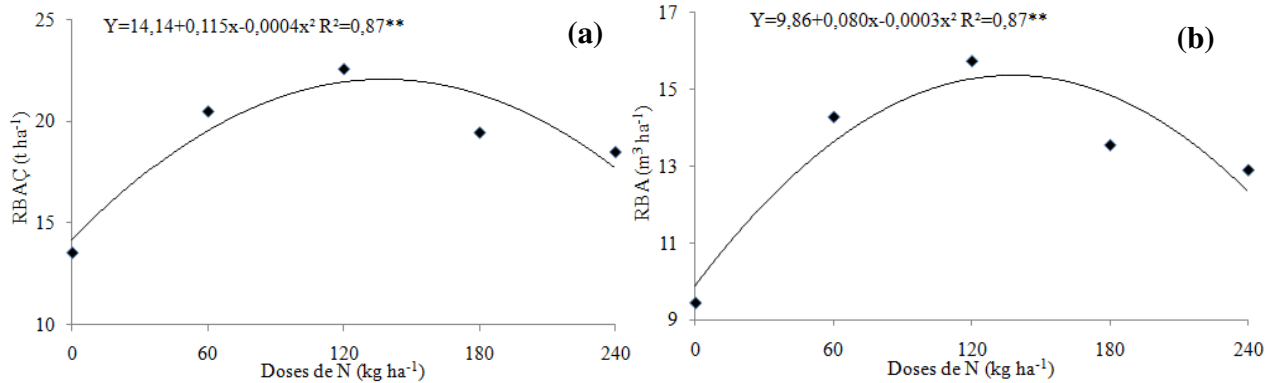
**Tabela 13.** Resumo da análise de variância (quadrado médio) para leitura dos açúcares redutores (AR), °Brix, do teor de sacarose (Pol % cana), da fibra, pureza do caldo (PCC), do açúcar teórico recuperável (ATR), peso do bolo úmido (PBU), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) e rendimento bruto de álcool (RBA) em função da aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. Matão-SP, 2008

Doses de Nitrogênio	AR	°Brix	Pol	Fibra	Pureza	PCC	ATR	PBU	RBAÇ	RBA
Kg ha <sup>-1</sup>	-----%-----					---kg ha <sup>-1</sup> ---			t ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
0	0,39	20,79	18,68	13,35	89,8	15,45	151,36	155,87	13,55	9,45
60	0,43	20,73	18,60	13,24	89,70	15,42	151,07	154,53	20,48	14,28
120	0,56	20,27	18,01	13,64	88,81	14,82	145,61	159,55	22,56	15,73
180	0,45	20,79	18,64	13,40	89,61	15,41	151,05	156,50	19,44	13,56
240	0,47	20,58	18,47	13,08	89,70	15,34	150,41	152,55	18,49	12,90
Teste F	1,01 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	24,16 <sup>**</sup>	24,05 <sup>**</sup>
Média	0,46	20,64	18,48	13,34	89,52	15,29	149,90	155,80	18,91	13,18
C.V. (%)	28,3	3,2	4,2	4,0	1,1	4,3	4,1	4,3	7,2	7,2
-----Teste F-----										
R.L.	-	-	-	-	-	-	-	-	16,79 <sup>**</sup>	16,79 <sup>**</sup>
R.Q.	-	-	-	-	-	-	-	-	67,40 <sup>**</sup>	67,06 <sup>**</sup>
D.R.	-	-	-	-	-	-	-	-	1,83 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>

\*\* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1% de probabilidade e não significativo pelo teste F, respectivamente. D.P. – Desvio padrão; R.L. – Regressão linear; R.Q. – Regressão quadrática e D.R. – Desvio de regressão.

Verificou-se que a aplicação de N promoveu aumento com ajuste quadrático no RBAÇ e no RBA, sendo as doses de 144 e 133 kg ha<sup>-1</sup> de N as responsáveis pelos pontos de máximos de 22 t ha<sup>-1</sup> e 15 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente (**Figuras 26 a; b**). Possivelmente esses resultados se devem a maior produtividade da cana-de-açúcar ter

sendo obtida com a aplicação de  $138 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (**Tabela 13**).



**Figura 26** – Rendimento bruto de açúcar (a) e rendimento bruto de álcool (b) em função da aplicação de nitrogênio na segunda soqueira de cana-de-açúcar (médias de quatro repetições). \*\* - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

O aumento no RBAÇ e no RBA com a aplicação de N também foi observada por CARVALHO et al. (2009) onde verificaram que aplicação de  $112 \text{ kg ha}^{-1}$  de N proporcionou os maiores rendimentos ( $13,7 \text{ t ha}^{-1}$  e  $9,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), respectivamente. Neste sentido, observa-se que o RBA ( $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foi maior do que o obtido por AZEREDO (2002) ( $10,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) e por SILVA (2003) ( $10,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), possivelmente em função do ambiente de cultivo, produtividade e da variedade serem diferentes do presente trabalho.

Sabe-se que a qualidade do caldo da cana-de-açúcar varia em função das variedades do sistema de manejo da palhada da soqueira da cana colhida sem queima e também da nutrição mineral da planta (SOUZA et al., 2005), mas, como ocorre aumento da produtividade da cana-de-açúcar com a aplicação de N, pode ocorrer diluição na concentração do açúcar e das outras variáveis indicadoras da qualidade da cana-de-açúcar, não sendo possível verificar aumento da qualidade da cultura com aplicação de N. No entanto, quando é feito o cálculo para RBAÇ observa-se aumento da qualidade da cana-de-açúcar por área com a aplicação de N conforme obtido por ESPIRONELLO et al. (1981).

KORNDÖRFER & MARTINS (1992) relatam que ocorre aumento linear na quantidade de açúcar produzida por hectare com as doses de N, diferindo em partes dos resultados obtidos no presente trabalho, pois verifica-se que a aplicação de N aumentou a produção de açúcar por hectare com ajuste quadrático. Ainda segundo esses autores, a aplicação de N também resulta em aumento na umidade dos colmos, levando à redução no teor de sacarose, fato esse não observado neste experimento.

CAMPANHÃO et al. (2005), em soqueira de cana-de-açúcar, verificaram que a aplicação de nitrogênio não afetou diretamente a Pol da cana, todavia, afetou a produtividade e conseqüentemente a Pol em t ha<sup>-1</sup>. Neste sentido, PRADO & PANCELLI (2006) observaram que a aplicação de nitrogênio não afetou a qualidade da primeira soqueira da cana-de-açúcar, entretanto, no segundo corte aumentou a Pol e o rendimento teórico recuperável, corroborando os resultados obtidos no presente trabalho.

Desta forma, os resultados obtidos são confirmados por COSTA et al. (2003), onde verificaram que a aplicação de nitrogênio (até 100 kg ha<sup>-1</sup>) não afetou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. A aplicação de lodo de esgoto como fonte de N, em cana-de-açúcar também não afetou as qualidades tecnológicas como Brix, Pol e Fibra (MARQUES, 1996). Discordando dos resultados obtidos por HART (1970) que observou que o aumento da aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar, promove redução de açúcares redutores dos colmos.

SILVEIRA & CROCOMO (1990) observaram decréscimos no teor de sacarose em plantas que se desenvolveram com a aplicação de altas doses de N, diferindo dos resultados obtidos no presente trabalho. MALAVOLTA (2006) relata que o uso de fertilizantes nitrogenados em cana-de-açúcar promove menor armazenamento de açúcar visto que os esqueletos carbônicos são consumidos para vegetar mais. A ausência desse efeito no presente trabalho, mesmo em altas doses de N, pode ser explicado devido ao fato que o excesso de N não promoveu incremento excessivo na fitomassa vegetativa e assim verificar decréscimos (**Figuras 25 a; b**).

MENDES (2006) observou que as cultivares RB 52-5536 e RB 86-7515 foram as que apresentaram os melhores valores por tonelada de sacarose aparente por hectare

(124,0 e 128,3 t ha<sup>-1</sup>), valores muito próximos aos observados no presente experimento (149,5 t ha<sup>-1</sup>) com a variedade SP 83-2847, e esta acima do RBAÇ observado por SOUZA et al. (1999) que foi de 19,3 t ha<sup>-1</sup>.

MOURA et al. (2005), em experimento avaliando a resposta da cana-de-açúcar a aplicação de nitrogênio, verificaram que a maior produção (92 t ha<sup>-1</sup>) o maior RBAÇ (13,2 t ha<sup>-1</sup>) e o maior RBA (9,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) foram obtidos com a aplicação de 236 kg ha<sup>-1</sup> de N, evidenciando o efeito benéfico da aplicação de N nessas variáveis.

Possivelmente a qualidade da cana-de-açúcar não foi alterada mesmo com o aumento da produtividade devido os teores de P e K não terem diminuído (**Tabela 9**) com o aumento da produção. Pois o teor de açúcar em cana-de-açúcar depende da disponibilidade de potássio, pois ele é um nutriente que mesmo não fazendo parte de qualquer composto nas plantas, de forma livre regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, formação de amido e síntese protéica (MALAVOLTA, 2006).

### **5.9. Efeito dos tratamentos no fator econômico da segunda soqueira de cana-de-açúcar**

A aplicação de nitrogênio na forma de nitrato de amônio promoveu efeito significativo no incremento líquido (I.L.), no valor líquido de produção (V.L.P.), na receita líquida (R.L.) e na relação benefício/custo (R.B.C.) em cana-de-açúcar (**Tabela 14**).

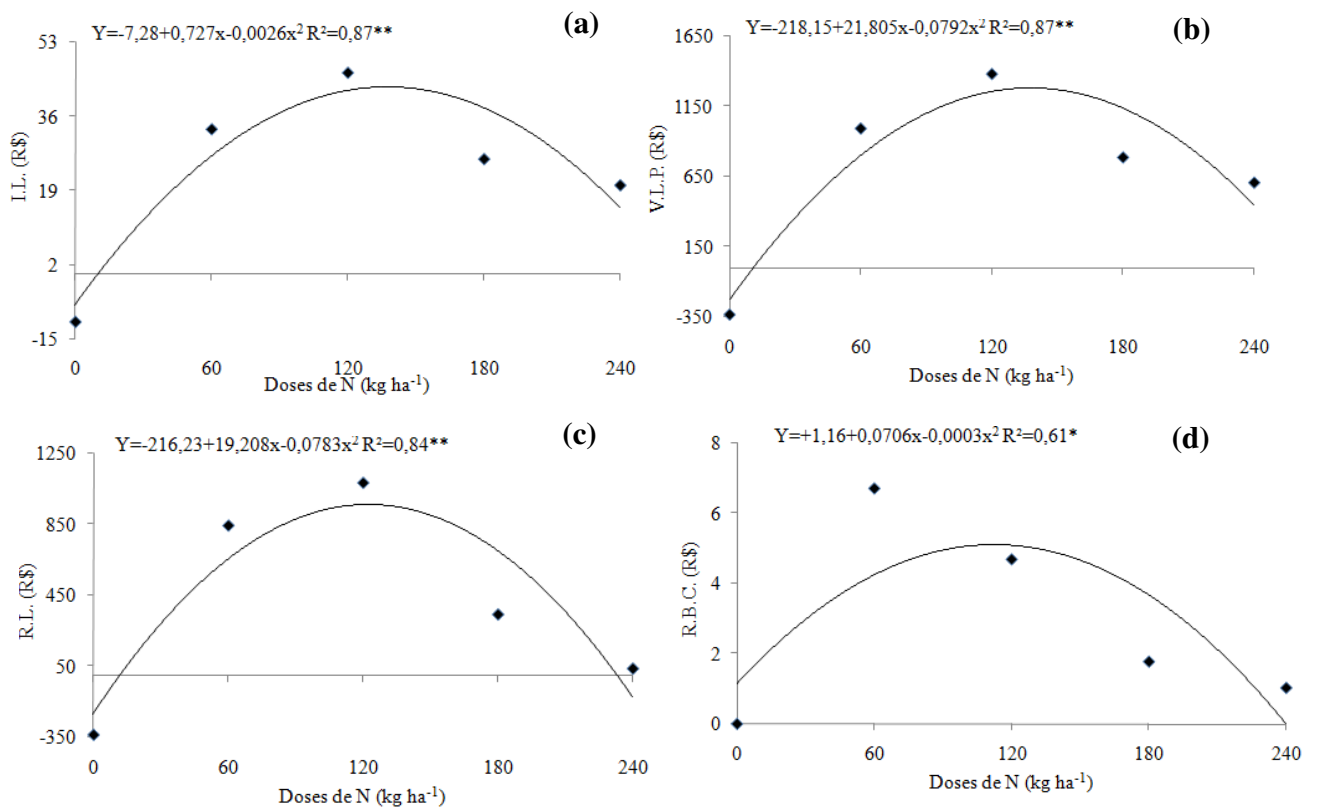
A aplicação de N na segunda soqueira de cana-de-açúcar promoveu efeito com ajuste quadrático no I.L., sendo o máximo (R\$ 43,5) obtido com a aplicação de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N, observa-se ainda que na dose zero o I.L. foi negativo (R\$ -7,3) e a aplicação da dose adequada de N resultou em aumento da ordem de 700% no I.L. (**Figura 27 a**).

Para o V.L.P., verifica-se aumento com ajuste quadrático em função da aplicação de N, sendo o ponto de máximo (R\$ 1282,7) obtido com a aplicação de 138 kg ha<sup>-1</sup> de N, dose esta responsável por aumentar em 690% o V.L.P. (**Figura 27 b**).

**Tabela 14.** Efeito da aplicação de nitrogênio no incremento líquido (I.L.), no valor líquido de produção (V.L.P.), na receita líquida (R.L.) e na relação benefício/custo (R.B.C) na segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	I.L.	V.L.P.	R.L.	R.B.C.
	-----R\$-----			
60	-11,1	-332,7	-332,7	0
120	33,1	992,9	845,5	6,7
180	46,1	1381,0	1086,1	4,7
240	26,3	787,3	345,0	1,8
Média	22,9	687,1	396,8	2,8
Teste F	147,27**	146,73**	124,08**	492,15**
C.V. (%)	15,3	15,35	26,18	8,83

\*\* - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.



**Figura 27** – Incremento líquido (I.L.) (a), valor líquido de produção (V.L.P.) (b), receita líquida (R.L.) (c) e relação benefício/custo (R.B.C.) (d) na segunda soqueira de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio (médias de quatro repetições). \*\*, \* - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. Matão-SP, 2008

Para a R.L. a aplicação de N proporcionou aumento com ajuste quadrático, sendo a dose de  $123 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, responsável pelo ponto de máximo (R\$ 961,8) (**Figura 27 c**). Observa-se ainda que na ausência da aplicação de nitrogênio na segunda soqueira da cana-de-açúcar a R.L. é negativa (R\$ -216,2) evidenciando que financeiramente é viável e necessário à aplicação de nitrogênio para ser lucrativo o cultivo da cana-de-açúcar.

Para R.B.C, observa-se que a aplicação de N promoveu aumento com ajuste quadrático, apontando a dose de  $118 \text{ kg ha}^{-1}$  de N como a responsável pelo ponto de máximo (R\$ 5,3) (**Figura 27 d**). Sendo assim, a aplicação de N promoveu benefícios financeiros na cultura da cana-de-açúcar da ordem de 5 vezes em relação ao total gasto para obter essa produção.

Observa-se que a dose que proporcionou a maior receita líquida ( $123 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) foi relativamente alta em função da alta produtividade da cultura ( $140 \text{ t ha}^{-1}$ ) proporcionada pela aplicação de N.

Mediante o preço elevado dos fertilizantes nitrogenados e ao baixo da cana-de-açúcar, é recomendado maior atenção à aplicação de nitrogênio, para obter maior produtividade e longevidade do canavial (VITTI et al., 2007), mas é preciso usar de maneira consciente, para que seja economicamente viável essa prática agrícola (CRUZ et al., 2008), pois a aplicação de N acima de  $125 \text{ kg ha}^{-1}$  inicia a diminuição na R.L.

ESPIRONELO (1985), em experimento com cana-de-açúcar no estado de São Paulo em sistema de colheita com despalha a fogo, apontou que a adubação mais econômica está próximo de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, dose essa um pouco abaixo do observado no presente trabalho ( $123 \text{ kg ha}^{-1}$  de N), possivelmente em virtude do avanço tecnológico advindo principalmente do uso de variedades mais eficientes no uso dos fertilizantes ou até mesmo do sistema sem o uso da despalha a fogo (GRAHAM et al., 2000).

CANTARELLA, et al. (2007) apresentaram resultados não publicados de Penatti e Cantarella que em 74 experimentos com cana-de-açúcar sem o uso da despalha a fogo, a dose econômica de N estava em torno de  $75 \text{ kg de N ha}^{-1}$  para as condições do Centro Sul.

TEODORO (2007) trabalhando com doses crescentes de uréia e sulfato de amônio em cana-de-açúcar, sem o uso da despalha a fogo, em Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico, verificou que a máxima eficiência econômica foi obtida com a aplicação de 96 e 92 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, valores esses um pouco abaixo dos observados, possivelmente em virtude da variedade, do fertilizante utilizado e do local de cultivo.

A discussão da dose econômica de N em sistema de colheita mecanizada ficou prejudicada pelas poucas informações a respeito da cultura nesse novo sistema de colheita e pelo fato que a dose econômica é muito variável pela alta variação nos preços dos produtos (custo do fertilizante e da cana-de-açúcar ao longo do cultivo) e pelo curto período de avaliação de um ano.

## 6. CONCLUSÕES

A aplicação de nitrogênio incrementou a concentração de amônio e nitrato no solo, o acúmulo de nitrogênio, o crescimento e a produção da cana-de-açúcar.

A dose de  $138 \text{ kg ha}^{-1}$  de N proporcionou a máxima produção de colmos ( $140 \text{ t ha}^{-1}$ ).

## 7. REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2009: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2009.
- ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C. Crescimento de cana crua e queimada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1069-1079, 1999.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J. BLOTTA, R. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 33, p. 17-28, 1995.
- ALVAREZ, R.; WUTKE, A.C.P.; ARRUDA, H.V.; RAIJ, B.V. GOMES, A.C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em latossolo roxo. **Bragantia**, Campinas, v. 50, p. 359-374, 1991.
- ALVAREZ, R.; SEGALLA, A. L.; WUTKE, A. C. P. Adubação da cana-de-açúcar. VIII. Adubação mineral em solos Massapê-Salmourão (1957-58). **Bragantia**, Campinas, v. 22, p. 657-675, 1963.
- ALVES, T.A. **Caracterização da cana-de-açúcar- Perspectivas do Setor Sucroalcooleiro na Região da Alta Noroeste Paulista**. UNESP, Ilha Solteira, 2004.
- AMOR ASSUNCIÓN, M.J. Determinación de Azotobacter em cajás de solico-gel sin secado. **Ciencia Y Investigacion Agraria**, Santiago, v. 21, p. 368-370, 1965.
- ANDRADE, L.A.B. Cultura da cana-de-açúcar In: **Produção artesanal de cachaça de qualidade**. Lavras: UFLA, 2003
- ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B.; FIGUEIREDO, P. A. M. Avaliação do potencial industrial de duas variedades de cana-de-açúcar (cana-soca), sob diferentes doses de nitrogênio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: SBGS, 1998. p. 87.

- ANTWERPEN, R. van; THORBURN, P.J.; HORAN, H.; MEYER, J. H.; BEZUIDENHOUT, C. The impact of trashing on soil carbon and nitrogen: II: implications for sugarcane production in South Africa. **Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association**, Durval, v. 76, p. 269-280, 2002.
- ARAÚJO, A.R.A.; CARVALHO, J.L.N.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 537-541, 2004.
- AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta: doses e fracionamento. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 6, p. 26-33, 1986.
- AZEREDO, H.M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 112f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.
- AZIA, F. STEWART, K.A. Relationships between extractable chlorophyll and spad values in muskmelon leaves. **Journal Plant Nutrition**, Madison, v. 24, p. 961-966, 2001.
- 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. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, p. 235-248, 2003.
- BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., GALLO, J.R., **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. p. 48. (Circular, 78).
- BEAUCLAIR, E.G.F. **Relações entre algumas propriedades químicas do solo e a produtividade da cana-de-açúcar através de regressão linear múltipla**. 1994. 90 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanco nacional da cana-de-açúcar e agroenergia 2007**. Brasília, 2007. 139 p.
- BITTENCOURT, V. C.; FAGFANELLO, B. F.; SALATA, J. C. Eficiência da aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar (planta). **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 6, p. 20-26, 1986.
- 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.

- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal Production Agriculture**, Madison, v. 8, p. 56-60, 1995.
- BRUM, A.C.R. **Efeito de manejo e exploração agrícola na densidade populacional de bactérias nitrificadoras, em solo da unidade de mapeamento Santo Ângelo**. 1975. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1975).
- CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: Uréia (<sup>15</sup>N) e aquamônio (<sup>15</sup>N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Estado Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solo do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106).
- CAMPANHÃO, J.M.; BARBOSA, V.; DURIGAN, A.M.P.R.; MUTTON, M.A. Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida a queima acidental da palhada remanescente da colheita mecanizada. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 23, p. 33-37, 2005.
- CAMPBELL, I. B. **Balanco de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 1998. 112f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O. SCHNITZER, M. SELLES, F.; ZENTNER, R.P. Effect of 6 years of zero tillage and N fertilizer management on changes in soil quality of an Orthic Brown Chernozem in Southwestern Saskatchewan. **Soil and Tillage Research**, v. 14, p. 39-52, 1989.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M. REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.
- CANTARELLA, H. Aplicação de nitrogênio em sistema de cana crua. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 16, p. 21-22. 1998.
- CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, O. PRIMAVESI, A.C. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2002. p. 99-132.

- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. Van. Aplicação de nitrogênio no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENA DA NO BRASIL, 1984, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986. p. 47-79.
- CANTARELLA, H.; TRIVELLIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira**. Piracicaba: International plant nutrition institute, 2007. p. 355-413.
- CARDOSO, F.P. Plantio direto em cana-de-açúcar. **Direto no Cerrado**, Passo Fundo, v. 7, p. 4, 2002.
- CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 7, p. 24-41, 1990.
- CARRERES, R.; SENDRA, J.; BALLESTEROS, R.; CUADRA, J.G. Effects of pre-flood nitrogen rate and midseason nitrogen timing on flooded rice. **Journal of Agricultural Science**, Melbourne, v. 134, n. 4, p. 379-390, 2000.
- CARVALHO, C.M.; AZEREDO, H.M.; NETO, J.D.; FARIAS, C.H.; SILVA, C.T.S.; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 4, n.1, p. 72-77, 2009
- CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.
- CESAR, M. A. A.; SILVA, F. C. **A cana-de-açúcar de açúcar como matéria prima para a indústria sucroalcooleira**. Piracicaba: ESALQ, USP, 1993.
- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomic Journal**, Madison, v. 89, n. 1, p. 557-562, 1997.
- CHAPMAN, L.S.; HOGARTH, D.M.; LEVERINGTON, K.C. Does nitrogen fertilizer carry over to succeeding crops In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 22. , 1983, Brisbane. **Proceedings**. Brisbane: Watson Ferguson, 1983. p. 109-114.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 61-67, 1992.
- COLETI, J.T. CASAGRANDE, J.C.; ESTUPIELLO, J.J.L.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em argissolos, variedades RB83-

- 5486 e SP81-3250. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 316-332.
- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Amostragem e análise de cana-de-açúcar.** Piracicaba: Centro de Tecnologia COPERSUCAR, 1980. 37p.
- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ALCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de análise de cana-de-açúcar.** São Paulo: Copersucar, 1989. 49p.
- COSTA, M.C.G. **Eficiência agrônômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo.** 2001. 94f. Dissertação (Mestre em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L.; SMITH, D.L. Interrelationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 24, n. 1, p. 1173-1194, 2001.
- COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1503-1514, 2007.
- COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, 2003.
- CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS, J.R.; ALBURQUERQUE, A.W.; PEREIRA, R.G. Aplicação de nitrogênio para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 62-68, 2008.
- DECHEN, A.R.; NAVA, G.; BATAGLIA, O.C. Métodos de avaliação do estado nutricional das plantas para nitrogênio e enxofre. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira.** Piracicaba: International plant nutrition institute – Brasil, 2007. p. 251-275.
- DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane.** Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.
- DOBBIE, K.E.; McTAGGART, I.P.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, and mean

- emission factors. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, Ramaswamy, v. 104, n. 21, p. 26891-26899, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileira de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- ESPINORELLO, A. Aplicação de aquamônia, uréia, nitrato de amônio e cloreto de potássio em cinco níveis, em três socas de cana-de-açúcar. In CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 4., Piracicaba, **Anais...** Olinda: **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, p. 94-102, 1987.
- ESPIRONELO, A.; CAMARGO, A.P.; NAGAL, V.; LEPSCH, I,F, Efeitos de nitrogênio e fósforo como complementação da aplicação da aplicação de vinhaça em soca de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. p.128-139.
- ESPIRONELO, A. **Cana-de-açúcar**, In: Rajj, B.van (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1985.
- ESPIRONELO, A. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar, calagem, estudos iniciais, nitrogênio e potássio em cana-planta. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v.5, p.17-28, 1989.
- FANIZZA, G.; RICCIARDI, L.; BAGNULO, C. Leaf greenness measurements to evaluate water stressed genotypes, *Vitis vinifera*. **Euphytica**, Dordrecht, v. 55, p. 27-31, 1991.
- FARIA, C.M.B.; MORGADO, L.B.; PEREIRA, J.R.; ARAGAO, O.P. Influencia de fontes e níveis de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 849-853, 1983.
- FARONI, C.E. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. 2008. 190f. Tese (Doutor 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 (<sup>15</sup>N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003. 1 CD-ROM.
- FONSECA, I.M.; PRADO, R.M.; VALE, D.W.; AVALHÃES, C.C. ROCHA, F.G.F., BARBOSA, M.P.; MARCUSSI, S.A. Crescimento inicial da cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio na

- presença e ausência de silício. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2008, Londrina, **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008.
- FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da aplicação de nitrogênio e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 669-674, 2007.
- FRITZ, J. Effects of fertilizer application up on sucrose % cane. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., 1974, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 1984. v. 2, p. 630-663.
- 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 palha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.11, p. 1347-1354, 2001.
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Balanço do nitrogênio da uréia (<sup>15</sup>N) e da palha (<sup>15</sup>N) no sistema solo-cana-de-açúcar (cana-soca). In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TECNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Resumos....** Olinda: STAB, 2002. p. 245-251.
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (<sup>15</sup>N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Sccharum spp.*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 621-630, 2003.
- 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.
- GIRACCA, E.M.N. **Efeito do calcário em atributos biológicos do solo**. 2005. 61f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- GOLDEN, L.E. Nutrient uptake by sugarcane in Louisiana. **Sugar Journal**, New Orleans, v. 23, n. 11, p. 22-24, 1961.
- GOMEZ-ALVAREZ, F. Correlacion entre algunos niveles de nutrientes El La loja de La cana de azucar. **Revista de La Facultad de Agronomia**, Maracay, v. 7, p. 5-12, 1974.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 4.ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 1970. 430p.
- GOMES, J.F.F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2003. 75f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Changes in soil fertility induced by trash retention and fertilizer applications on the long-term trash management trial at Mount Edgecombe. **Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association**, Durban, v. 74, p. 109-113, 2000.
- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, Kingdom, v.34, p. 93-102, 2002.
- GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V., V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, Piracicaba, v. 58, p. 209-216, 1999.
- GTCA Grupo Técnico de Consultoria e Apoio. **Composição química da cana-de-açúcar** (2006). Disponível em: ([www.gtca.com.br](http://www.gtca.com.br)) – Acesso em: 04/out/2008.
- HART, C.E. Effect of nitrogen deficiency upon translocation of <sup>14</sup>C in sugar cane. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 46, p. 419-422, 1970.
- HOEL, B.O.; SOLHAUG, K.A. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Annals of Botany**, London, v. 82, p. 389-392, 1998.
- HVLIN, J.L.; TISDALE, S.L. BEATON, J.D.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515 p.
- JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 34, p. 197-224, 1981.
- KORNDÖRFER, G.H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Editora Ícone, 1994. p. 19-44.
- KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C. CHIMELLO, M.A.; LEONE, P.L.C. Desempenho de variedades de Cana-de-Açúcar cultivadas com e sem Nitrogênio. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002.
- KORNDÖRFER, G. H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar, **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 10, p. 26-31, 1992.
- KORNDÖRFER, G. H.; RAMOS, L.A. Diagnóstico foliar em cana-de-açúcar. In: PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.W.; CORREIA, M.A.R.; SOUZA, H.A. **Nutrição de plantas: diagnóstico foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: CAPES/FUNDUNESP/FCAV, 2008. p. 211-220.

- 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**, Campinas, v. 2, p. 23-26, 1997.
- LIMA, R.M.P. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar quanto à resistência e tolerância ao raquitismo-da-soqueira**. 2008. 66f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2002.
- LUCA, E.F. **Matéria orgânica e atributos do solo em sistema de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**. 2002. 101 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- MAE, T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis and yield potential. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.196, p. 201-210, 1997.
- MAIA, A. B.; CAMPELO, E.A.P. **Tecnologia da cachaça de alambique**. Sebrae/MG; SindBebidas. Belo Horizonte 2006.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992.124p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E. Importância da adubação na qualidade dos produtos – função dos nutrientes na planta. In: SÁ, M.E.; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Editora Ícone, 1994. p. 19-44.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. p. 638.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio enxofre na nutrição mineral de plantas cultivadas. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira**. Piracicaba: International plant nutrition institute, 2007. p. 189-249.
- MALAVOLTA, E.Ç VITTI, G.C.Ç OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 308p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutritional of higher plants**. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MARQUES, O.M. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1996. 111f. Tese (Livre-Docência) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1996.

- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V, V. H.A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5º Aproximação**, Viçosa: CFSEMG. 1999, p. 156.
- MATOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V. Manuseio e conservação de amostras de solo para preservação do nitrogênio inorgânico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 19, p. 423-431, 1995.
- MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2.ed.Viçosa: Editora UFV, 1999, p 2005-251.
- MENDES, L. C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 48p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E.; SIECZKA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **Horticultura and Science**, Alexandria, v. 29, p. 1497-1500, 1994.
- MOURA, M.V.P.S.; FARIAS, C.H.A.; AZEREDO, C.A.V.; NETO, J.D.; AZEREDO, H.M.; PORDEUS, R.V. Doses de aplicação de nitrogênio e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J., (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce Publications, 1994. p. 81-112.
- OITICICA, A. G. R.; MELLO, A. J. P.; MOURA FILHO, G. Resposta da cana-soca a fontes e doses de nitrogênio em área de vinhaça com palhico da cana crua, variedade RB 83-102. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: SBCS/EMBRAPA, 1999.
- OLIVEIRA, P. S. R.; ANDRADE, L. A. B.; VALE, F. R.; CARVALHO, G. J. Influência da aplicação de nitrogênio nas características tecnológicas e rendimento industrial de duas variedades de cana-de-açúcar (ciclo de ano). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: SBCS, 1998. p. 94.
- OLIVEIRA, T.K.C.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1079-1087, 2002.

- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. de C.; PENATTI, C.P. Degradação da palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999a.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. de C.; VITTI, A. C. Lixiviação de nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar: experimento em lisímetro. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 18, n. 2, p. 28-31, 1999b.
- ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983, p. 99.
- ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S. & OLIVEIRA, E.A.M. (Eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p.133-146.
- ORTOLAN, M.C. de A. **Perspectivas para o setor sucroalcooleiro**. In: MARQUES, M.O.; MUTTON, M.A.; AZANIA, A.A.P.M.; JUNIOR, L.C.T.; NOGUEIRA, G.A. VALE, D.W. Tópicos em tecnologia sucroalcooleira. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2006. p. 7-16.
- ORLANDO FILHO, J.; CARMELLO, Q.A.C.; PEXE, C.A.; GLORIA, A.N. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 12, p. 7-11, 1994.
- ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Crescimento e adsorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, em função da idade, em solos do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v. 2, n.1, p. 3-127, 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 Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 17, p. 39-41, 1999.
- ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; MURAOKA, T.; ZOTELLI, H.B. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 16, p. n.6, 30-33, 1998.
- OTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à aplicação de nitrogênio**. 2007. 119p. Dissertação (Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura `Luiz de Queiróz` Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- PADOVESE, P.P. **Movimento e perdas de nitrogênio e potássio num solo com cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. 1988. 118f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura `Luiz de Queiróz` Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar – Utilização e cultivo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.1-2.

- PEUKE, A. D.; JESCHKE, W. D. The uptake and flow of C, N and ions between roots and shoots in *Racinus comunis* L. - I: growth with ammonium and nitrate as nitrogen source. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 44, p. 1167-1176, 1993.
- PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 59-65, 1992.
- PLANALSUCAR. **Cultura da cana-de-açúcar**. Manual de Orientação 56p. Piracicaba-SP. 1986.
- PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 408p.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes da cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 129-135, 2002.
- PRADO, R.M.; PANCELLI, M.A. Nutrição nitrogenada em soqueiras e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Sub-Produtos**, Piracicaba, v. 25, n. p. 60-63, 2006.
- PRATES, H.S.; LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M.F. de. O enxofre como nutriente e agente de defesa contra pragas e doenças. **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 115, p. 8-9. 2006.
- PRAZERTSAK, P; FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; SAFFIGNA, P.G.; PROVE, G.G.; REGHENZANI, J.R. Effect of fertilizer placement on nitrogen loss from sugarcane in tropical Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, Dordrecht, v. 62, p. 229-239, 2002.
- PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C. CANTARELLA, H. ARMELIN, M.J.A.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R. **Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross**: eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30).
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A. CANTARELLA, H.; SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 247-253, 2005.
- RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 233-239. (Boletim técnico, 100).
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

- REIS JR., R. A.; MONNERAT, P. H. DRIS norms validation for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 379-385, 2003.
- RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P.; COELHO, C.H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicação de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 30, p. 937-941, 2006.
- ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e aplicação de nitrogênio, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 301-309, 2003.
- ROSSETO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C. **Fertilidade do solo, nutrição e adubação**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882p.
- SANDOVAL-VILLA, M.; GERTAL, E.A.; WOOD, C.W. Tomato leaf chlorophyll meter readings as affected by variety, nitrogen form, and nighttime nutrient solution strength. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v.23, p.649-661, 2000.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Instituto de Economia Agrícola. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo - LUPA 2007/2008**. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>>. Acesso em: 10/jun./2009.
- SHAPIRO, C.A. Using a chlorophyll meter to manage nitrogen applications to corn with high nitrate irrigation water. **Communications Soil Science Plant Analysis**, Philadelphia, v. 30, p.1037-1049, 1999.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A. A. **Biologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1998, p. 236.
- SILVA, C.T.S. da. **Efeito de diferentes níveis de adubação sobre a produção da terceira folha de cana irrigada nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 2003. 62f. Dissertação (Mestre em Fitotecnia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.
- SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983, p. 77-99.

- SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solo brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461-2471, 2000.
- SILVEIRA, J.A.G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. 1985. 152f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 2, p. 7-15, 1990.
- SMITH, F.W.; LONERAGAN, J.E. Interpretation of plant analysis: concepts and principles. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (Ed). **Plant analysisan interpretation manual**. Collingwood: CSIRO Publishing, 1997. p. 2-33.
- SOUZA, E.F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J.A. Função de produção da can-de-açúcar em relação à água para três variedades em campo de Goyatacazes, R.J. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p.28-42, 1999.
- SOUZA, Z.M.; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M. CESARIN, L.G. Manejo de palhada do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1061-1068, 2005.
- SPIRONELLO, A. Aplicação de aquamônia, uréia, nitrato de amônio e cloreto de potássio em cinco níveis, em três socas de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 4., 1987, Olinda. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1987. p. 94-102.
- SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1997. p. 237-239. (Boletim, 100).
- SRIVASTAVA, S.C.; SUAREZ, N.R. Sugarcane. In: WICHMANN, W. (Ed.). **World fertilizer use manual**, Germany, BASF AG, 1992. p. 257-266.
- SUBIRÓS, J.; SALAS, R.F. Obtención de las normas DRIS en una zona productora de caña de azúcar (*Saccharum spp*) en Guanacaste, Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, Costa Rica, v. 23, n. 2, p. 137-147, 1999.
- TAUCONNIER, R. BASSEREAU, D. **La canã de açúcar**. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 443 p. Coleção Agricultura Tropical.

- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- TEIXEIRA, C.D.A. **Aplicação de nitrogênio e potássica em cana-soca, em dois solos do estado do Paraná**. 2005. 56f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- TEIXEIRA, L.A.J.; NATALE, W. R.; RUGGIERO, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e aplicação de nitrogênio e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 684-689, 2001.
- TEODORO, L.M.C. **Uréia tratada com o inibidor da uréase NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 72f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical), Instituto Agrônomo, Campinas, 2007.
- TISDALE, S.L., NELSON, W., BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754p.
- THORBURN, P.J.; ANTWEPE, R. van, MEYER, J.H.; BEZUIDENHOUT, C.N. The impact of trash management on soil carbon and sugar industry. **Proceedings of the South Africa Sugar Technologist Association**, Mount Edzecombe, v. 76, p. 260-268, 2002.
- THORBURN, P.J.; KEATING, B.A.; ROBERTSON, F.A.; WOOD, A.W. Long-term changes in soil carbon and nitrogen under trash blanketing. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Canberra, v. 22, p. 217-224, 2000.
- TRENTO FILHO, A.J. Produção de cana-de-açúcar e qualidade da cachaça em Morretes, PR. 2008. 91f. Dissertação (Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- TRIVELIN, P.C.O.; CARVALHO, J.G.; SILVA, A.Q.; PRIMAVESI, A. C.P.A.; CAMACHO, E.; EIMORI, I.E.; GUILHERME, M.R. Adubação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Absorção e translocação de uréia-<sup>15</sup>N. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 52-65, 1988.
- 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, p. 193-201, 2002a.
- TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio do aquamônio-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.2, p. 89-99, 1996.

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

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade de cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 636-646, 2002b.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR-ÚNICA. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil: respostas às questões mais freqüentes**. São Paulo, 2007. 70 p.

URQUIAGA, S.; RESENDE, A.S. de; QUEIROZ, J.G. ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C. de; BODDEY, R.M. Efeito residual, a longo prazo, da queima, aplicações de vinha e adubado nitrogenado no rendimento da cana-de-açúcar. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 767-769.

VALLIS, I; KEATING, B.A. Uptake and loss of fertilizer and soil nitrogen in sugarcane crops. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Canberra, v. 16, p. 105-113, 1994.

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

VITTI, A.C. **Aplicação de nitrogênio da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

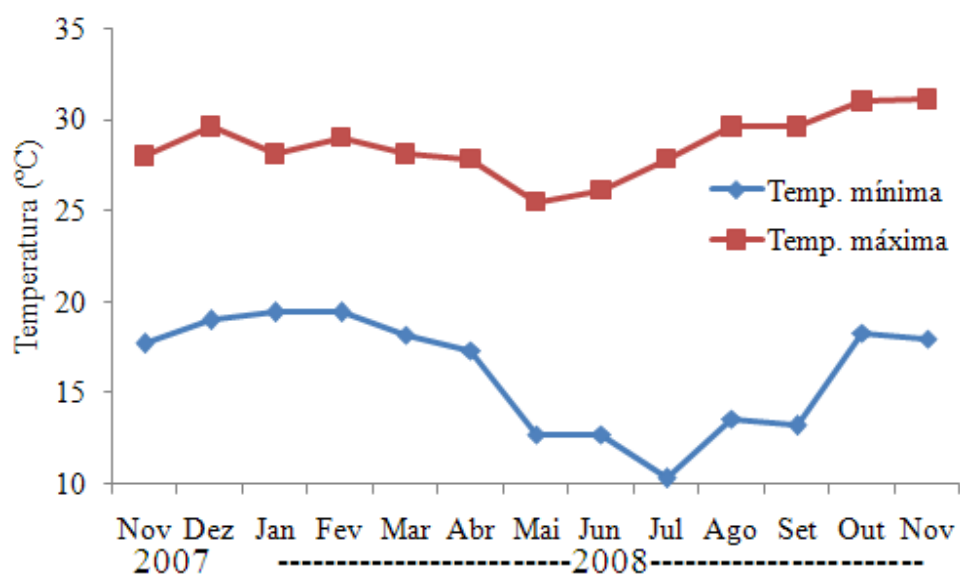
VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

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

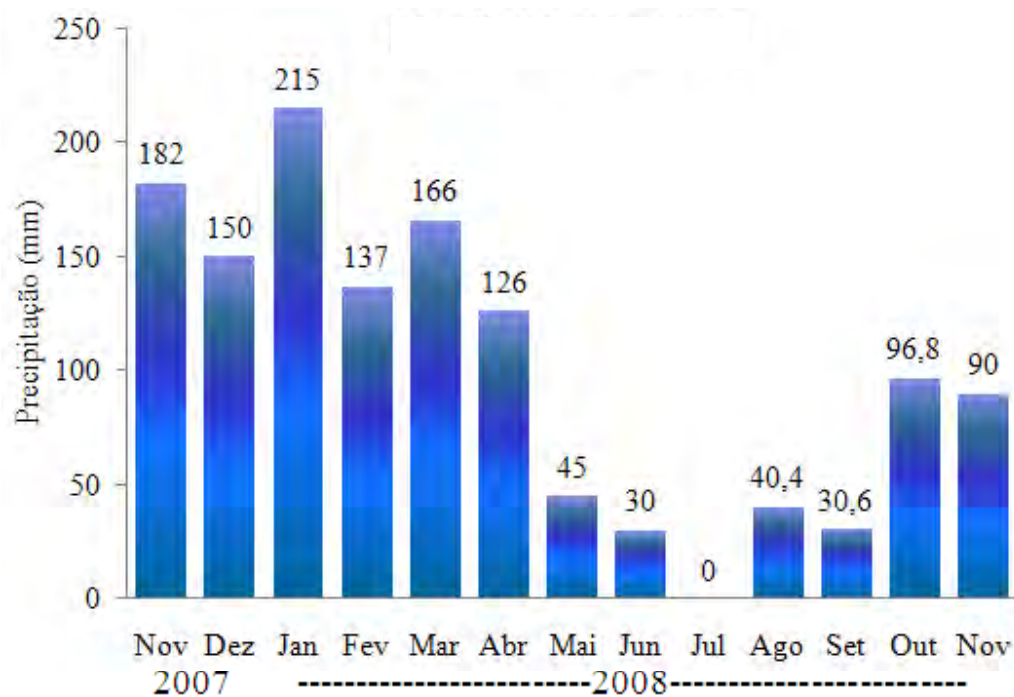
- VITTI, G.C.; TAVARES JR, J.E.; LUZ, P.H.; FAVARIN, J.L.; COSTA, M.C.G. Influência da mistura de sulfato de Amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 663-671, 2002.
- WEBER, H.; DAROS, E; CAMARGO, J.L.; TERUYO, O. BARELA, J.D. Recuperação da produção de cana-de-açúcar com adubação NPK. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 2, p. 73-77, 2001.
- WEIR, K.L.; ROLSTON, D.E.; THORBURN, P.J. The potential for N losses via denitrification between a green cane trash blanket. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Canberra, v. 20, p. 169-175, 1998.
- WELCH, R.M. Importance of seed mineral nutrient reserves in crop growth and development. In: RELGEL, Z. (Ed.). **Mineral nutrition of crops: fundamental mechanisms and implications**. New York, Food Products Press, 1999. p. 205-226.
- WIEDENFELD, B. Evaluation of new tools for determining crop nitrogen status and availability. **Subtropical Plant Science**, Welasco, v. 49, p. 46-49, 1997.
- WIRÉN, N.V.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v. 196, p. 191-199, 1997.
- WOOD, C.W.; REEVES, D.W.; HIMELRICK, D.G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. **Proceedings of the Agronomy Society New Zealand**, Couterbury, v. 23, p. 1-9, 1993.
- YADAV, D.V.; TODI, S.; SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N for cane yield. **Biological Waste**, West Lafayette, v. 20, p. 133-141, 1987.

## 8. APÊNDICE

Apresentam-se as temperaturas máximas e mínimas na cidade de Matão-SP, onde foi desenvolvido o experimento, iniciando em novembro de 2007 com amostragem do solo até novembro de 2008 (**Figura 28**), bem como o índice pluviométrico neste período (**Figura 29**).



**Figura 28** – Dados mensais médios da temperatura máxima e mínima referente à área experimental desde a implantação do experimento (novembro de 2007) até a colheita (novembro de 2008). Matão-SP, 2007/2008



**Figura 29** – Dados pluviométricos mensais referente à área experimental desde a implantação do experimento (novembro de 2007) até a colheita (novembro de 2008). Matão-SP, 2007/2008

**Tabela 15** – Resultados da concentração de amônio e nitrato em função da aplicação de N, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo aos seis e doze meses após a brotação da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Repetições	Doses de N kg ha <sup>-1</sup>	Camada do solo cm	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			Seis meses		Doze meses	
			-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
1	0	0-10	3,0	2,6	9,2	17,1
2	0	0-10	2,6	1,3	22,3	14,4
3	0	0-10	3,9	1,3	27,6	15,8
4	0	0-10	2,6	1,3	19,7	15,8
1	0	10-20	2,6	3,9	9,2	11,8
2	0	10-20	2,6	5,1	15,8	15,8
3	0	10-20	1,3	5,1	10,5	13,1
4	0	10-20	2,6	5,1	6,6	11,8
1	0	20-40	3,9	6,4	9,2	14,4
2	0	20-40	6,4	7,0	13,1	9,2
3	0	20-40	5,1	7,7	14,4	15,8
4	0	20-40	5,1	7,0	17,1	17,1
1	0	40-60	2,6	1,3	18,4	9,2
2	0	40-60	3,9	1,7	7,9	10,5
3	0	40-60	5,1	2,6	11,8	11,8
4	0	40-60	6,4	1,3	17,1	19,7
1	0	60-80	2,7	6,4	11,4	11,8
2	0	60-80	2,6	4,7	7,9	11,8
3	0	60-80	2,6	3,9	5,3	10,5
4	0	60-80	2,6	3,9	21,0	13,1
1	0	80-100	2,0	2,6	7,9	16,6
2	0	80-100	2,6	1,3	17,1	21,0
3	0	80-100	2,8	1,3	7,9	11,8
4	0	80-100	3,9	3,9	21,0	17,1
1	60	0-10	7,7	3,9	11,8	21,0
2	60	0-10	6,4	5,1	13,1	17,1
3	60	0-10	6,4	6,4	19,7	27,6
4	60	0-10	5,1	3,9	11,8	21,9
1	60	10-20	6,4	7,7	14,4	18,4
2	60	10-20	7,7	6,0	11,8	14,4
3	60	10-20	6,4	5,1	19,7	17,1
4	60	10-20	6,4	5,1	17,1	13,1
1	60	20-40	1,3	2,6	6,6	13,1
2	60	20-40	5,1	7,7	10,5	15,8
3	60	20-40	5,1	5,1	13,1	11,8
4	60	20-40	3,9	5,1	11,8	15,8
1	60	40-60	2,6	3,9	14,0	13,6
2	60	40-60	3,9	5,1	15,8	11,8
3	60	40-60	3,4	6,4	19,7	18,4
4	60	40-60	3,9	5,1	6,6	10,5
1	60	60-80	3,9	5,1	14,4	17,9
2	60	60-80	5,1	5,1	19,7	15,8
3	60	60-80	2,6	7,7	14,4	18,4

**Continuação...**

Repetições	Doses de N kg ha <sup>-1</sup>	Camada do solo cm	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			Seis meses		Doze meses	
			-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
4	60	60-80	3,9	6,5	9,2	19,7
1	60	80-100	3,9	3,9	16,2	15,8
2	60	80-100	3,9	3,7	21,0	22,3
3	60	80-100	4,0	4,0	14,4	18,4
4	60	80-100	3,9	5,0	13,1	17,1
1	120	0-10	3,9	10,3	14,4	16,2
2	120	0-10	7,7	10,3	19,7	11,8
3	120	0-10	7,7	11,6	15,0	19,7
4	120	0-10	6,4	9,0	17,1	17,1
1	120	10-20	5,1	8,6	14,4	14,4
2	120	10-20	9,0	7,7	7,9	15,8
3	120	10-20	10,3	10,3	13,1	22,3
4	120	10-20	10,3	7,7	17,1	17,1
1	120	20-40	3,9	6,4	6,6	16,2
2	120	20-40	3,9	5,1	10,5	13,1
3	120	20-40	5,1	7,7	19,7	22,3
4	120	20-40	3,9	6,4	11,8	13,1
1	120	40-60	6,4	7,7	15,8	17,1
2	120	40-60	3,9	6,4	13,1	10,5
3	120	40-60	6,4	6,4	21,0	24,9
4	120	40-60	5,1	6,8	17,1	15,8
1	120	60-80	7,4	3,9	14,0	13,1
2	120	60-80	6,4	3,9	18,4	17,1
3	120	60-80	7,0	7,7	11,8	9,2
4	120	60-80	6,4	9,0	11,8	9,2
1	120	80-100	6,0	4,7	18,4	11,8
2	120	80-100	6,4	3,9	11,8	17,1
3	120	80-100	5,1	6,4	18,4	18,4
4	120	80-100	6,4	3,9	18,4	15,8
1	180	0-10	6,4	9,0	14,4	9,2
2	180	0-10	9,0	10,3	5,3	13,1
3	180	0-10	6,4	10,3	9,2	13,1
4	180	0-10	7,7	11,6	11,8	17,1
1	180	10-20	12,8	9,4	13,1	17,1
2	180	10-20	11,6	10,3	21,4	10,5
3	180	10-20	7,7	10,3	24,9	14,4
4	180	10-20	9,0	7,7	26,3	24,9
1	180	20-40	5,1	3,9	13,1	22,3
2	180	20-40	6,4	6,4	11,8	11,8
3	180	20-40	3,9	7,0	15,8	17,1
4	180	20-40	7,7	5,1	22,3	24,9
1	180	40-60	5,1	7,7	15,8	18,4
2	180	40-60	7,7	5,1	14,4	18,4
3	180	40-60	7,7	5,1	17,9	19,7
4	180	40-60	7,7	5,1	23,6	24,9
1	180	60-80	3,9	9,0	9,2	9,2
2	180	60-80	2,6	15,4	13,1	13,1
3	180	60-80	5,1	11,6	21,0	18,4
4	180	60-80	6,4	11,6	15,8	13,1

**Continuação...**

Repetições	Doses de N kg ha <sup>-1</sup>	Camada do solo cm	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			Seis meses		Doze meses	
			-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
1	180	80-100	7,7	6,4	15,8	19,3
2	180	80-100	5,1	11,6	15,8	14,4
3	180	80-100	6,4	11,6	15,8	19,7
4	180	80-100	7,7	11,6	15,8	23,6
1	240	0-10	9,0	5,1	17,1	18,4
2	240	0-10	7,7	10,3	14,9	15,8
3	240	0-10	10,3	7,7	11,8	14,4
4	240	0-10	10,3	6,4	15,8	17,1
1	240	10-20	7,7	6,4	14,4	18,4
2	240	10-20	9,4	9,4	18,4	21,0
3	240	10-20	11,6	9,0	6,6	13,1
4	240	10-20	9,0	12,8	14,4	17,5
1	240	20-40	15,4	7,0	15,8	21,0
2	240	20-40	2,6	6,4	21,0	17,1
3	240	20-40	6,0	7,0	21,0	14,4
4	240	20-40	5,1	7,7	26,3	30,2
1	240	40-60	5,1	10,3	11,8	17,1
2	240	40-60	6,4	15,4	26,3	18,4
3	240	40-60	7,7	14,1	15,8	14,4
4	240	40-60	7,7	16,7	11,8	14,4
1	240	60-80	9,0	6,4	15,8	15,8
2	240	60-80	6,4	7,7	14,4	15,8
3	240	60-80	7,7	6,4	14,4	15,8
4	240	60-80	10,3	10,3	14,4	15,8
1	240	80-100	7,7	8,1	14,4	13,1
2	240	80-100	7,7	11,6	14,4	22,3
3	240	80-100	5,1	7,7	7,9	13,1
4	240	80-100	5,1	5,1	10,5	16,2

**Tabela 16** – Resultados dos atributos químicos do solo, em função da aplicação de nitrogênio nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo aos seis meses após a brotação da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	D. N	C.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
		kg ha <sup>-1</sup>	cm	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----						%
1	0	0-10	4,9	22	10	2,3	21	8,0	31	31,3	62,3	50
2	0	0-10	5,4	22	11	2,0	32	12,0	22	46,0	68,0	68
3	0	0-10	4,7	18	10	2,5	22	9,0	31	33,5	64,5	52
4	0	0-10	5,6	22	10	1,5	37	14,0	22	52,5	74,5	70
1	0	10-20	4,9	22	16	1,5	18	6,0	31	25,5	56,5	45
2	0	10-20	4,8	18	15	1,1	20	8,0	34	29,1	63,1	46
3	0	10-20	4,6	16	16	2,9	19	7,0	31	28,9	59,9	48
4	0	10-20	4,8	18	15	1,0	23	9,0	34	33,0	67,0	49
1	0	20-40	4,1	13	21	1,3	8	3,0	33	12,3	45,3	27
2	0	20-40	4,4	13	21	0,8	8	3,0	31	11,8	42,8	28

## Continuação...

Rep.	D. N	C.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	kg ha <sup>-1</sup>	cm		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
3	0	20-40	4,5	12	22	1,2	8	4,0	34	13,2	47,2	28
4	0	20-40	4,3	14	21	1,3	8	4,0	34	13,3	47,3	28
1	0	40-60	4,0	10	4	0,6	4	3,0	35	7,6	42,6	18
2	0	40-60	3,9	11	4	0,5	5	2,0	38	7,5	45,5	16
3	0	40-60	4,3	10	8	0,5	5	2,0	34	7,5	41,5	18
4	0	40-60	4,0	10	4	0,4	4	2,0	34	6,4	40,4	16
1	0	60-80	3,9	9	4	0,5	2	1,0	31	3,5	34,5	10
2	0	60-80	3,8	10	3	0,4	2	1,0	34	3,4	37,4	9
3	0	60-80	4,0	9	3	0,5	3	1,0	31	4,5	35,5	13
4	0	60-80	3,9	8	2	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
1	0	80-100	3,9	8	3	0,4	2	1,0	31	3,4	34,4	10
2	0	80-100	3,8	9	3	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
3	0	80-100	3,9	7	3	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
4	0	80-100	3,9	7	3	0,3	2	1,0	34	3,3	37,3	9
1	60	0-10	4,9	26	14	1,5	27	10,0	31	38,5	69,5	55
2	60	0-10	5,6	22	11	1,3	30	10,0	29	41,3	70,3	59
3	60	0-10	5,1	29	13	1,9	27	11,0	25	39,9	64,9	61
4	60	0-10	4,9	22	11	1,8	26	10,0	28	37,8	65,8	57
1	60	10-20	4,9	21	14	1,2	19	8,0	31	28,2	59,2	48
2	60	10-20	4,8	19	15	2,0	20	8,0	31	30,0	61,0	49
3	60	10-20	4,8	23	14	1,5	18	7,0	34	26,5	60,5	44
4	60	10-20	4,7	21	13	1,5	20	8,0	31	29,5	60,5	49
1	60	20-40	4,2	14	15	0,9	8	4,0	32	12,9	44,9	29
2	60	20-40	4,3	12	14	1,0	7	3,0	31	11,0	42,0	26
3	60	20-40	4,4	18	16	0,8	8	3,0	31	11,8	42,8	28
4	60	20-40	4,3	13	15	1,0	6	3,0	34	10,0	44,0	23
1	60	40-60	4,1	11	4	0,6	4	2,0	42	6,6	48,6	14
2	60	40-60	4,0	9	6	1,0	4	3,0	34	8,0	42,0	19
3	60	40-60	3,9	12	3	0,6	3	2,0	38	5,6	43,6	13
4	60	40-60	4,0	9	3	0,7	3	1,0	42	4,7	46,7	10
1	60	60-80	3,9	22	3	0,5	2	1,0	28	3,5	31,5	11
2	60	60-80	3,8	9	5	0,5	3	2,0	34	5,5	39,5	14
3	60	60-80	3,8	11	3	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
4	60	60-80	4,0	8	4	0,5	3	1,0	38	4,5	42,5	11
1	60	80-100	3,9	7	3	0,4	2	1,0	31	3,4	34,4	10
2	60	80-100	3,8	8	2	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
3	60	80-100	4,0	9	2	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
4	60	80-100	3,9	7	3	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
1	120	0-10	4,8	23	10	1,8	24	9,0	34	34,8	68,8	51
2	120	0-10	5,1	25	7	2,0	23	10,0	28	35,0	63,0	56
3	120	0-10	4,7	24	9	2,1	23	7,0	31	32,1	63,1	51
4	120	0-10	4,9	28	9	1,9	24	9,0	28	34,9	62,9	55
1	120	10-20	4,7	22	15	1,8	22	8,0	34	31,8	65,8	48
2	120	10-20	5,0	23	16	2,4	17	6,0	28	25,4	53,4	48
3	120	10-20	4,8	31	15	2,4	20	8,0	38	30,4	68,4	44
4	120	10-20	4,6	22	14	2,0	20	7,0	34	29,0	63,0	46
1	120	20-40	4,0	15	13	1,7	10	3,0	47	14,7	61,7	24
2	120	20-40	4,7	23	17	1,5	11	6,0	31	18,5	49,5	37
3	120	20-40	4,3	16	20	2,0	8	4,0	31	14,0	45,0	31
4	120	20-40	4,3	11	18	0,8	8	4,0	34	12,8	46,8	27

## Continuação...

Rep.	D. N	C.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	kg ha <sup>-1</sup>	cm		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>				mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%
1	120	40-60	3,9	10	4	0,9	3	2,0	34	5,9	39,9	15
2	120	40-60	4,4	13	9	1,0	6	2,0	31	9,0	40,0	23
3	120	40-60	3,9	11	8	0,7	4	2,0	38	6,7	44,7	15
4	120	40-60	4,0	9	4	0,7	4	2,0	34	6,7	40,7	16
1	120	60-80	3,8	9	2	0,5	2	1,1	38	3,6	41,6	9
2	120	60-80	3,9	11	4	0,4	2	1,0	38	3,4	41,4	8
3	120	60-80	3,8	8	3	0,6	2	1,0	34	3,6	37,6	10
4	120	60-80	3,9	9	4	0,6	2	1,0	34	3,6	37,6	10
1	120	80-100	4,0	7	2	0,4	2	1,1	38	3,5	41,5	8
2	120	80-100	3,9	9	3	0,4	2	1,0	31	3,4	34,4	10
3	120	80-100	3,8	7	2	0,7	2	1,0	34	3,7	37,7	10
4	120	80-100	3,9	8	3	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
1	180	0-10	4,5	21	11	1,9	18	6,0	42	25,9	67,9	38
2	180	0-10	4,5	24	10	1,5	19	6,0	42	26,5	68,5	39
3	180	0-10	4,8	22	12	1,5	22	8,0	31	31,5	62,5	50
4	180	0-10	4,8	17	11	1,7	22	9,0	28	32,7	60,7	54
1	180	10-20	4,3	19	12	1,3	17	6,0	42	24,3	66,3	37
2	180	10-20	4,4	18	11	1,6	17	6,0	47	24,6	71,6	34
3	180	10-20	4,7	18	10	2,0	15	6,0	28	23,0	51,0	45
4	180	10-20	4,6	14	10	2,0	18	7,0	31	27,0	58,0	47
1	180	20-40	3,9	15	20	1,1	8	2,0	42	11,1	53,1	21
2	180	20-40	4,0	11	11	1,0	6	3,0	42	10,0	52,0	19
3	180	20-40	4,3	15	11	0,8	8	5,0	38	13,8	51,8	27
4	180	20-40	4,3	11	11	1,0	6	3,0	34	10,0	44,0	23
1	180	40-60	3,8	10	4	0,6	2	1,0	42	3,6	45,6	8
2	180	40-60	3,9	10	5	0,7	3	1,0	34	4,7	38,7	12
3	180	40-60	4,1	10	3	0,5	4	2,0	34	6,5	40,5	16
4	180	40-60	4,1	10	3	0,7	3	2,0	34	5,7	39,7	14
1	180	60-80	4,2	10	3	0,4	2	1,0	42	3,4	45,4	7
2	180	60-80	3,9	8	3	0,4	2	1,0	34	3,4	37,4	9
3	180	60-80	3,9	10	2	0,6	4	1,1	38	5,7	43,7	13
4	180	60-80	3,9	8	3	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
1	180	80-100	4,1	9	4	0,4	2	1,0	38	3,4	41,4	8
2	180	80-100	4,0	7	3	0,4	2	1,0	22	3,4	25,4	13
3	180	80-100	3,9	9	2	0,3	3	1,0	31	4,3	35,3	12
4	180	80-100	3,9	7	3	0,6	2	1,0	34	3,6	37,6	10
1	240	0-10	4,8	22	11	1,7	19	6,0	38	26,7	64,7	41
2	240	0-10	4,7	20	10	2,0	17	6,0	38	25,0	63,0	40
3	240	0-10	4,6	20	7	2,0	19	5,0	34	26,0	60,0	43
4	240	0-10	4,8	18	9	1,7	19	9,0	28	29,7	57,7	51
1	240	10-20	4,6	22	17	1,3	16	5,0	34	22,3	56,3	40
2	240	10-20	4,6	19	15	1,3	14	5,0	34	20,3	54,3	37
3	240	10-20	4,5	20	11	1,3	12	6,0	42	19,3	61,3	31
4	240	10-20	4,6	15	16	1,3	18	5,0	34	24,3	58,3	42
1	240	20-40	4,4	16	18	0,9	7	4,0	42	11,9	53,9	22
2	240	20-40	4,1	16	17	0,9	8	3,0	42	11,9	53,9	22
3	240	20-40	4,2	13	18	1,4	8	3,0	38	12,4	50,4	25
4	240	20-40	4,3	11	16	0,7	7	4,0	34	11,7	45,7	26
1	240	40-60	4,3	12	3	0,6	4	1,0	42	5,6	47,6	12
2	240	40-60	3,9	13	8	0,6	3	2,0	31	5,6	36,6	15

**Continuação...**

Rep.	D. N	C.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	kg ha <sup>-1</sup>	cm		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
3	240	40-60	4,0	11	3	0,8	3	1,0	38	4,8	42,8	11
4	240	40-60	3,9	10	4	0,5	2	1,0	38	3,5	41,5	8
1	240	60-80	4,0	11	3	0,5	3	1,1	42	4,6	46,6	10
2	240	60-80	3,8	11	3	0,4	2	1,0	38	3,4	41,4	8
3	240	60-80	3,9	10	2	0,5	2	1,0	34	3,5	37,5	9
4	240	60-80	3,9	8	3	0,6	2	1,0	34	3,6	37,6	10
1	240	80-100	4,0	9	3	0,5	2	1,1	38	3,6	41,6	9
2	240	80-100	3,9	9	3	0,5	2	1,0	37	3,5	40,5	9
3	240	80-100	3,9	10	2	0,5	2	1,0	38	3,5	41,5	8
4	240	80-100	3,8	8	3	0,4	2	1,0	34	3,4	37,4	9

D.-Doses de N; C.-Camadas de profundidade do solo.

**Tabela 17** – Resultados dos atributos químicos do solo, em função da aplicação de nitrogênio nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade do solo aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	D. N	C.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	kg ha <sup>-1</sup>	cm		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
1	0	0-10	4,9	17	6	2,1	28	10	34	40,1	74,1	54
2	0	0-10	4,8	23	6	2,4	27	11	34	40,4	74,4	54
3	0	0-10	5,3	19	7	2,1	27	12	20	41,1	61,1	67
4	0	0-10	5,2	22	6	2,2	27	12	28	41,2	69,2	60
1	0	10-20	4,5	14	12	1,4	20	7	38	28,4	66,4	43
2	0	10-20	4,5	19	12	1,1	23	7	38	31,1	69,1	45
3	0	10-20	5,3	22	9	1,0	25	7	22	33,0	55,0	60
4	0	10-20	5,0	18	9	1,0	23	8	28	32,0	60,0	53
1	0	20-40	4,0	11	5	0,8	4	2	38	6,8	44,8	15
2	0	20-40	4,1	13	3	0,9	6	3	38	9,9	47,9	21
3	0	20-40	5,4	21	5	0,8	6	3	20	9,8	29,8	33
4	0	20-40	4,4	12	4	0,7	5	3	31	8,7	39,7	22
1	0	40-60	3,8	8	2	0,7	2	1	42	3,7	45,7	8
2	0	40-60	3,9	10	2	0,8	4	2	42	6,8	48,8	14
3	0	40-60	4,3	15	5	0,7	3	2	34	5,7	39,7	14
4	0	40-60	4,1	9	3	0,6	3	2	31	5,6	36,6	15
1	0	60-80	4,0	8	3	0,5	2	1	38	3,5	41,5	8
2	0	60-80	4,0	8	3	0,5	3	1	38	4,5	42,5	11
3	0	60-80	4,1	10	3	0,6	4	2	38	6,6	44,6	15
4	0	60-80	4,2	8	3	0,5	5	3	31	8,5	39,5	22
1	0	80-100	3,9	7	2	0,7	2	1	38	3,7	41,7	9
2	0	80-100	3,9	9	2	0,5	2	1	38	3,5	41,5	8
3	0	80-100	4,0	8	3	0,6	3	2	38	5,6	43,6	13
4	0	80-100	4,0	8	2	0,4	3	1	31	4,4	35,4	12
1	60	0-10	5,2	22	8	2,5	25	12	28	39,5	67,5	59
2	60	0-10	5,4	21	9	2,7	26	11	18	39,7	57,7	69
3	60	0-10	4,7	23	9	2,7	25	9	34	36,7	70,7	52
4	60	0-10	5,2	16	7	2,1	27	9	22	38,1	60,1	63

## Continuação...

Rep.	D. N	C.	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	kg ha <sup>-1</sup>	cm		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%
1	60	10-20	4,7	15	5	0,9	16	7	31	23,9	54,9	44
2	60	10-20	5,0	19	5	1,1	20	8	25	29,1	54,1	54
3	60	10-20	4,5	18	6	1,2	16	7	34	24,2	58,2	42
4	60	10-20	4,8	17	8	1,5	19	8	28	28,5	56,5	50
1	60	20-40	4,2	10	7	0,7	7	3	38	10,7	48,7	22
2	60	20-40	4,3	12	5	0,5	8	4	31	12,5	43,5	29
3	60	20-40	4,2	12	7	1,1	5	2	34	8,1	42,1	19
4	60	20-40	4,2	11	5	1,4	6	3	34	10,4	44,4	23
1	60	40-60	3,9	8	3	0,7	3	2	38	5,7	43,7	13
2	60	40-60	4,3	9	3	0,7	7	3	31	10,7	41,7	26
3	60	40-60	4,0	10	4	0,7	2	1	34	3,7	37,7	10
4	60	40-60	4,0	8	2	0,6	3	1	34	4,6	38,6	12
1	60	60-80	4,0	8	3	0,4	2	1	34	3,4	37,4	9
2	60	60-80	4,0	8	2	0,5	3	1	34	4,5	38,5	12
3	60	60-80	4,0	8	3	0,7	2	1	34	3,7	37,7	10
4	60	60-80	3,9	8	2	0,6	2	1	34	3,6	37,6	10
1	60	80-100	4,0	7	3	0,5	2	1	31	3,5	34,5	10
2	60	80-100	4,0	7	3	0,3	3	1	34	4,3	38,3	11
3	60	80-100	3,9	8	3	0,5	2	1	38	3,5	41,5	8
4	60	80-100	3,9	8	2	0,4	2	1	34	3,4	37,4	9
1	120	0-10	4,6	21	7	2,6	18	8	38	28,6	66,6	43
2	120	0-10	4,8	21	7	2,3	20	9	28	31,3	59,3	53
3	120	0-10	4,9	21	9	2,6	21	10	28	33,6	61,6	55
4	120	0-10	4,9	20	7	2,6	21	9	28	32,6	60,6	54
1	120	10-20	4,3	17	8	1,3	16	5	42	22,3	64,3	35
2	120	10-20	4,8	17	8	1,5	20	8	28	29,5	57,5	51
3	120	10-20	4,7	20	7	1,4	16	6	28	23,4	51,4	46
4	120	10-20	4,5	14	6	1,6	13	6	34	20,6	54,6	38
1	120	20-40	3,8	10	4	0,9	9	2	47	11,9	58,9	20
2	120	20-40	4,3	13	4	0,8	9	4	34	13,8	47,8	29
3	120	20-40	4,4	12	5	1,3	10	5	31	16,3	47,3	34
4	120	20-40	4,2	9	6	2,0	8	3	38	13,0	51,0	25
1	120	40-60	3,8	8	2	0,7	2	1	42	3,7	45,7	8
2	120	40-60	4,0	10	3	0,5	4	2	34	6,5	40,5	16
3	120	40-60	4,0	9	4	0,6	4	2	34	6,6	40,6	16
4	120	40-60	3,9	8	2	0,5	2	1	38	3,5	41,5	8
1	120	60-80	3,9	9	3	0,7	3	2	42	5,7	47,7	12
2	120	60-80	3,9	9	2	0,6	2	1	34	3,6	37,6	10
3	120	60-80	3,9	10	2	0,6	2	1	34	3,6	37,6	10
4	120	60-80	4,3	14	3	0,6	2	2	34	4,6	38,6	12
1	120	80-100	3,9	8	3	0,6	2	1	42	3,6	45,6	8
2	120	80-100	3,9	8	3	0,5	2	1	34	3,5	37,5	9
3	120	80-100	3,9	9	2	0,6	2	1	34	3,6	37,6	10
4	120	80-100	4,2	13	3	0,5	2	1	34	3,5	37,5	9
1	180	0-10	5,4	21	9	2,2	21	10	22	33,2	55,2	60
2	180	0-10	5,0	19	5	2,4	22	9	28	33,4	61,4	54
3	180	0-10	5,0	18	6	2,3	22	10	28	34,3	62,3	55
4	180	0-10	5,4	21	5	2,7	21	11	22	34,7	56,7	61
1	180	10-20	4,7	18	6	1,6	16	8	34	25,6	59,6	43
2	180	10-20	4,8	15	7	1,3	16	7	31	24,3	55,3	44

## Continuação...

Rep.	D. N kg ha <sup>-1</sup>	C. cm	pH em CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %
											-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	
3	180	10-20	4,8	17	4	1,6	17	8	28	26,6	54,6	49
4	180	10-20	5,0	20	6	1,4	15	8	25	24,4	49,4	49
1	180	20-40	3,9	12	4	0,9	5	2	42	7,9	49,9	16
2	180	20-40	4,1	10	3	0,5	5	3	38	8,5	46,5	18
3	180	20-40	4,4	14	3	1,0	11	5	34	17,0	51,0	33
4	180	20-40	4,3	12	4	1,2	9	4	34	14,2	48,2	29
1	180	40-60	3,9	8	2	0,5	2	1	38	3,5	41,5	8
2	180	40-60	4,1	7	2	0,5	4	2	34	6,5	40,5	16
3	180	40-60	4,0	9	3	0,6	3	2	34	5,6	39,6	14
4	180	40-60	4,1	10	3	0,6	6	3	34	9,6	43,6	22
1	180	60-80	3,9	9	2	0,6	2	1	42	3,6	45,6	8
2	180	60-80	4,1	6	3	0,7	3	2	34	5,7	39,7	14
3	180	60-80	4,0	10	2	0,7	3	1	34	4,7	38,7	12
4	180	60-80	4,0	8	2	0,7	5	2	34	7,7	41,7	18
1	180	80-100	3,9	7	2	0,6	2	1	38	3,6	41,6	9
2	180	80-100	4,0	7	2	0,6	2	1	34	3,6	37,6	10
3	180	80-100	3,9	7	2	0,5	2	1	34	3,5	37,5	9
4	180	80-100	4,0	7	2	0,6	2	1	31	3,6	34,6	10
1	240	0-10	5,1	22	8	2,2	23	10	28	35,2	63,2	56
2	240	0-10	4,8	21	7	2,4	22	8	31	32,4	63,4	51
3	240	0-10	5,0	26	6	2,3	23	11	28	36,3	64,3	56
4	240	0-10	4,9	23	7	2,1	22	10	28	34,1	62,1	55
1	240	10-20	4,6	17	6	1,8	16	6	31	23,8	54,8	43
2	240	10-20	4,4	18	4	1,5	16	5	38	22,5	60,5	37
3	240	10-20	4,9	19	4	1,1	15	5	28	21,1	49,1	43
4	240	10-20	4,5	15	4	1,5	16	5	34	22,5	56,5	40
1	240	20-40	4,1	13	7	0,9	5	2	34	7,9	41,9	19
2	240	20-40	4,2	12	4	0,7	6	3	38	9,7	47,7	20
3	240	20-40	4,4	17	3	0,8	11	6	34	17,8	51,8	34
4	240	20-40	4,0	11	7	0,6	5	2	38	7,6	45,6	17
1	240	40-60	3,9	9	3	0,6	3	1	34	4,6	38,6	12
2	240	40-60	4,0	10	3	0,7	3	1	38	4,7	42,7	11
3	240	40-60	4,2	12	3	0,7	6	1	34	7,7	41,7	18
4	240	40-60	3,9	9	3	0,5	2	1	38	3,5	41,5	8
1	240	60-80	3,9	8	2	0,5	2	1	34	3,5	37,5	9
2	240	60-80	4,0	9	2	0,4	2	1	38	3,4	41,4	8
3	240	60-80	4,0	8	2	0,8	3	1	34	4,8	38,8	12
4	240	60-80	3,9	8	3	0,6	2	1	34	3,6	37,6	10
1	240	80-100	3,9	7	3	0,5	2	1	34	3,5	37,5	9
2	240	80-100	4,0	8	2	0,4	3	1	38	4,4	42,4	10
3	240	80-100	3,9	7	2	0,6	2	1	34	3,6	37,6	10
4	240	80-100	3,9	8	2	0,4	2	1	34	3,4	37,4	9

D.-Doses de N; C.-Camadas de profundidade do solo.

**Tabela 18** – Resultados da leitura SPAD, dos teores de macro e micronutrientes na folha +1 e +3, em função da aplicação de N, aos quatro meses após a brotação da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	Dose de N Kg ha <sup>-1</sup>	SPAD	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			-----g kg <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
-----Folha +1-----													
1	0	38,5	16,8	1,6	11,1	2,7	0,9	1,0	32	5	77	73	13
2	0	41,1	18,9	1,8	10,1	4,9	1,5	1,2	36	5	85	97	9
3	0	43,3	17,2	1,9	11,5	3,3	1,2	1,0	36	4	61	58	9
4	0	39,5	17,9	1,7	10,2	3,9	1,3	1,1	25	5	68	52	14
1	60	40,2	17,2	1,9	11,2	3,2	1,0	1,1	18	6	80	73	13
2	60	37,2	15,4	1,6	12,1	2,8	0,9	1,0	22	5	69	78	13
3	60	37,4	17,2	1,8	11,1	2,9	0,9	0,9	30	5	64	77	14
4	60	40,5	15,4	1,6	11,0	3,1	0,9	0,9	23	5	68	52	9
1	120	41,8	15,8	1,6	10,7	3,1	1,0	1,0	23	4	61	58	9
2	120	37,1	15,4	1,5	11,6	2,6	0,8	0,9	28	4	67	53	11
3	120	40,7	15,4	2,1	10,7	3,2	1,0	1,0	24	4	78	121	11
4	120	40,3	18,2	1,8	9,4	4,8	1,2	1,0	35	4	92	98	9
1	180	37,7	16,1	1,4	9,8	4,0	1,0	0,9	18	6	60	46	7
2	180	38,7	16,1	1,6	9,9	2,8	0,9	0,9	24	4	83	56	11
3	180	38,9	15,4	1,7	8,8	4,2	1,0	0,8	19	5	62	70	9
4	180	38,4	15,8	1,5	10,4	2,9	0,9	0,8	17	5	64	37	11
1	240	39,0	17,2	1,8	11,2	3,2	1,0	0,9	17	5	66	46	9
2	240	39,2	15,4	1,4	9,7	2,9	0,8	0,7	17	5	90	37	13
3	240	43,1	16,8	1,5	11,5	3,3	0,9	1,1	19	6	67	55	13
4	240	40,5	17,9	1,8	10,7	2,9	1,0	1,1	13	4	57	41	7
-----Folha +3-----													
1	0	42,8	16,5	1,8	10,1	4,2	1,5	1,1	22	6	43	91	7
2	0	42,9	17,2	1,6	9,8	4,1	1,3	1,3	17	5	33	66	9
3	0	41,5	18,2	1,6	9,3	4,5	1,5	1,3	24	7	74	59	11
4	0	43,0	16,1	1,5	9,0	4,1	1,3	0,9	43	5	80	60	13
1	60	38,1	17,2	1,5	8,6	4,4	1,4	1,3	31	5	72	66	9
2	60	40,7	16,8	1,5	9,4	4,0	1,2	1,0	0	6	52	62	9
3	60	44,0	18,2	1,7	9,7	4,5	1,4	1,2	21	5	88	77	9
4	60	44,3	16,1	1,5	9,1	4,1	1,3	1,3	35	4	74	86	9
1	120	42,0	18,6	2,0	9,7	4,8	1,7	1,3	24	5	82	106	9
2	120	43,8	17,5	1,5	10,1	3,6	1,1	1,2	30	5	81	76	11
3	120	42,9	14,4	1,3	7,8	5,2	1,2	1,0	0	5	60	50	11
4	120	40,5	17,2	1,6	9,0	4,8	1,5	1,1	23	5	72	58	11
1	180	39,5	18,9	1,8	10,3	3,9	1,3	1,1	25	5	67	67	11
2	180	44,2	17,9	1,5	9,0	4,6	1,3	1,1	28	4	64	63	11
3	180	41,1	17,9	1,8	10,4	4,4	1,4	1,3	21	4	75	79	9
4	180	42,6	16,8	1,6	8,9	4,8	1,5	1,1	39	3	67	71	11
1	240	42,4	17,2	1,5	9,4	3,9	1,2	1,2	33	3	43	66	11
2	240	39,5	16,8	1,5	9,4	3,9	1,2	1,2	0	4	56	54	11
3	240	39,8	16,1	1,5	10,6	3,7	1,1	1,1	26	4	63	74	11
4	240	38,1	16,1	1,6	10,1	4,0	1,1	1,1	24	4	66	72	7

**Tabela 19** – Resultados do teor de macro e micronutrientes na folha +1 e +3, em função da aplicação de N, aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	Dose de N Kg ha <sup>-1</sup>	SPAD	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			-----g kg <sup>-1</sup> -----					-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
-----Folha +1-----													
1	0	31,0	19,1	0,4	4,8	0,8	0,4	0,3	5	1	35	9	6
2	0	27,1	19,2	0,4	5,1	0,5	0,3	0,4	5	1	27	10	5
3	0	27,5	19,3	0,5	4,6	0,6	0,3	0,4	5	1	20	10	3
4	0	29,1	19,7	0,5	4,9	0,6	0,3	0,3	5	1	17	9	5
1	60	31,6	20,4	0,4	4,9	0,5	0,3	0,3	3	1	11	6	3
2	60	26,9	20,2	0,2	4,9	0,6	0,3	0,4	4	1	12	6	6
3	60	28,5	20,2	0,3	4,0	0,6	0,3	0,3	4	1	12	9	5
4	60	29,1	20,0	0,3	4,7	0,7	0,3	0,4	5	1	11	6	3
1	120	31,6	20,4	0,5	4,7	0,7	0,3	0,2	5	1	15	9	5
2	120	27,3	19,5	0,4	4,4	0,6	0,3	0,4	4	1	14	9	5
3	120	27,9	20,0	0,2	4,3	0,7	0,3	0,5	3	1	10	10	5
4	120	28,2	20,0	0,3	4,5	0,6	0,3	0,4	4	1	13	9	5
1	180	29,7	20,2	0,4	5,2	0,6	0,3	0,3	4	1	20	9	5
2	180	30,7	20,4	0,4	4,8	0,8	0,4	0,4	4	1	22	9	3
3	180	30,5	20,0	0,4	4,5	0,7	0,3	0,3	5	1	17	9	5
4	180	26,8	20,2	0,5	4,6	0,7	0,3	0,4	5	1	26	11	6
1	240	27,9	20,2	0,3	4,3	0,7	0,3	0,4	3	1	18	10	8
2	240	29,3	24,2	0,3	4,2	0,7	0,3	0,5	3	1	16	9	5
3	240	25,6	21,5	0,4	4,8	0,7	0,3	0,4	5	1	15	9	5
4	240	26,0	20,2	0,6	4,8	0,7	0,3	0,4	4	1	15	9	6
-----Folha +3-----													
1	0	28,4	19,8	0,4	3,8	1,1	0,3	0,4	8	1	70	23	8
2	0	29,0	20,2	0,5	3,6	1,3	0,4	0,5	9	1	70	25	8
3	0	29,1	19,7	0,5	6,9	2,3	0,8	0,6	9	1	66	26	8
4	0	28,9	19,8	0,6	3,4	1,5	0,3	0,6	8	1	69	18	5
1	60	29,5	20,2	0,5	3,4	1,2	0,3	0,5	8	1	35	23	11
2	60	28,7	22,7	0,5	3,8	1,3	0,3	0,5	9	1	34	19	8
3	60	27,6	21,0	0,9	3,7	1,2	0,3	0,6	8	1	34	23	6
4	60	29,1	20,2	0,5	4,0	1,1	0,3	0,6	8	1	33	12	8
1	120	28,9	22,5	0,5	3,8	1,3	0,3	0,5	8	1	33	23	11
2	120	31,9	20,6	0,8	4,0	1,1	0,3	0,5	8	1	33	23	8
3	120	28,7	21,2	0,5	3,8	1,5	0,4	0,5	9	1	32	28	8
4	120	24,4	20,5	0,6	4,2	1,0	0,3	0,6	7	1	58	29	11
1	180	24,9	19,3	0,4	3,6	1,3	0,3	0,4	6	1	38	24	8
2	180	32,5	20,8	0,3	3,7	1,1	0,3	0,4	6	1	43	26	6
3	180	30,8	21,4	0,4	3,6	1,1	0,3	0,5	9	1	40	14	9
4	180	30,8	20,5	0,5	3,4	1,2	0,3	0,6	8	1	39	15	11
1	240	27,5	19,5	0,5	3,7	1,2	0,3	0,5	5	1	42	20	6
2	240	30,2	21,6	0,5	3,6	1,2	0,3	0,6	8	1	37	20	9
3	240	30,4	23,3	0,7	8,6	1,2	0,6	0,6	7	1	36	21	9
4	240	28,6	20,4	0,6	3,5	1,2	0,3	0,5	6	2	32	20	8

**Tabela 20** – Resultados do teor de macro e micronutrientes nas folhas secas, nas folhas verdes e nos colmos de cana-de-açúcar, em função da aplicação de nitrogênio, na época da colheita da cultura, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		-----g kg <sup>-1</sup> -----						-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
Folhas secas												
1	0	2,5	0,3	1,6	3,5	1,2	0,9	8	2	406	146	8
2	0	3,5	0,2	1,7	3,2	0,8	0,8	7	2	307	73	6
3	0	2,5	0,2	1,0	3,2	0,7	0,9	5	2	432	81	8
4	0	2,8	0,2	1,6	2,5	0,7	1,0	5	2	315	112	7
1	60	3,2	0,3	1,7	2,3	0,6	0,8	10	2	393	101	4
2	60	2,8	0,2	1,5	2,2	0,7	0,6	7	2	398	79	7
3	60	2,8	0,2	1,3	2,3	0,7	0,7	8	2	400	123	7
4	60	2,1	0,2	1,5	2,4	0,6	0,8	5	2	380	62	8
1	120	3,9	0,2	1,6	2,0	0,7	0,7	8	2	436	112	5
2	120	2,5	0,2	1,2	1,9	0,5	0,6	8	3	438	57	4
3	120	2,1	0,2	1,8	2,7	1,0	0,7	7	2	394	105	6
4	120	2,1	0,2	1,3	2,1	0,4	0,7	4	2	296	43	8
1	180	2,5	0,1	1,1	2,6	0,6	0,7	7	2	445	86	7
2	180	2,5	0,2	1,7	2,3	0,8	0,7	8	2	276	60	4
3	180	4,2	0,2	2,3	2,2	0,7	0,7	8	2	285	95	5
4	180	4,2	0,3	1,2	3,2	0,7	0,7	6	3	446	112	7
1	240	3,2	0,3	2,7	2,1	1,0	0,8	9	3	417	100	8
2	240	4,2	0,2	1,3	2,0	0,6	0,6	8	3	373	98	7
3	240	2,8	0,3	2,2	2,7	0,7	0,7	8	2	348	111	8
4	240	3,4	0,2	2,1	1,7	0,8	0,7	8	2	380	103	7
Folhas verdes												
1	0	2,1	1,0	13,4	2,1	1,0	25,6	2	3	165	71	15
2	0	2,1	0,9	10,9	2,2	1,1	28,1	2	5	250	101	14
3	0	2,8	1,0	10,3	2,6	1,1	28,1	2	6	280	78	14
4	0	2,1	1,0	11,9	2,9	1,2	30,6	2	5	232	83	15
1	60	6,3	1,0	10,4	2,5	1,2	30,6	2	3	233	113	15
2	60	8,4	0,9	9,2	2,6	1,4	35,6	2	4	216	89	13
3	60	7,0	1,0	12,8	2,6	1,2	30,6	2	5	279	93	13
4	60	7,7	1,1	14,3	2,0	0,9	23,1	2	5	205	80	14
1	120	7,0	1,0	12,2	2,7	1,3	33,1	1	3	312	121	15
2	120	9,5	1,1	12,1	2,1	1,2	30,6	1	4	329	57	15
3	120	9,5	1,1	12,0	2,5	1,2	30,6	1	3	350	94	15
4	120	6,3	1,1	14,2	2,3	1,2	30,6	1	6	327	81	14
1	180	2,1	1,0	13,4	2,1	1,0	25,6	2	3	165	71	15
2	180	5,3	1,2	13,0	1,9	1,0	25,6	2	3	277	64	13

**Continuação...**

Rep.	Dose de N	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----						-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
Folhas verdes												
3	180	5,6	0,9	11,3	2,2	1,1	28,1	2	3	213	59	13
4	180	5,3	1,0	14,2	2,4	1,1	28,1	2	4	256	94	14
1	240	4,9	1,2	12,0	2,5	1,1	28,1	2	5	199	95	13
2	240	4,9	1,0	13,9	2,0	1,1	28,1	2	4	333	72	15
3	240	5,6	1,0	11,9	2,1	1,0	25,6	2	3	400	111	15
4	240	6,3	1,0	10,6	2,2	1,2	30,6	1	6	366	107	15
Colmos												
1	0	1,5	0,2	1,9	0,2	0,4	0,5	7	3	85	25	6
2	0	1,1	0,2	1,4	0,3	0,4	0,5	7	3	103	48	8
3	0	1,0	0,2	3,4	0,8	0,9	0,4	7	3	71	20	8
4	0	1,4	0,2	2,2	0,6	0,5	0,5	7	3	123	29	5
1	60	2,1	0,2	1,5	0,3	0,5	0,5	7	2	80	39	4
2	60	2,1	0,2	2,0	0,4	0,6	0,5	6	1	69	35	5
3	60	2,1	0,2	1,8	0,4	0,5	0,4	6	3	101	39	4
4	60	1,4	0,2	2,3	0,4	0,4	0,4	7	2	89	40	3
1	120	2,0	0,2	1,5	0,3	0,5	0,5	6	1	50	42	3
2	120	1,9	0,2	1,3	0,4	0,4	0,3	5	1	56	27	4
3	120	1,8	0,3	1,5	0,4	0,5	0,4	6	2	88	38	4
4	120	2,0	0,3	2,5	0,6	0,6	0,4	7	3	92	28	3
1	180	2,6	0,3	1,5	0,2	0,4	0,5	5	2	84	34	5
2	180	2,9	0,2	1,2	0,2	0,4	0,4	7	2	77	36	4
3	180	2,5	0,2	2,1	0,3	0,5	0,4	6	2	80	26	4
4	180	2,3	0,3	2,0	0,5	0,5	0,4	8	3	90	30	5
1	240	2,0	0,2	2,7	0,2	0,4	0,4	8	1	80	26	8
2	240	2,1	0,2	2,2	0,3	0,4	0,4	8	2	70	24	5
3	240	2,2	0,2	2,2	0,3	0,4	0,4	8	1	78	25	4
4	240	2,1	0,2	1,7	0,4	0,4	0,4	8	3	95	26	4

**Tabela 21** – Resultados do diâmetro dos colmos (D.C.), altura e número dos colmos (N.C.) em função da aplicação de nitrogênio aos quatro e aos nove meses após a brotação da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	Dose de N Kg ha <sup>-1</sup>	Quatro meses			Nove meses		
		D.C. mm	Altura cm	N.C.	D.C. mm	Altura cm	N.C.
1	0	25,88	1,62	11	27,50	221	11
2	0	25,94	1,87	9	27,40	230	13
3	0	29,35	1,74	11	27,50	230	13
4	0	28,23	1,86	12	27,31	230	14
1	60	27,05	1,72	13	29,30	226	13
2	60	26,55	1,67	10	28,74	253	13
3	60	27,95	1,66	12	28,44	263	13
4	60	27,87	1,49	11	28,00	220	13
1	120	27,90	1,76	12	28,89	244	14
2	120	28,36	1,91	17	30,00	240	17
3	120	28,48	1,89	18	29,00	245	14
4	120	29,70	1,77	12	27,67	253	17
1	180	25,94	1,59	18	30,50	223	15
2	180	26,70	1,55	17	30,00	236	14
3	180	27,16	1,52	19	31,00	226	13
4	180	26,09	1,72	17	29,13	250	14
1	240	24,67	1,89	13	31,00	245	13
2	240	29,51	1,74	15	31,50	220	15
3	240	27,28	1,72	19	31,16	275	14
4	240	25,09	1,63	11	31,22	240	14

**Tabela 22** – Resultados da produção de cana-de-açúcar, da produção de fitomassa das folhas secas (F.S), das folhas verdes (F.V.) e dos colmos (C) em função da aplicação de nitrogênio na época da colheita da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	Dose de N Kg ha <sup>-1</sup>	Produção	F.S. -----t ha <sup>-1</sup> -----	F.V.	C.
1	0	90,13	1,44	8,04	27,28
2	0	81,73	1,50	8,00	25,59
3	0	86,00	1,60	6,84	38,43
4	0	85,76	1,50	7,00	34,10
1	60	138,12	2,31	10,11	40,02
2	60	119,79	1,87	10,80	29,08
3	60	110,61	2,22	10,86	35,23
4	60	150,92	2,90	13,06	35,70
1	120	140,28	2,48	14,79	44,33
2	120	143,00	2,68	13,70	45,40
3	120	141,07	2,20	14,91	49,30
4	120	147,84	2,16	16,25	43,61
1	180	130,00	2,10	8,28	44,56
2	180	125,00	2,01	7,06	37,98
3	180	120,00	1,64	8,14	46,98
4	180	118,00	1,92	7,97	44,41
1	240	117,00	1,54	8,86	35,97
2	240	118,00	1,38	6,98	36,72
3	240	119,00	1,36	6,94	42,82
4	240	115,00	1,40	7,59	36,46

**Tabela 23** – Resultados dos açúcares redutores (AR), °Brix, do teor de sacarose (Pol % cana), da fibra, pureza do caldo (PCC), do açúcar teórico recuperável (ATR), peso do bolo úmido (PBU), rendimento bruto de açúcar (RBAÇ) e rendimento bruto de álcool (RBA) em função da aplicação de nitrogênio na época da colheita da cana-de-açúcar, quatro repetições. Matão-SP, 2009.

Rep.	Dose de N Kg ha <sup>-1</sup>	AR	°Brix -----%-----	Pol	Fibra	Pureza	PCC	ATR	PBU kg ha <sup>-1</sup>	RBAÇ t ha <sup>-1</sup>	RBA m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
1	0	0,39	21,19	19,12	13,50	90,23	15,77	154,33	157,80	14,22	9,91
2	0	0,40	20,96	18,76	14,16	89,50	15,30	149,93	166,04	12,89	8,99
3	0	0,40	19,82	17,62	12,83	88,90	14,71	144,57	149,42	13,56	9,46
4	0	0,35	21,21	19,21	12,89	90,57	16,02	156,61	150,20	13,53	9,43
1	60	0,39	20,80	18,70	13,61	89,90	15,40	150,83	159,16	21,79	15,19
2	60	0,28	20,87	18,91	12,93	90,61	15,76	154,11	150,70	18,89	13,17
3	60	0,63	20,00	17,61	13,03	88,05	14,65	144,21	151,90	17,45	12,16
4	60	0,43	21,26	19,18	13,39	90,22	15,85	155,12	156,37	23,80	16,60
1	120	0,36	20,61	18,50	13,23	89,76	15,33	150,29	154,43	22,13	15,43
2	120	0,40	21,12	19,06	13,96	90,25	15,60	152,61	163,57	22,55	15,72
3	120	0,64	20,02	17,68	13,74	88,31	14,52	142,91	160,76	22,25	15,51
4	120	0,85	19,33	16,80	13,63	86,91	13,83	136,64	159,43	23,32	16,26
1	180	0,60	20,77	18,47	13,56	88,93	15,22	149,41	158,50	20,50	14,30
2	180	0,28	22,46	20,59	13,52	91,67	16,98	165,47	158,00	19,72	13,75
3	180	0,53	19,88	17,63	14,03	88,68	14,41	141,69	164,43	18,93	13,20
4	180	0,39	20,08	17,90	12,48	89,14	15,03	147,64	145,05	18,61	12,98
1	240	0,54	19,99	17,76	12,57	88,84	14,89	146,37	146,13	18,45	12,87
2	240	0,40	20,78	18,72	13,81	90,09	15,36	150,40	161,70	18,61	12,98
3	240	0,46	20,77	18,66	12,52	89,84	15,66	153,44	145,51	18,77	13,09
4	240	0,46	20,79	18,72	13,42	90,04	15,46	151,44	156,86	18,14	12,65