

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO DE PLANTIO COM TORTA DE  
FILTRO E FOSFATO SOLÚVEL NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

DIEGO HENRIQUES DOS SANTOS

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP  
Agosto - 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO DE PLANTIO COM TORTA DE  
FILTRO E FOSFATO SOLÚVEL NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

DIEGO HENRIQUES DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Agricultura).

BOTUCATU - SP  
Agosto - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S237e Santos, Diego Henriques dos, 1984-  
Efeito residual da adubação de plantio com torta de filtro e fosfato solúvel na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar / Diego Henriques dos Santos. - Botucatu : [s.n.], 2012  
xi, 97 f. : il., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012

Orientador: Marcelo de Almeida Silva  
Co-orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol  
Inclui bibliografia

1. Adubação. 2. Cana-de-açúcar. 3. Cana-de-açúcar - Análise. 4. Produção tecnológica. 5. Soqueira de cana-de-açúcar. I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

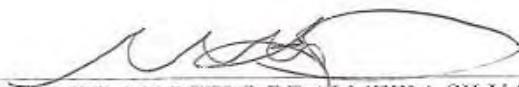
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

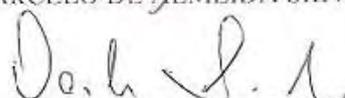
TÍTULO: EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO DE PLANTIO COM TORTA DE  
FILTRO E FOSFATO SOLÚVEL NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA  
CANA-DE-AÇÚCAR

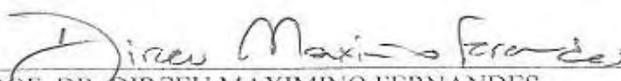
ALUNO: DIEGO HENRIQUES DOS SANTOS

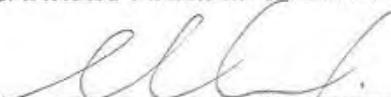
ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

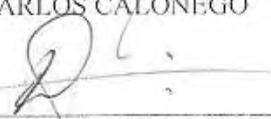
Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. CARLOS SERGIO TIRITAN

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JULIANO CARLOS CALONEGO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. PEDRO HENRIQUE DE CERQUEIRA LUZ

Data da Realização: 14 de agosto de 2012.

“A humanidade poderá crescer enquanto houver fósforo servindo como comida para as plantas e animais, pois o fósforo é vida e sem ele teríamos um planeta silencioso.”

Eurípides Malavolta

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida. Peço serenidade para aceitar as coisas que não posso mudar, coragem para mudar aquelas que posso e sabedoria para distinguir uma das outras.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva pela amizade, ensinamentos, incentivos, companheirismo, atenção e respeito, demonstrado em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan e ao Dr. José Salvador Simoneti Foloni, pelo grande empenho na condução do experimento e na elaboração deste trabalho, amizade, conselhos valiosos e apoio em todos os momentos, os quais não foram poucos e demandaram bastante tempo de dedicação.

Ao Prof. Dr. Fábio Fernando de Araújo, Prof.<sup>a</sup> Ms. Luciana Boulhosa Fabris e ao co-orientador Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pelas valiosas sugestões para a finalização deste trabalho.

Aos Professores Dr. Dirceu Maximino Fernandes, Dr. Juliano Carlos Calonego, Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz, Dr. Rogério Peres Soratto, Dr. Miguel Ângelo Mutton e ao Dr. André Cesar Vitti por terem aceitado gentilmente o convite para fazerem parte da banca examinadora.

Aos funcionários de campo da Universidade do Oeste Paulista, Manoel Vieira de Andrade (Seu Pernambuco), José Pedro Elias Manfré (Zé Pedro) e ao tratorista Mauro Ramos (Maurão) por todos os trabalhos realizados no campo. Também ao amigo

Gladston Santos (Corózinho), companheiro nas maçantes atividades de campo, presente em todas as coletas de dados durante os dois anos de experimentação.

Ao Prof. Ms. Paulo Claudeir Gomes da Silva, pela amizade e inúmeros serviços prestados, sem os quais esse trabalho não seria possível. Ao Prof. Dr. Tadeu Alcides Marques, por disponibilizar o Laboratório de Tecnologia Sucroalcooleira, técnicos e estagiários para as inúmeras avaliações tecnológicas.

Aos funcionários e estagiários dos laboratórios e bibliotecas da Universidade do Oeste Paulista e da Universidade Estadual Paulista (Fazenda Lajeado) pelo valioso apoio na revisão bibliográfica, nas análises tecnológicas, de solo e foliares. A Destilaria Alvorada do Oeste por ter cedido equipamentos de laboratório e funcionários para as análises tecnológicas.

Aos mecânicos e operadores de máquinas da Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo - Codasp, Centro de Negócios de Presidente Prudente. Aos Técnicos Operacionais Adilson Galdi, Marcelo Yoshimi Yamamoto, Everton Henrique Alves de Almeida, Celso Aparecido Negro, Valdir Montes da Silva, Ivan Gerdzijauskas, Juscelino Oliveira e Thiago Teixeira e aos Engenheiros José Coelho Neto e Márcio Anjolete pela forte dedicação ao trabalho de campo, que me serviram de exemplo para mostrar que era possível vencer as inúmeras atividades de campo realizadas neste trabalho.

Aos Engenheiros da Codasp Leonardo Gozzi Bordini, Humberto da Fonseca Brandão e Sandra Matiko Ichikawa, pela amizade, apoio e ensinamentos, e ao Gerente do Centro de Negócios de Presidente Prudente José Roberto da Silva, principalmente pelo respeito (não demonstrado na gestão anterior), que proporciona a toda equipe crescimento pessoal e profissional.

A minha esposa Danielle Aparecida Costa Santos pela paciência e compreensão da ausência, e por fazer com que cada momento que estou ao seu lado seja bom o suficiente para ser inesquecível.

Aos meus pais que com tanto esforço conseguiram me dar apoio e muito carinho ao longo da minha vida como estudante e, principalmente, por me ensinar que o estudo é o melhor caminho para o sucesso. À minha mãe por ter me feito gostar da vida acadêmica, e ao meu pai por sempre achar que eu sou melhor do que realmente sou.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante o início do curso.

Aos amigos de república Dr. Adriano Stephan Nascente e Ms. Humberto Sampaio de Araújo pela amizade, companheirismo e ensinamentos, além de todos aqueles que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	VII
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	XI
<b>1. RESUMO</b> .....	01
<b>2. SUMMARY</b> .....	02
<b>3. INTRODUÇÃO</b> .....	04
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	07
4.1. A cana-de-açúcar no cenário do agronegócio brasileiro .....	07
4.2. Desenvolvimento da cana-de-açúcar .....	08
4.3. Fósforo no solo .....	13
4.4. Importância do fósforo para a indústria .....	16
4.5. Torta de filtro .....	18
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
5.1. Cana soca .....	26
5.2. Ressoca .....	28
5.3. Análise estatística .....	29
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
6.1. Perfilhamento (cana soca) .....	30
6.2. Perfilhamento (ressoca) .....	32

6.3. Índice de área foliar (cana soca) .....	35
6.4. Índice de área foliar (ressoca) .....	36
6.5. Teores de nutrientes nas folhas (cana soca) .....	38
6.6. Teores de nutrientes nas folhas (ressoca) .....	42
6.7. Produção de colmos e de açúcar (cana soca) .....	46
6.8. Produção de colmos e de açúcar (ressoca) .....	50
6.9. Variáveis tecnológicas (cana soca) .....	54
6.10. Variáveis tecnológicas (ressoca) .....	57
6.11. Análise de solo (cana soca) .....	61
6.12. Análise de solo (ressoca) .....	68
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>74</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>75</b>

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e perfilhamento da cana-de-açúcar (cana soca) aos 90, 120 e 360 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 31
- Tabela 2.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e perfilhamento da cana-de-açúcar (ressoca) aos 90, 120 e 360 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 33
- Tabela 3.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para o índice de área foliar da cana-de-açúcar (cana soca) aos 120, 180, 240 e 330 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 35
- Tabela 4.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para o índice de área foliar da cana-de-açúcar (ressoca) aos 120, 180, 240 e 330 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 37
- Tabela 5.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 39

**Tabela 6.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 41

**Tabela 7.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 44

**Tabela 8.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas nos sulcos de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 45

**Tabela 9.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias de produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) da cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 49

**Tabela 10.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias de produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) da cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 51

**Tabela 11.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias das variáveis tecnológicas (Fibra%, °Brix, Pureza, ART, Pol% cana e P contido no caldo) da cana-de-açúcar (soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro, aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 57

**Tabela 12.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias das variáveis tecnológicas (Fibra%, °Brix, Pureza, ART, Pol% cana e P contido no caldo) da cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro, aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 58

**Tabela 13.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis pH, H+Al e MO do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro, aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 63

**Tabela 14.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de P do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 64

**Tabela 15.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis Ca, Mg e K do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 66

**Tabela 16.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis SB, CTC e V% do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009). ..... 67

**Tabela 17.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis pH, H+Al e MO do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro, aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 69

**Tabela 18.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de P do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 71

**Tabela 19.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis Ca, Mg e K do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 72

**Tabela 20.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis SB, CTC e V% do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010). ..... 73

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial mensal (mm) ocorrida durante os meses de Dezembro de 2008 a Dezembro de 2010, na área experimental. .... 22
- Figura 2.** Temperaturas médias mensais (°C) ocorridas durante os meses de Dezembro de 2008 a Dezembro de 2010, na área experimental. .... 22
- Figura 3.** Perfilhamento da cana-de-açúcar (ressoca) aos 90 (A), 120 (B) e 360 (C) dias após a rebrota, em razão de doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio em misturas com 0 ( $\Delta$ ), 50 ( $\square$ ), 100 ( $\circ$ ) e 200 (x) kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2010). .... 34
- Figura 4.** Desdobramento da interação doses de torta de filtro x doses de fosfato da análise de variância referente aos teores de fósforo (A) e enxofre (B). \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2009). .... 40
- Figura 5.** Desdobramento da interação doses de torta de filtro x doses de fosfato da análise de variância referente a tonelada de cana por hectare (TCH) (A) e a produtividade de açúcar, em tonelada de pol por hectare (TPH) (B). \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2010). .... 53
- Figura 6.** Desdobramento da interação doses de torta de filtro x doses de fosfato da análise de variância referente aos sólidos solúveis no caldo (°Brix) (A) e ao teor de sacarose na cana (pol% cana) (B). \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2010). .... 60

## 1. RESUMO

O fósforo é considerado elemento essencial para as plantas, porém é encontrado em baixa quantidade nos solos brasileiros. A torta de filtro, resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, apresenta altos teores de matéria orgânica, fósforo e cálcio. O fósforo existente na torta de filtro é orgânico, sendo que a liberação do mesmo e do nitrogênio se dá gradativamente, por mineralização e por ataque de micro-organismos no solo. O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito residual da adubação de plantio com torta de filtro e fosfato solúvel sobre a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido a campo, em Presidente Prudente, SP. Adotou-se o delineamento experimental em blocos completos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 4, em que o primeiro fator constou de níveis de torta de filtro (0; 1,0; 2,0 e 4,0 t ha<sup>-1</sup>), com 80% de massa seca, e o segundo de níveis de fósforo (0, 50, 100, 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), com 4 repetições, totalizando 64 parcelas. A torta de filtro aplicada no sulco de plantio influenciou favoravelmente o perfilhamento da cana soca na dose de 4 t ha<sup>-1</sup>, e da ressoca com interação com as doses de fosfato, além de elevar a produtividade da cana soca, porém sem efeito nos teores de fósforo no solo. As doses crescentes de torta de filtro elevaram os teores de nitrogênio, fósforo e potássio das folhas, além dos teores de fósforo no caldo da cana. A torta de filtro associada com fosfato solúvel influenciou positivamente o índice de área foliar e proporcionou efeito residual, principalmente até o segundo corte, com melhoria na produtividade de colmos e de açúcar, mas não alterou a qualidade do caldo.

## **RESIDUAL EFFECT OF PLANTING FERTILIZATION WITH FILTER CAKE AND SOLUBLE PHOSPHATE ON THE PRODUCTIVITY AND QUALITY OF SUGAR CANE**

Botucatu, 2012. 97 f. (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Diego Henriques dos Santos

Adviser: Marcelo de Almeida Silva

Co-adviser: Carlos Alexandre Costa Crusciol

### **2. SUMMARY**

The phosphorus is considered essential element for plants, but is found in small amounts in Brazilian soils. The filter cake residue composed of the mixture of ground bagasse and sludge decantation, contains high levels of organic matter, phosphorus and calcium. The phosphorus existing in the filter cake is organic, and its releasing and nitrogen takes place gradually, by mineralization and attack by micro-organisms in the soil. The study aimed to evaluate the residual effect of fertilizer planting filter cake and soluble phosphate on yield and quality of sugar cane. The experiment was conducted in the field, in Presidente Prudente, SP. We adopted the experimental design in randomized complete block in factorial 4 x 4, where the first factor was the level of filter cake (0, 1.0, 2.0 and 4.0 t ha<sup>-1</sup>) with 80% dry matter, and second levels of phosphorus (0, 50, 100, 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), with 4 replicates, totaling 64 plots. The filter cake applied at planting at the dose of 4 t ha<sup>-1</sup> favorably influenced the tillering of the sugar cane first ratoon, and of the second ratoon by mean of the interaction with doses of phosphate, in addition increased the productivity of first ratoon, but no effect on phosphorus levels in the soil. The increasing doses of filter cake increased levels of nitrogen, phosphorus and potassium in the leaves, besides the phosphorus content in cane juice. The filter cake associated with soluble phosphate positively influenced the leaf area index and

---

Keywords: *Saccharum* spp., sugar cane ratoon, yield, technological analysis.

provided residual effect, especially until the second ratoon, with improvement in the stalk and sugar productivity, but did not alter the juice quality.

### 3. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é atualmente uma das culturas mais importantes no cenário socioeconômico nacional por ser a principal matéria-prima utilizada pela indústria sucroalcooleira para a produção de açúcar e etanol. Além de ser o maior produtor de cana-de-açúcar, o Brasil também é o maior produtor e exportador de açúcar refinado.

O fósforo (P) é considerado um elemento essencial para as plantas e se encontra em baixa disponibilidade nos solos tropicais por serem acentuadamente intemperizados, com capacidade de troca catiônica (CTC) reduzida e alta adsorção aniônica. Essa condição proporciona redução na saturação de bases, com aumento gradual na retenção de ânions, como o fosfato, o sulfato e o molibdato, entre outros. Em decorrência disto, os solos mudam gradualmente de fonte para dreno de fósforo inorgânico (Pi).

O fósforo fornecido para as plantas está presente nos fertilizantes sob diferentes formas químicas. A cultura da cana-de-açúcar apresenta melhor reação com os fosfatos solúveis, com retorno econômico superior aos fosfatos de baixa solubilidade. Um dos maiores entraves para a produção agrícola no mundo é a baixa disponibilidade de Pi no solo, o qual se encontra em concentrações da ordem de 2  $\mu\text{M}$ , enquanto que nos tecidos vegetais é de 10  $\mu\text{M}$  (MIMURA et al., 1999). A presença do fósforo é necessária para a síntese de compostos fosforilados e a falta deste nutriente causa distúrbios imediatos no metabolismo e

no desenvolvimento das plantas, reduzindo o desenvolvimento do sistema radicular e o perfilhamento.

Além dos benefícios relacionados à produtividade no campo, a adubação fosfatada também é de grande importância na qualidade da cana-de-açúcar, essencial nas unidades industriais produtoras de açúcar. A presença de fósforo no caldo da cana exerce papel fundamental no processo de clarificação. Caldos contendo baixos teores de  $P_2O_5$ , inferior a  $200 \text{ mg L}^{-1}$ , são de difícil floculação e, neste caso, a decantação das impurezas (bagacilho, argila, clorofila, etc.) é ruim. Caldo turvo e de coloração intensa implica na produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial.

A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação sendo proveniente do processo de tratamento e clarificação do caldo da cana-de-açúcar. Para cada tonelada de cana moída são produzidos de 30 a 40 kg de torta quando se utiliza o filtro rotativo, e de 20 a 25 kg de torta quando se utiliza o filtro prensa. É um composto orgânico rico em matéria orgânica, cálcio, nitrogênio e potássio, além do fósforo, com composições variáveis dependendo da cultivar da cana e da sua maturação. O modo de aplicação do produto é testado de diferentes formas, desde a aplicação da área total até nas entrelinhas ou nos sulcos de plantio. Ferreira et al. (1986) apresentam a composição média da torta de filtro expressa em % da matéria seca sendo 77 a 85 de matéria orgânica; 1,1 a 1,4 de N; 1,04 a 2,55 de  $P_2O_5$ ; 0,3 a 0,96 de  $K_2O$ ; 4,07 a 5,46 de CaO; 0,15 a 0,56 de MgO e 2,70 a 2,96 de S. Nunes Júnior (2008) completa esta composição mostrando que a torta de filtro também é rica em micronutrientes, sendo 0,8% a 1,2% de Ferro, 500 a 800  $\text{mg dm}^{-3}$  de Manganês, 40 a 80  $\text{mg dm}^{-3}$  de Cobre e 150 a 220  $\text{mg dm}^{-3}$  de Zinco.

Uma das práticas aplicadas na cana-de-açúcar é o uso de torta de filtro, subproduto industrial, como fertilizante. Muitas são as informações do valor da torta de filtro na nutrição da cana-de-açúcar que, além de propiciar melhores condições para a brotação da cana-de-açúcar, proporciona aumento substancial na produção. Para aumentar a eficiência da adubação fosfatada em lavouras de cana-de-açúcar, com a consequente redução das doses empregadas, recomenda-se utilizar um carregador orgânico, como a torta de filtro, para proteger o fósforo da fixação.

Portanto, devido às fontes de fósforo minerais possuírem baixa eficiência em solos tropicais, a hipótese do trabalho é verificar se a mistura de uma fonte

orgânica, no caso a torta de filtro, com um fosfato solúvel, irá melhorar o aproveitamento do fósforo, protegendo-o da fixação e refletindo em melhor aproveitamento a longo prazo.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar e a produtividade de colmos e de açúcar, além das propriedades químicas na folha e no solo, em dois cortes consecutivos de cultivo após o primeiro corte em função da adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel (super fosfato triplo) aplicada no sulco de plantio.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. A cana-de-açúcar no cenário do agronegócio brasileiro**

Apesar do cultivo da cana-de-açúcar ter se estabelecido sobre os mais diversos tipos de solo no país, de textura argilosa a arenosa, com altos teores de matéria orgânica dissolvida ou quase nenhuma, a cana-de-açúcar é bastante tolerante à acidez e à alcalinidade do solo, sendo seu desenvolvimento máximo atingido em solo com pH 6,5 (LIMA et al., 1999). Embora não seja tão sensível como outras culturas à acidez do solo, a cana-de-açúcar requer níveis adequados de cálcio, magnésio, alumínio e pH (RODELLA et al., 1984). Essa cultura é responsável por 15,5% do total de fertilizantes consumidos na área agrícola do país (ANDA, 2011). A crescente evolução do setor sucroalcooleiro no país vem aumentando significativamente, isso porque a utilização de recursos renováveis, como o etanol, está em grande destaque atualmente. Qualquer que seja a matéria prima (cana-de-açúcar, beterraba, milho, etc.) da qual se extraia açúcar e etanol, o setor sucroalcooleiro do Brasil está entre os mais competitivos do mundo. Para Nunes Júnior (1999), esta competitividade pode ser atribuída, dentre outros fatores, ao elevado teor de fibra da cana-de-açúcar, que lhe confere independência em relação a energia externa, ou seja, em termos energéticos, a cana-de-açúcar apresenta vantagens competitivas claras na comparação com outras culturas.

O total de cana moída na safra 2011/12 foi de 560,36 milhões de toneladas, sendo 46% deste total destinado a produção de açúcar e 54% para a produção de

etanol. A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2012/2013 está estimada em 8.527,8 mil hectares, distribuídos em todos Estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 51,82% (4.419,46 mil hectares), seguido por Goiás com 8,69% (741,38 mil hectares), Minas Gerais com 8,46% (721,86 mil hectares), Paraná com 7,13% (608,38 mil hectares) e Mato Grosso do Sul com 6,50% (554,29 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, mas, com bons índices de produtividade (CONAB, 2012).

Devido ao elevado nível tecnológico, a média de produtividade da região Centro-Sul é de aproximadamente 81 t ha<sup>-1</sup>, maior em relação à média de outras regiões do país, responsáveis pela média nacional estar na faixa de 69 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2012). Dentre os fatores de produção da cana-de-açúcar, a adubação, que representa até 30% do custo de produção, se destaca devido à grande produção e remoção de massa verde por área plantada necessitando a reposição de nutrientes por meio de fertilizantes. Apesar da cana-soca revelar tendência para maior resposta à adubação nitrogenada e potássica, as recomendações de adubação têm sido pouco estudadas, sobretudo levando-se em conta a necessidade de elevar a longevidade, aumentar a eficiência e diminuir os custos do sistema de produção.

#### **4.2. Desenvolvimento da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é uma planta alógama, originária do Sudeste Asiático, na grande região da Nova Guiné e leste da Indonésia (DANIELS & ROACH, 1987). Considerada uma planta semi-perene, de grande porte, formadora de rizomas e touceiras, a cana-de-açúcar apresenta ciclo médio de quatro anos, desde o plantio até a renovação das áreas plantadas (MATSUOKA et al., 1999). Sua classificação taxonômica a coloca como pertencente ao reino Metaphyta, divisão das Angiospermas, classe das Monocotiledôneas, único representante da ordem Graminales, família Poaceae, gênero *Saccharum*, espécie *Saccharum officinarum*, sendo esta espécie a grande responsável pela formação de híbridos com outras espécies de características mais rústicas, caracterizando a maioria das cultivares atualmente utilizada no campo. Inicialmente cultivava-se principalmente a espécie *Saccharum officinarum* (L.), entretanto, as cultivares desta espécie passaram a ter dificuldades de adaptação ecológica e severos danos provocados por doenças. Híbridos inter específicos, oriundos dos programas de melhoramento genético, resistentes e melhores adaptados para

diversas condições ambientais permitiram a expansão da cultura pelo mundo (FIGUEIREDO et al., 1998).

A cana-de-açúcar também apresenta alta eficiência fotossintética e elevado ponto de saturação luminosa, característica dos representantes das plantas C<sub>4</sub>. O crescimento dos colmos encontra-se sujeito à variação da temperatura do ar, estando a faixa ótima localizada entre 25 e 35°C, sendo que em temperaturas situadas entre 19 e 25°C seu crescimento é lento e encontra-se nulo quando em temperaturas inferiores a 19°C (CASAGRANDE, 1991).

Suguitani (2001) definiu perfilhamento como sendo o processo de emissão de colmos por uma mesma planta. Das diversas variáveis envolvidas na produção de sacarose, o fator provavelmente mais significativamente relacionado com o processo seja o número de colmos por unidade de área na colheita (KORNDÖRFER et al., 1989; CÂMARA, 1993).

Segundo Castro (2000) e Câmara (2003), a alta luminosidade pode promover a foto-oxidação de auxina do ápice do colmo, reduzindo o alongamento dos entrenós e aumentando o número de perfilhos, enquanto condições de baixa luminosidade reduzem o perfilhamento.

A capacidade de perfilhamento da cana, segundo Santos (2006), é uma característica genética, porém influenciada pelas condições ambientais e de manejo da cultura. Câmara (1993) relata que o perfilhamento intensivo é uma característica desejável uma vez que proporciona maior proteção ao solo e maior sombreamento, reduzindo o período de matocompetição e, conseqüentemente, o custo de produção.

De acordo com Câmara (1993), a formação e crescimento dos perfilhos, o diâmetro e o número de entrenós são favorecidos pela elevação da temperatura, sendo a temperatura ideal próxima dos 30°C. Essa temperatura proporciona maior formação e maior crescimento dos perfilhos, e aumento do diâmetro e do número de entrenós, provavelmente devido ser nesta faixa de temperatura que ocorre maior absorção de nutrientes do solo pelas raízes. Segundo Câmara (1993), para a absorção de nutrientes a temperatura de 27°C é considerada ótima, enquanto temperaturas próximas aos 19°C reduzem a absorção de fósforo em um terço e a de nitrogênio pela metade. Temperaturas inferiores a 20°C podem paralisar o crescimento dos perfilhos. Estes dados são importantes, pois segundo Malavolta et

al. (1967), Korndörfer et al. (1989) e Castro (2000), a disponibilidade de nitrogênio e fósforo para a planta promove melhor perfilhamento da cana-de-açúcar, principalmente o fósforo, por promover o desenvolvimento de raízes para a absorção de água e nutrientes.

Os valores de perfilhamento para os diferentes tipos de adubação são de grande importância uma vez que, segundo Tokeshi (1986) e Korndörfer et al. (1989), o número de colmos por metro linear apresenta relação direta com o aumento da produção final de açúcar.

Aleoni et al. (1995) observaram que a aplicação de torta de filtro promoveu melhoria nas condições químicas do solo, com aumentos mais acentuados para o fósforo e o cálcio. Para Álvares et al. (1963), citado por Garcia (2005), o fósforo na cana-de-açúcar, além de contribuir para a formação de um sistema radicular vigoroso, beneficia expressivamente a brotação inicial e o perfilhamento.

A cobertura foliar em uma comunidade vegetal é expressa por um número puro, resultante da relação entre a área foliar e a área do terreno ocupado pela planta, que é chamado de Índice de Área Foliar (IAF). Teruel (1995) definiu o IAF como sendo nada mais do que a área de folhas submetida em uma área unitária de terreno ( $m^2$  de folha  $m^{-2}$  de terreno). Segundo Leme et al. (1984), o IAF determina a relação entre a área foliar da planta e a área de solo disponível à mesma.

O IAF é um dos principais parâmetros da produção, muito utilizado em modelos de crescimento vegetal e de evapotranspiração, pois está relacionado à produção de biomassa. Segundo Castro (2000), as folhas são os órgãos assimiladores da planta e surgem a partir do meristema apical de cada colmo. Para Leme et al. (1984), a produção da cultura da cana-de-açúcar está diretamente relacionada ao desenvolvimento da área foliar, altura e quantidade de colmos por unidade de área.

O estudo da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento. A folha é a estrutura responsável pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais (HERMANN & CÂMARA, 1999).

Benincasa (1988) relata que as folhas são os órgãos responsáveis por 90% da massa seca acumulada nas plantas, resultante da atividade fotossintética. Assim,

fatores como temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico causam a diminuição da área foliar, pois aceleram o processo de senescência das folhas verdes (INMAM-BAMBER, 2004). Neste sentido, Wahid (2004) acrescenta que em condições de estresses ambientais, genótipos sensíveis seriam mais prejudicados por reduzirem sua massa de folhas e sua área foliar. Além desses fatores, a deficiência de nitrogênio também pode reduzir a capacidade fotossintética (MEINZER & ZHU, 1998).

As plantas captam energia luminosa para seu crescimento pelas folhas, por intermédio do processo fotossintético, reduzem o CO<sub>2</sub> atmosférico a compostos orgânicos essenciais à manutenção de sua biomassa, bem como à formação de novos tecidos. Devido a isso, a área foliar (AF) de uma planta pode ser diretamente relacionada com diversas variáveis morfológicas e fisiológicas de interesse agrônomo (SILVA, 2007).

Como o desenvolvimento das folhas determina a área de interceptação da radiação solar, e quanto maior for a taxa fotossintética maior será a produtividade da cultura, é importante conhecer o índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar. São duas as formas encontradas na literatura para a estimativa da área foliar da cana-de-açúcar. O método de Francis et al. (1969), onde  $AF = (C \times L \times 0,75)$  e o método de Hermann & Câmara (1999), onde  $AF = [C \times L \times 0,75 \times (NF + 2)]$ . Ambas as fórmulas levam em consideração o comprimento da folha +3 (C) e a largura (L) da folha. Hermann & Câmara (1999) consideram ainda o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde na planta (NF).

Aumento no IAF proporciona aumento de produção de biomassa, mas devido ao auto-sombreamento das folhas, a taxa fotossintética média por unidade de área foliar decresce, pois à medida que o IAF aumenta, as folhas inferiores são mais sombreadas e, conseqüentemente, a taxa fotossintética média de toda área foliar é diminuída (LUCCHESI, 1987).

Diversos autores (LEME et al., 1984; TERUEL, 1995; TOLEDO FILHO, 2001; SILVA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2005) afirmaram que o índice de área foliar é um ótimo indicativo de crescimento e produtividade da cana-de-açúcar e que as curvas de crescimento do IAF da cultura têm comportamento bastante parecido, apresentando uma fase inicial de crescimento lento, seguida de uma fase de crescimento rápido, de outra de crescimento lento ou estabilização e, finalmente, uma fase de

decréscimo, sendo os valores absolutos obtidos característicos de cada cultivar, condições ambientais do local e sistema de manejo adotado.

Sabe-se que após a germinação, as plantas iniciam o desenvolvimento de suas folhas, que são responsáveis diretas pela transformação da energia solar em energia química através do processo fotossintético (SILVA, 2007). Cada planta de cana-de-açúcar produz uma nova folha a cada 10 dias aproximadamente (GLASZIOU et al. 1965), e devido à senescência e queda das folhas mais velhas observa-se o número praticamente constante, de 8 a 10 folhas por colmo, após o fechamento do dossel (MACHADO, 1981).

Como a fotossíntese depende da área foliar, Pereira & Machado (1987) afirmam que o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa.

Leme et al. (1984) apresentaram alguns valores de IAF para cana-de-açúcar. Na maturação ela é da ordem de 3,56 e que o IAF ótimo está entre 9 e 12. Silva et al. (2001), avaliando modelos de crescimento de cana-de-açúcar, observaram vigor vegetativo elevado, com IAF atingindo 7,5 a 9,5. O valor mínimo encontrado por Machado et al. (1982) foi de 3,7, não decrescendo mais a partir deste valor.

Oliveira et al. (2004), avaliando o desenvolvimento de diversas cultivares de cana-de-açúcar, encontraram valores máximos variando entre 4 e 6. Toledo Filho (2001) encontrou valores máximos da ordem de 8,75. De acordo com Machado (1987), para a cana-de-açúcar, o índice de área foliar próximo a 4,0 é suficiente para interceptar 95% da radiação solar incidente. Essa diversidade de valores de IAF reflete a heterogeneidade entre cultivares, condições edafoclimáticas e de manejo de cada local.

Chang (1968), afirma que o índice de área foliar ótimo não é necessariamente o máximo índice registrado, mas aquele no qual as folhas inferiores fotossinteticamente ativas sejam mantidas ligeiramente acima do ponto de compensação. Por outro lado, Teruel (1995) diz que se o IAF for menor que o valor ótimo, parte da radiação solar será desperdiçada, e a produtividade cairá abaixo do potencial.

A variação sazonal de IAF tem um peso fundamental na decisão da data de plantio. É ideal que o IAF máximo ocorra quando as condições climáticas forem mais favoráveis à fotossíntese, ou seja, na época de maior disponibilidade de radiação solar e,

também, que haja disponibilidade de nutrientes e água, principalmente em regiões onde o regime hídrico é limitante para a produção (CHANG, 1968).

### 4.3. Fósforo no solo

Apesar de a cana-de-açúcar exigir baixas quantidades de fósforo (ORLANDO FILHO et al., 1994), doses da ordem de 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são utilizadas em virtude do efeito dreno dos solos que competem com a planta pelo fósforo aplicado via fertilizante (NOVAIS & SMITH, 1999). Por essa razão, o percentual de aproveitamento do fósforo aplicado nas adubações de plantio é baixo, variando entre 5 e 20% (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985; ALCARDE & PROCHNOW, 2004), embora em cana-planta já tenha sido observado aproveitamento de 35% do fósforo aplicado (KORNDÖRFER & ALCARDE, 1992). Dessa forma, a adubação deve ser realizada com base no nível de produtividade desejada, sendo a dose recomendada em função do estoque de nutriente do solo e da quantidade exportada pela cultura (ZAMBELLO JÚNIOR & ORLANDO FILHO, 1981), levando-se em consideração as perdas do nutriente (DEMATTÊ, 2004).

O fósforo é um dos nutrientes que mais limitam a produtividade das culturas nos solos de carga variável, que predominam nas regiões tropicais e subtropicais (MEURER, 2006), caso dos solos brasileiros.

Esse macronutriente é essencial para as plantas. Segundo Garcia (2005), o fósforo desempenha funções estruturais, como armazenamento e funcionamento de energia, e participa ativamente das funções fotossintéticas. De acordo com Malavolta et al. (1967), o fósforo assume grande importância no enraizamento e no perfilhamento da cana-de-açúcar e, portanto, na produtividade final.

O fósforo é componente estrutural de macromoléculas, como ácidos nucleicos e fosfolipídeos, e também da adenosina trifosfato (ATP), sendo um elemento chave de várias vias metabólicas e reações bioquímicas, tais como inúmeras etapas das vias C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> do ciclo de Calvin e da glicólise. Embora a quantidade total de fósforo no solo possa ser relativamente alta, na maioria das vezes este não se encontra em sua forma lábil ou ao alcance da rizosfera. Nos diversos sistemas de produção agrícola, principalmente os tropicais, são necessárias aplicações de Pi no solo para garantir a produtividade. A recuperação do fósforo durante o ciclo de produção é drasticamente limitada. Cerca de 80% do total de Pi aplicado no

solo torna-se indisponível, sendo imobilizado, adsorvido e/ou adquire forma orgânica (HOLFORS, 1997).

As fontes de fósforo podem ser divididas basicamente em solúveis e insolúveis. As primeiras, quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração de fósforo na solução do solo. Os fosfatos solúveis têm sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de adsorção ou fixação desse elemento pelo solo. Já os fosfatos naturais são insolúveis em água e, assim, se dissolvem lentamente na solução do solo, aumentando a disponibilidade de fósforo para as plantas com o passar do tempo (KORNDÖRFER et al., 1999). Ainda segundo estes autores, os fosfatos naturais, em geral, apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis (industrializados) a curto prazo, porém a longo prazo seu efeito residual é geralmente maior.

Segundo avaliações realizadas por Loganathan & Fernando (1980) em casa de vegetação, quando se aplica uma fonte solúvel de fósforo em um determinado solo, mais de 90% do total aplicado já é adsorvido na primeira hora de contato com o solo. Novais (1980), também relata que o maior tempo de contato solo-fosfato causa sua maior solubilidade, ocasionando menor disponibilidade de fósforo para as plantas.

Devido ao fósforo utilizado na adubação ser encontrado em diferentes formas químicas, apresenta, por consequência, diferentes formas de desempenho no solo. Em diversos experimentos realizados a campo por Albuquerque et al. (1980), Albuquerque & Marinho (1980), Lima Filho et al. (1982), Korndörfer et al. (1989) e Weber et al. (1993), bem como Luchini et al. (2012), foi possível concluir que a cultura da cana-de-açúcar apresentou melhor aproveitamento das fontes solúveis de fosfato, comparados com as fontes de baixa solubilidade. Ao contrário das fontes solúveis, as de baixa solubilidade não conseguem manter níveis adequados de fósforo para as plantas em virtude de sua baixa velocidade inicial de dissolução (GOEDERT, 1983; GOEDERT & LOBATO, 1984), o que acarretaria em prejuízo para o rendimento da cultura (SANTOS, 2006).

De acordo com Santos (2006), fontes orgânicas podem substituir todo ou parte do fósforo requerido pela cultura da cana-de-açúcar, podendo proporcionar alterações significativas nos atributos químicos do solo, aumentando a disponibilidade de cálcio, nitrogênio e fósforo e os teores de carbono orgânico, contribuindo ainda para a melhoria física do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água.

Segundo Lopes (1998) e Stauffer & Sulewski (2004), por promover bom desenvolvimento do sistema radicular, o fósforo permite aumentar a eficiência das plantas no uso da água, gerando menores perdas e melhor absorção de outros nutrientes, fazendo com que a planta tenha melhor desempenho nos períodos de deficiência hídrica. Além disso, o maior sistema radicular permite maior absorção de fósforo. De fato, Willadino et al. (1988) verificaram que cultivares que apresentaram maior comprimento do sistema radicular foram as que mais absorveram fósforo. O maior volume de raízes permite melhor aproveitamento da reserva hídrica do solo e conseqüentemente do fósforo, visto que a concentração do elemento na solução do solo é baixa e que o mesmo movimenta-se por difusão até as raízes.

Para Santos (2006), o fósforo, por ser considerado problema para os solos das regiões tropicais, é o nutriente que tem merecido maior número de estudos no que diz respeito à fertilidade do solo e ao seu papel na agricultura. Embora muito pouco lixiviado, o fósforo aplicado no solo sofre reações químicas com a fase mineral, resultando em formas pouco disponíveis às culturas. Kamprath (1977) considera que a fixação do fósforo adicionado sob a forma de fertilizantes ocorre predominantemente por reações com compostos de ferro e alumínio.

Vários estudos têm relatado o aumento do perfilhamento e da produtividade da cana-de-açúcar devido à adubação fosfatada. Korndörfer et al. (1989), avaliando a resposta da cana-planta submetida a adubação fosfatada, observaram elevação da produtividade, além de relatarem que o número final de colmos por metro linear apresentou alta correlação com a produção. Santos et al. (2010) concluíram que a produtividade de colmos e o perfilhamento foram influenciados positivamente pelas doses de  $P_2O_5$  e torta de filtro aplicadas ao solo. Medina et al. (1991) e Korndörfer & Alcarde (1992), estudando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar, constataram que este elemento proporcionou aumento no perfilhamento, culminando com maior produtividade de colmos. Da mesma forma, num estudo entre os teores de fósforo no solo e sua influência sobre a produtividade de colmos da cana-de-açúcar foi constatado que níveis elevados do nutriente no solo podem garantir altas produtividades de colmos e açúcar (SANTOS et al., 2009).

#### 4.4. Importância do fósforo para a indústria

Além dos benefícios no campo, a adubação fosfatada também é de grande importância na qualidade da cana-de-açúcar, essencial para as unidades industriais produtoras de açúcar. Segundo Cezar et al. (1987), a composição do caldo da cana-de-açúcar é um dos fatores que afetam as diversas operações unitárias de um processo industrial, em especial a purificação do caldo para produção de açúcar e, no caso da destilaria, a fermentação alcoólica.

Segundo Honig (1960), o nível de fósforo orgânico no caldo é, principalmente, função do grau de maturação da cana-de-açúcar, ou seja, quando a cana-de-açúcar está em estágio de crescimento fisiológico, o teor de fósforo orgânico é mais alto, chegando a 60-70 mg L<sup>-1</sup>, e quando em estágio de maturação, apresenta caldos com teor de fósforo orgânico na faixa de 25-45 mg L<sup>-1</sup>

O fósforo é encontrado no caldo de cana-de-açúcar na forma mineral e orgânica (AMORIM, 1977). Korndörfer (1990) relata que a forma orgânica do fósforo ocorre numa quantidade de cerca de 10% do fósforo total. A maior parte desse elemento encontra-se na forma solúvel (DELGADO & CESAR, 1977). Durante o tratamento do caldo os fosfatos orgânicos tendem a se decompor, transformando-se em fosfatos inorgânicos (MALAVOLTA & HAAG, 1964; HONIG, 1969).

Os compostos fosfatados possuem substancial importância no processo de fabricação de açúcar (HONIG, 1969), principalmente na limpeza do caldo. Segundo Korndörfer (2004), a presença de fósforo no caldo da cana exerce papel fundamental no processo de clarificação. Caldos contendo baixos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são de difícil floculação e, neste caso, a decantação das impurezas (bagacilho, argila, clorofila, etc.) é ruim. Caldo turvo e de coloração intensa implica na produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial.

Ainda segundo Korndörfer (2004), praticamente todo o fósforo contido no caldo está na forma inorgânica ou livre e uma pequena parcela, em torno de 10%, encontra-se na forma orgânica. No processo de clarificação o fósforo livre reage com a cal [Ca(OH)<sub>2</sub>] para a formação de fosfato tricálcico [Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] o qual, ao flocular e sedimentar, realiza o arraste das impurezas que se depositam no fundo do decantador, formando o lodo.

Os teores de fosfato no caldo podem variar de 200 a 1000 mg de  $P_2O_5$  por litro de caldo (HONIG, 1969). Mais recentemente Delgado & Cesar (1984) relataram variação de 70 a 800 mg de  $P_2O_5$  por litro de caldo. De acordo com Honig (1969), teores de  $P_2O_5$  menores que  $150 \text{ mg L}^{-1}$  são considerados baixos, teores entre 150 e  $500 \text{ mg L}^{-1}$  são considerados normais e teores maiores que  $500 \text{ mg L}^{-1}$  são considerados altos.

Segundo Korndörfer (2004), o teor mínimo de  $P_2O_5$  necessário para uma boa floculação é de  $200 \text{ mg L}^{-1}$ . Valores diferentes são citados por outros autores. Segundo Meade (1963), Honig (1969), Delgado et al. (1973) e Delgado & Cesar (1977) o teor necessário de fosfato ( $P_2O_5$ ) no caldo para uma boa clarificação é de 300 a  $350 \text{ mg L}^{-1}$ . Sempre que estes teores forem inferiores deve-se fazer a complementação através da adição de um fosfato solúvel ao caldo. O teor de P nativo do solo, de acordo com Korndörfer (1994), pode afetar a concentração de  $P_2O_5$  no caldo. Quanto maior o teor de P extraível do solo maior a quantidade de  $P_2O_5$  no caldo, logo, a adubação fosfatada ou qualquer outra prática cultural que promova maior disponibilidade de P para a planta influenciará tanto na produtividade da lavoura quanto na qualidade do caldo.

Sobral et al. (1994) relataram que em solos muito pobres em fósforo, os valores de sacarose nas plantas podem ser muito inferiores comparado as plantas bem nutridas com o referido elemento. Isso porque o fósforo tem papel importante na formação de sacarose quando o composto glicose-1-fosfato se junta a frutose para formar a sacarose. No entanto, Martins (2004) não confirmou esta hipótese, pois em solos com altos teores de fósforo não se verificou correlação entre os teores do elemento contido no solo e a qualidade tecnológica da cana, assim como Pereira et al. (1995) não observaram influência de níveis crescentes de fósforo no pol% de cana.

Em análises laboratoriais após experimento a campo, Santos et al. (2011) verificaram que o fósforo aplicado no sulco de plantio melhora a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar, por meio do aumento nos teores de sólidos solúveis, de açúcares redutores totais e de sacarose nos colmos.

Em relação às destilarias, Amorim (1985) afirma que o caldo da cana-de-açúcar e o melaço possuem todos os elementos minerais e alguns cofatores orgânicos de que a levedura necessita para a manutenção, multiplicação e fermentação alcoólica. Para cada

elemento existe uma faixa de concentração que beneficiará a multiplicação celular ou otimizará a fermentação.

Segundo Santos (2008), a análise do caldo de cana revela que esta matéria-prima exige níveis adequados de certos nutrientes para que a fermentação se processe com maior vigor. O fósforo, na forma de  $P_2O_5$ , é de extrema importância para que ocorra a formação de etanol pois favorece a ação das leveduras, elevando o rendimento alcoólico da fermentação.

Silva et al. (2006) afirmam que o fósforo é importante para o processo de fermentação alcoólica, ou seja, para a transformação do açúcar em etanol. De acordo com Amorim (1985), o fósforo absorvido pela levedura tem sua principal função relacionada com a transferência de energia na célula de levedura. Este elemento é considerado indispensável à absorção do carboidrato e a sua posterior conversão em etanol. Para uma fermentação eficiente, isto é, rápida e com alto rendimento em transformações dos açúcares redutores totais em etanol, é necessário que o mosto destinado à fermentação possua concentração de fósforo na faixa de 50 a 100 mg L<sup>-1</sup>.

As observações de Paturau (1969) e Peppler (1979) enfatizam a importância de elementos como o sódio e o fósforo na obtenção de rendimentos adequados de etanol e elevado teor de proteína na levedura.

#### **4.5. Torta de filtro**

Na indústria sucroalcooleira, por muitos anos, houve um desafio em relação ao descarte dos resíduos gerados no processo de produção de açúcar e álcool. Isso se deu porque o processo produtivo gerava externalidades negativas quando os resíduos eram descartados no ambiente afetando os recursos naturais. Recentemente tornou-se uma vantagem econômica utilizar esses resíduos, à medida que geram externalidades positivas. Assim, a torta de filtro passou a fazer parte da adubação de plantio dos canaviais (CORTEZ et al., 1992), pois nela há também parte dos resíduos minerais (terra) e palha provenientes da colheita e moagem da cana. A análise do material revelou fósforo em concentração atrativa para o uso como fertilizante. Hoje é integralmente utilizada, enriquecida com outros produtos e está na operação de plantio das empresas sucroenergéticas (SPADOTTO & RIBEIRO, 2006).

De acordo com Santiago & Rossetto (2009), a torta de filtro é constituída de cerca de 12 a 18 g kg<sup>-1</sup> de fósforo e cerca de 70% de umidade, que é importante para garantir a brotação da cana em plantios feitos em épocas de inverno na região Sul e Sudeste. A torta também apresenta alto teor de cálcio e consideráveis quantidades de micronutrientes. Ainda segundo os mesmos autores, praticamente 50% do fósforo da torta pode ser considerado como prontamente disponível. O restante será mineralizado mais lentamente. A torta é empregada principalmente em cana-planta, substituindo parcial ou totalmente a adubação fosfatada, dependendo da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendada.

Nunes Júnior (2008), por sua vez, relata que a torta de filtro é um excelente produto orgânico para a recuperação de solos exauridos ou de baixa fertilidade, que sai da filtragem com 75% a 80% de umidade e que a composição química média apresenta altos teores de matéria orgânica e fósforo, sendo também rica em nitrogênio e cálcio, além de teores consideráveis de potássio, magnésio e micronutrientes. O fósforo existente na torta de filtro é orgânico, sendo que a liberação do mesmo e do nitrogênio se dá gradativamente por mineralização e por ataque de microorganismos no solo. O cálcio que aparece em grande quantidade é resultado da chamada caleação do caldo durante o processo de tratamento do mesmo para a fabricação do açúcar. Já o fósforo provém da adição de produtos auxiliares de floculação das impurezas do caldo.

Segundo Korndörfer (2004), algumas destilarias autônomas têm introduzido o sistema de clarificação de caldo, obtendo assim a torta de filtro, fazendo com que este resíduo deixe de ser produzido exclusivamente por unidades produtoras de açúcar. O mesmo autor ainda relata que a torta de filtro é rica em fósforo, no entanto o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é variável, tendo a torta gerada pelas usinas o dobro de fósforo quando comparada com a torta gerada pelas destilarias (em média, 2% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na torta de usina e 1% nas de destilaria, com base na matéria seca).

Segundo Korndörfer & Anderson (1997), a torta de filtro promove alterações significativas nos atributos químicos do solo, tais como o aumento na disponibilidade de fósforo, cálcio e nitrogênio, aumento nos teores de carbono orgânico e capacidade de troca de cátions, e ainda a diminuição nos teores de alumínio trocáveis.

Korndörfer (2004) relata que a torta de filtro pode substituir todo fósforo requerido pela cana-de-açúcar com dosagem da ordem de 20 t ha<sup>-1</sup> (massa fresca),

podendo proporcionar alterações significativas nos atributos químicos do solo, aumentando a disponibilidade de cálcio, nitrogênio e fósforo e os teores de carbono orgânico do mesmo, bem como na melhoria das propriedades físicas do solo, aumentando a sua capacidade máxima de retenção de água. A adição da matéria orgânica favorece ainda, segundo Possamai et al. (2001), o desenvolvimento da microbiota. Silva (2007) completa dizendo que o volume desse material, produzido por safra, em uma única unidade industrial, pode ser suficiente para se plantar de 1.000 a 1.500 hectares. Admitindo-se um nível de adubação de 52 kg ha<sup>-1</sup> de P, isso equivaleria a uma redução em torno de 52 a 77 t de P ano<sup>-1</sup>, além da economia com o nitrogênio da cana-planta, pois a dosagem de 20 t de composto por hectare fornece uma quantidade superior a 60 kg ha<sup>-1</sup> desse nutriente.

Santos et al. (2011) relatam que a torta de filtro aplicada no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parte da adubação química fosfatada visando à melhoria na qualidade e na produtividade de açúcar. Da mesma forma, Anjos et al. (2007) afirmam que é viável a substituição da adubação química pela orgânica sem perdas na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos de colmos e de açúcar.

No entanto, segundo Nunes Júnior (2008), a torta de filtro aplicada no sulco de plantio pode retardar a maturação, pois coloca a cana em vegetação por mais tempo. Porém, com o decorrer da safra e o aumento dos períodos seco e frio, a cana adubada com torta de filtro alcança aquela que não recebeu esta adubação.

Em experimento realizado a campo, em cana planta, Santos et al. (2010) relataram que a produtividade de colmos e o perfilhamento foram influenciados positivamente pelas doses de torta de filtro aplicadas ao solo. No entanto, as doses de torta de filtro e suas combinações com o fosfato não alteraram a qualidade do caldo da cana, ao se avaliar o Brix do caldo, por ocasião da colheita.

Fravet et al. (2010) concluíram, após avaliações em experimento desenvolvido a campo no município de Goianésia-GO, em experimento com doses crescentes de torta de filtro após o terceiro corte e avaliações no quarto corte da cana, que a torta de filtro elevou a produtividade de colmos e de sacarose. Resultados semelhantes foram observados por Tasso Júnior (2007) em cana-planta, sendo a produtividade de colmos e de sacarose maior quando utilizado a torta de filtro associada a fontes minerais de fósforo. O aumento na produtividade da cultura da cana-de-açúcar advindo do uso da torta de filtro também é relatado

por Donzelli & Penatti (1997) e Rossetto et al. (2008), após avaliarem diferentes formas de adubação da cana-de-açúcar em um Latossolo Roxo Ácrico.

Almeida Júnior et al. (2011) afirmam que a aplicação de torta de filtro promoveu melhoria na fertilidade do solo em virtude de aumentar seus teores de macro e micronutrientes e reduzir os teores de alumínio, promovendo, desta forma, uma ação corretiva da acidez do solo, enquanto os fertilizantes minerais promoveram a acidificação. Os mesmos autores verificaram, em experimento realizado em Recife-PE, que a aplicação das doses de torta de filtro promoveu incrementos expressivos nos teores de P dos solos, indicando a eficiência do resíduo em suprir P para o crescimento vegetal.

A torta de filtro, quando incorporada ao solo em doses elevadas (até 268 t ha<sup>-1</sup>), apresenta propriedades corretivas da acidez do solo, devido aos efeitos quelantes da matéria orgânica sobre o alumínio, sendo sua vantagem sobre o calcário a de provocar menor alteração no balanço catiônico do solo. Por ser um material orgânico, a torta de filtro por excelência, mostra elevada capacidade de retenção de água a baixas tensões, e esta propriedade contribui, tanto para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente em regime não irrigado, como para assegurar melhor brotação em plantios realizados em épocas desfavoráveis (ROSSETTO & DIAS, 2005).

A importância da adubação orgânica na correção da acidez do solo também é relatada por vários outros autores (MIEYAZAWA et al., 1993; AMARAL et al., 2000; ALMEIDA, 2003). Almeida Júnior et al. (2011) verificaram que a torta de filtro reduziu significativamente os teores de Al trocável no solo, consequência do efeito corretivo da torta de filtro e da complexação do Al por ácidos orgânicos existentes na torta de filtro. Segundo vários autores (van HEES et al., 2000; SIMAS et al., 2005; MENDONÇA et al., 2006), diversos compostos orgânicos, especialmente ácidos orgânicos, apresentam grande afinidade e capacidade de formar complexos estáveis com Al<sup>+3</sup>, diminuindo sua atividade na solução do solo. Já a adubação mineral eleva significativamente os valores do Al<sup>+3</sup>, conforme descrito por Perin et al. (2003).

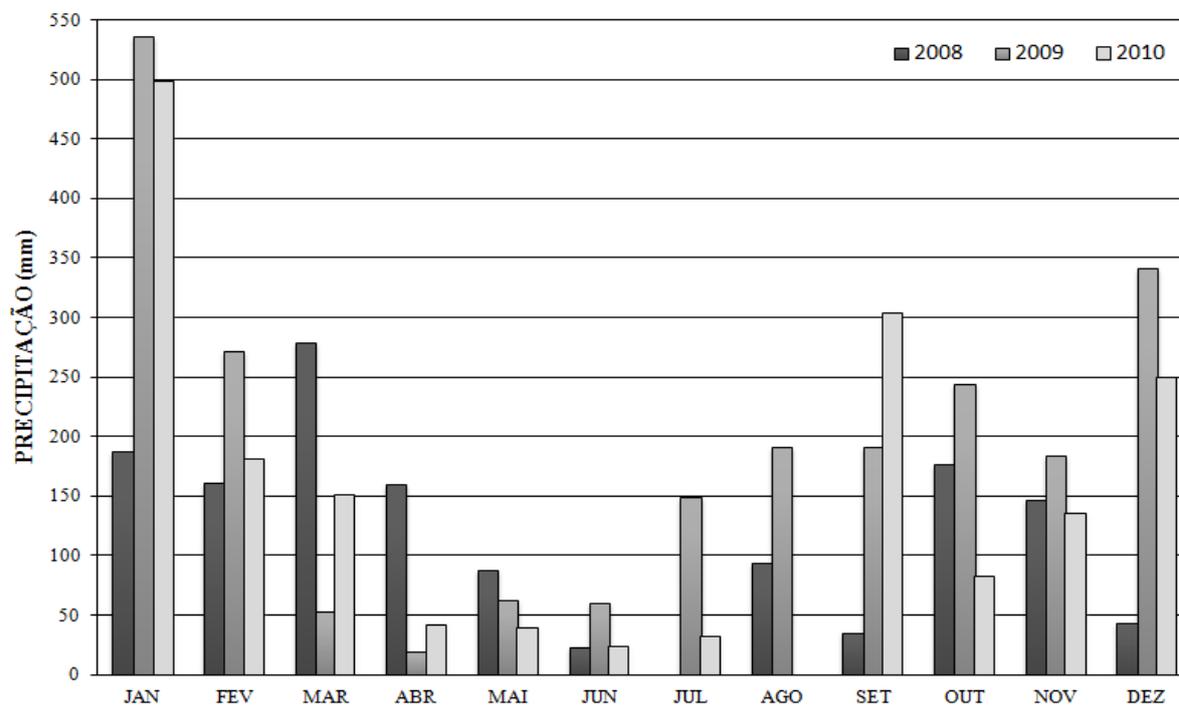
## 5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, em área experimental da Faculdade de Agronomia da Universidade do Oeste Paulista, UNOESTE, localizada nas coordenadas geográficas 51°26'00" W de longitude, 22°07'30" S de latitude, e 433 metros de altitude, no município de Presidente Prudente-SP, durante os meses de dezembro de 2008 a dezembro de 2010. A área encontrava-se, nos últimos 18 meses, em pousio (vegetação espontânea) e o solo havia sido corrigido com a aplicação de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico 30 meses antes da instalação do experimento.

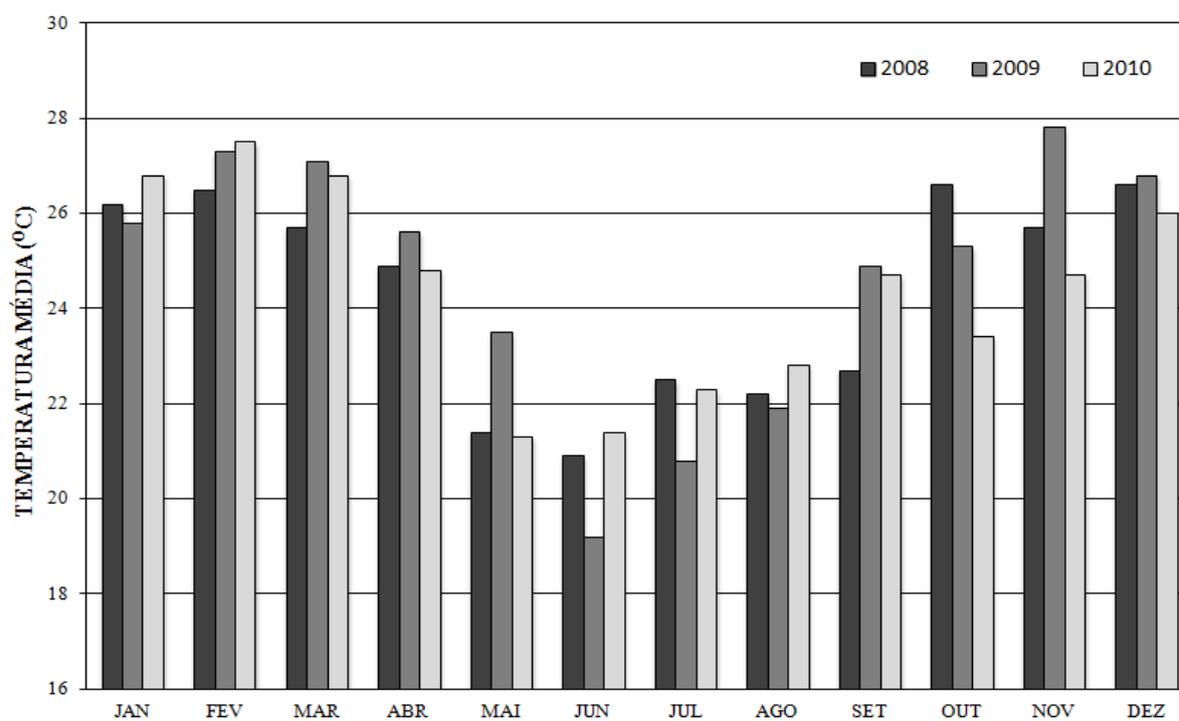
O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, que significa ser tropical com estação chuvosa e quente bem definida entre os meses de setembro a março, e inverno seco com temperaturas amenas entre os meses de abril a setembro. Na Figura 1 encontram-se os dados mensais de precipitação pluvial, em mm, do período compreendido entre instalação, condução e colheita do experimento, coletados na Estação Meteorológica da Universidade do Oeste Paulista - Unoeste.

Na Figura 2 estão representados as temperaturas médias mensais ocorridas no decorrer da instalação e condução do experimento, segundo dados da Estação Meteorológica da Universidade do Oeste Paulista - Unoeste.

O solo foi caracterizado, segundo Embrapa (2006), como Argissolo Vermelho distroférico, com relevo suave, ondulado e boa drenagem. Foram coletadas



**Figura 1.** Precipitação pluvial mensal (mm) ocorrida durante os meses de Dezembro de 2008 a Dezembro de 2010, na área experimental.



**Figura 2.** Temperaturas médias mensais (°C) ocorridas durante os meses de Dezembro de 2008 a Dezembro de 2010, na área experimental.

amostras 180 dias antes da instalação do experimento para caracterização de atributos químicos (RAIJ et al., 2001) e granulometria (EMBRAPA, 1997), nas camadas 0-20 e 20-40 cm, com os seguintes resultados, respectivamente: pH ( $\text{CaCl}_2$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ) 5,9 e 5,2; 18 e 11 g  $\text{dm}^{-3}$  de MO; 16 e 7 mg  $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{P}_{\text{resina}}$ ; 27 e 36 mmol<sub>c</sub>  $\text{dm}^{-3}$  de H+Al; 1,2 e 0,7 mmol<sub>c</sub>  $\text{dm}^{-3}$  de K; 38 e 20 mmol<sub>c</sub>  $\text{dm}^{-3}$  de Ca; 12 e 6 mmol<sub>c</sub>  $\text{dm}^{-3}$  de Mg; 52 e 27 mmol<sub>c</sub>  $\text{dm}^{-3}$  de SB; 69 e 63 mmol<sub>c</sub>  $\text{dm}^{-3}$  de CTC; 74 e 43% de saturação por bases (V); 740 e 760 g  $\text{kg}^{-1}$  de areia; 80 e 30 g  $\text{kg}^{-1}$  de silte; 180 e 210 g  $\text{kg}^{-1}$  de argila.

A torta de filtro foi obtida junto a Destilaria Alvorada do Oeste, no município de Santo Anastácio-SP, região de Presidente Prudente, no dia 8 de novembro de 2007, com 34,85% de massa seca, segundo as análises de umidade realizadas pelo Laboratório de Tecidos Vegetais da Unoeste. Em seguida a torta de filtro foi seca ao ar livre, durante seis dias, até atingir 80% de massa seca, segundo as análises de umidade realizadas pela mesma instituição.

Os resultados de análise de fertilizante orgânico realizado pelo Laboratório de Solos da Unoeste para a torta de filtro utilizada no experimento apresentou os seguintes valores, expressos na matéria seca: pH ( $\text{CaCl}_2$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ) 5,4; umidade perdida a 65°C de 70,7%; 57,25 % de MO; 9,5 g  $\text{kg}^{-1}$  de N; 3,3 g  $\text{kg}^{-1}$  de P; 4,6 g  $\text{kg}^{-1}$  de K; 9,1 g  $\text{kg}^{-1}$  de Ca; 2,5 g  $\text{kg}^{-1}$  de Mg; 7,2 g  $\text{kg}^{-1}$  de S; 124 mg  $\text{kg}^{-1}$  de Cu; 758 mg  $\text{kg}^{-1}$  de Mn; 282 mg  $\text{kg}^{-1}$  de Zn e 23808 mg  $\text{kg}^{-1}$  de Fe.

Foi realizado o preparo convencional do solo com aragem e gradagem antes do plantio da cana-de-açúcar em novembro de 2007. Cada parcela experimental constou de 5 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas de 1,50 m. Adotou-se o delineamento experimental em blocos completos ao acaso, no esquema fatorial 4 x 4, onde o primeiro fator constou de níveis de torta de filtro (0; 1,0; 2,0 e 4,0 t  $\text{ha}^{-1}$ ) e o segundo de níveis de fósforo (0, 50, 100, 200 kg  $\text{ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), com 4 repetições, totalizando 64 parcelas.

A sulcação da área experimental foi realizada à profundidade de 25-30 cm. A adubação de plantio foi realizada de acordo com Raij et al. (1997), sendo 30 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N (66,7 kg  $\text{ha}^{-1}$  de ureia), 100 kg  $\text{ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (166 kg  $\text{ha}^{-1}$  de cloreto de potássio), variando apenas as doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e torta de filtro segundo o delineamento experimental. As misturas do adubo fosfatado, Super Fosfato Triplo, com a torta de filtro com 80% de matéria seca foram

realizadas segundo o delineamento experimental e com o auxílio de uma betoneira. Em seguida realizou-se a distribuição uniforme das misturas nos cinco sulcos de cada parcela.

O plantio foi realizado em 16 de novembro de 2007, de forma convencional, adotando o sistema de “cana-de-ano” ou cana de 12 meses. A cultivar de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) escolhida para a realização do experimento foi a RB 867515, em função da recomendação regional. Na distribuição das mudas utilizou-se a densidade média de 15 gemas por metro de sulco, mediante distribuição de colmos “pé com ponta” e em seguida efetuou-se o corte manual dos colmos em toletes de 3 gemas, sendo posteriormente cobertos com uma camada de solo.

Para condução da área experimental durante a cana-planta, realizou-se no dia 19 de novembro de 2007 a aplicação do herbicida pré-emergente Tebuthiuron 500 g L<sup>-1</sup> (concentração do ingrediente ativo), herbicida seletivo, na dose de 2,0 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial (Combine 500 SC<sup>®</sup>), segundo recomendação de Rodrigues & Almeida (2005).

Para o combate às formigas cortadeiras, realizou-se no dia 14 de dezembro de 2007 a aplicação do inseticida granulado Fipronil, 800 g kg<sup>-1</sup> (Regente WG<sup>®</sup>), de forma localizada. Dois dias depois, realizou-se a aplicação do herbicida pós emergente *Sodium hydrogen methylarsonate* (MSMA) 790 g L<sup>-1</sup> (concentração do ingrediente ativo), do grupo químico organoarsênico, na dose de 1,0 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial (Volcane<sup>®</sup>), misturado com o produto comercial Velpar K WG<sup>®</sup>, diuron (468 g kg<sup>-1</sup>) e hexazinona (132 g kg<sup>-1</sup>), herbicida sistêmico dos grupos químicos ureias substituídas e triazinonas, na dose de 300 g ha<sup>-1</sup>, segundo recomendação de Rodrigues & Almeida (2005).

Aducação nitrogenada de cobertura com ureia, na dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi realizada no dia 11 de janeiro de 2008, segundo recomendação de Raij et al. (1997). Capina manual e posteriormente a aplicação do herbicida pré-emergente Tebuthiuron 500 g L<sup>-1</sup> (concentração do ingrediente ativo), na dose de 2,0 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial (Combine 500 SC<sup>®</sup>) foram realizadas em junho de 2008, segundo recomendação de Rodrigues & Almeida (2005). No dia 04 de novembro de 2008 realizou-se o corte manual sem queima.

Os resultados de perfilhamento e produtividade de colmos do primeiro corte são discutidos por Santos et al. (2010), enquanto as variáveis tecnológicas e a produção de açúcar são discutidos por Santos et al. (2011).

### 5.1. Cana Soca

Na condução do experimento no ciclo de cana soca, segundo corte, primeiramente foi realizada a aplicação dos herbicidas pós emergente *Sodium hydrogen methylarsonate* (MSMA) 790 g L<sup>-1</sup> (concentração do ingrediente ativo), na dose de 1,0 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial (Volcane<sup>®</sup>), misturado com Velpar K WG<sup>®</sup>, diuron (468 g kg<sup>-1</sup>) e hexazinona (132 g kg<sup>-1</sup>), herbicida sistêmico dos grupos químicos ureias substituídas e triazinonas, na dose de 300 g ha<sup>-1</sup> em 05 de janeiro de 2009, segundo recomendação de Rodrigues & Almeida (2005), com pulverizador de barra em área total.

A cobertura nitrogenada com ureia, na dose de 45 kg ha<sup>-1</sup>, foi realizada em 05 de fevereiro de 2009, segundo recomendação de Raij et al. (1997). Não foram realizadas adubações potássica e fosfatada de cobertura. O efeito residual da adubação fosfatada e a torta de filtro na brotação desta soca são discutidos por Santos et al. (2012).

As avaliações foram realizadas nas três linhas centrais de cada parcela experimental. A primeira variável avaliada foi o número de perfilhos, contando-os em 4,0 metros de cada linha central da parcela, aos 90, 120 e 360 dias após a colheita (DAC) da cana planta.

Para obtenção do índice de área foliar (IAF) as épocas de avaliações foram aos 120, 180, 240 e 330 DAC da cana planta, em que foram amostradas nove plantas, três em cada linha central da parcela, e utilizou-se a metodologia proposta por Hermann & Câmara (1999), onde  $AF = [C \times L \times 0,75 \times (NF + 2)]$ , sendo o comprimento (C) e a largura da folha (L) da folha +3, de acordo com a numeração sugerida por Kuijper (DILLEWIJN, 1952), e o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde (NF). De posse da área foliar (AF) média de cada planta, determinou-se o IAF de acordo com a equação:  $IAF (m^2 m^{-2}) = AFP/Asolo$ , sendo AFP a área foliar média de uma planta (m<sup>2</sup>) e Asolo a área de terreno ocupada por uma planta (m<sup>2</sup>).

Em 26 de junho de 2009, quando as plantas estavam com sete meses de idade, foi realizada a diagnose foliar, com a coleta das folhas seguindo a recomendação de Raij et al. (1997). Coletou-se 30 folhas +1, ou seja, a primeira com o colarinho visível, por parcela experimental (DILLEWIJN, 1952). As pontas da lâmina e a nervura central foram cortadas, deixando-se apenas os 20 cm centrais para a análise, conforme proposto por Raij et al. (1997). As amostras foram enviadas ao Laboratório de Tecido Vegetal da Universidade do

Oeste Paulista para determinação das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes, segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Aos 360 DAC da cana planta, em novembro de 2009, realizou-se o corte manual para avaliação dos componentes de produção determinantes para o potencial agrícola, denominados por altura média do colmo, medida com fita métrica da base à inserção da folha +3, amostrando-se cinco colmos seguidos em cada linha; o diâmetro médio dos colmos, estimado nos mesmos cinco colmos, mensurado com um paquímetro no meio do internódio na altura dada por um terço do comprimento do colmo; a massa dos colmos despontados; e o número de colmos, estimado com a contagem dos colmos de todas as linhas da parcela, segundo metodologia proposta por Landell et al. (2005). Segundo os mesmos autores, considerando-se a densidade do colmo igual a 1, o valor da produção de cana por hectare (TCH) pode ser estimada pela seguinte fórmula:  $TCH = (d^2 \times C \times h \times 0,007854) \div E$ , onde “d” é o diâmetro médio dos colmos (cm), “C” é o número de perfilhos por metro linear, “h” é a altura média dos colmos (cm) e “E” é o espaçamento entre os sulcos, neste caso, 1,5 metros.

Por ocasião do corte manual para avaliação dos componentes de produção, também foram amostrados doze colmos seguidos em cada parcela experimental para a avaliação das variáveis tecnológicas. Os feixes foram enviados ao Laboratório de Tecnologia Sucroalcooleira da Unoeste para determinação do teor aparente de sólidos solúveis presentes no caldo (Brix%) da cana, por refratometria, a polarização (Pol%) da cana e a fibra% da cana, pelo método baseado na regressão linear com o peso do bolo úmido (PBU), e os açúcares redutores totais (ART), segundo a metodologia vigente no SPCTS (Sistema de Pagamento da cana-de-açúcar, pelo Teor de Sacarose) descritas em Fernandes (2003).

Obteve-se a produtividade de açúcar (TPH) por meio do produto entre a produtividade de colmos (TCH) e a concentração de sacarose (pol cana) correspondente a cada parcela, dividido por 100.

Para as avaliações do fósforo contido no caldo foram amostrados doze colmos de cada parcela experimental por ocasião da colheita manual. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Sucroalcooleiras da Destilaria Alvorada, no município de Santo Anastácio-SP, onde foram desfibradas. Após homogeneização da cana desfibrada, retirou-se uma amostra de 500 gramas de cada parcela, que foram levadas a prensa

hidráulica a  $250 \text{ kgf cm}^{-2}$ , durante um minuto, para a extração do caldo, que foi resfriado e transportado para o Laboratório de Tecnologia Sucroalcooleira da Unoeste. O fosfato inorgânico foi determinado através do método colorimétrico do molibdato de amônio, descrito por Gomori (1942). Segundo Honig (1969), na determinação colorimétrica do fosfato inorgânico pela redução do fosfomolibdato, um agente redutor inorgânico ( $\text{SnCl}_2$ ) ou orgânico (hidroquinona ou etanol) forma o complexo fosfato-molibdato e o reduz em pH aproximadamente igual a 1,0. Neste pH alguns fosfatos de hexoses se hidrolisam e são determinados como fosfato inorgânico, enquanto que no caldo estariam presentes na forma de fosfato orgânico. Nos laboratórios das usinas sucroalcooleiras em geral, é comum a determinação do fosfato inorgânico pelo método utilizado neste trabalho por ser simples, rápido e devido ao fosfato inorgânico representar, segundo Martins (2004), mais de 90% do fosfato total.

Do fósforo contido no colmo da cana-de-açúcar, 95% se apresenta como solúvel e, portanto, passível de ser extraído por uma moenda de laboratório. As quantidades de fósforo total e inorgânico residuais no bagaço são proporcionais a do açúcar não extraído, o qual representa apenas de 2 a 4% do açúcar total da cana. Pode-se então restringir à análise do fósforo somente ao caldo extraído pela moenda (HONIG, 1960).

Após o corte da cana-de-açúcar, realizado manualmente sem queima, foram coletadas amostras compostas de seis amostras simples de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, retiradas sobre a linha de plantio, nos diferentes tratamentos. As amostras simples foram homogeneizadas formando amostras compostas, as quais foram secas ao ar. A seguir foram passadas em peneira de malha de 2 mm e conduzidas ao Laboratório de Solos da Unoeste para a realização das análises químicas, para obtenção do pH e dos teores de H+Al, MO, P, Ca, Mg, K, SB, CTC e V%, de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

## **5.2. Ressoca**

No dia 06 de fevereiro de 2010 realizou-se cobertura nitrogenada com ureia, na dose de  $45 \text{ kg ha}^{-1}$ , segundo recomendação de Raij et al. (1997). Não foram realizadas adubações potássica e fosfatada de cobertura. O combate das plantas daninhas foi

realizado através de capina manual, realizada mensalmente, durante os cinco primeiros meses de cultivo da ressoca.

As avaliações de biometria foram realizadas da mesma forma como na cana soca, tanto em termos das metodologias para mensurações como das épocas após a data da colheita da cana soca. Em junho de 2010 realizou-se a diagnose foliar, com a coleta das folhas seguindo a recomendação de Raij et al. (1997). A mesma metodologia de amostragem e análise utilizada para cana soca foi aplicada na ressoca.

Aos 360 DAC da cana soca, em novembro de 2010, realizou-se o corte manual para avaliação dos componentes de produção da mesma maneira como foi feito para a cana soca.

As variáveis tecnológicas da ressoca também foram obtidas utilizando a mesma metodologia de amostragem dos colmos na colheita da ressoca e de análise das variáveis tecnológicas.

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

O fósforo contido no caldo dos colmos de cana-de-açúcar (ressoca) foi determinado da mesma forma como para cana soca. Assim como para cana soca, o pH e os teores de H+Al, MO, P, Ca, Mg, K, SB, CTC e V% do solo, na ressoca, foram obtidos por meio de análise química em amostras compostas conforme descrito anteriormente.

### **5.3. Análise estatística**

O estudo estatístico, tanto do segundo quanto do terceiro corte, constou da análise de variância e teste t a 5% de significância para comparar médias dos tratamentos. Fez-se também análise de regressão para as variáveis avaliadas em mais de três épocas de amostragens em que foram ajustadas equações lineares e quadráticas significativas até 5% de probabilidade, pelo teste F.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Perfilhamento (cana soca)**

Em relação ao perfilhamento da cana-de-açúcar durante a rebrota da primeira soca, verificou-se efeito significativo nas variáveis doses de torta no plantio e doses de fosfato no plantio. Já para a interação torta x fosfato não foi observado efeito significativo (Tabela 1). Verificou-se efeito positivo das doses de torta de filtro aplicada nos sulcos de plantio sobre a variável perfilhamento no decorrer dos dias após a rebrota e das doses de fosfato solúvel aos 120 dias após a rebrota. O maior perfilhamento foi verificado com a aplicação de 4,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro aos 120 DAC (Tabela 1). No entanto, aos 360 dias, foi observado menor número de perfilhos por metro de sulco em todos os tratamentos. De fato, o aumento no perfilhamento durante os primeiros meses, com posterior redução, seguida de estabilização tanto em cana-planta quanto em cana-soca, é característica fisiológica da cana-de-açúcar, também observada em estudos realizados por vários autores (RAMESH & MAHADEVASWAMY, 2000; OLIVEIRA et al., 2004; CASTRO & CHRISTOFOLETI, 2005; SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008), sendo que nem a torta de filtro e nem o fosfato alteraram esse comportamento da cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2010; SANTOS et al., 2012).

**Tabela 1.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e perfilhamento da cana-de-açúcar (cana soca) aos 90, 120 e 360 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da variação		Perfilhamento		
Doses de Torta		14,895**		
Doses de Fosfato		3,622*		
Torta x Fosfato		1,825 ns		
C.V. (%)		7,55		
Torta (t ha <sup>-1</sup> )	90 Dias	120 Dias	360 Dias	
0,0	17,69 b	17,55 b	11,90 b	
1,0	17,12 b	18,37 b	12,59 ab	
2,0	18,14 b	18,61 b	13,13 a	
4,0	19,47 a	20,13 a	13,65 a	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	90 Dias	120 Dias	360 Dias	
0	17,97	17,87 c	12,64	
50	17,79	18,18 bc	12,96	
100	18,01	19,17 ba	13,21	
200	18,63	19,43 a	12,46	

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Portanto, houve efeito residual benéfico da torta de filtro no perfilhamento. Uma das razões desse benefício seria o melhor aproveitamento do fósforo pela planta, proporcionado pela torta de filtro. Segundo Malavolta (2006), o fósforo aumenta o perfilhamento das gramíneas por promover o desenvolvimento de raízes e, assim, favorecer a absorção de água e de nutrientes.

Korndörfer & Alcarde (1992), estudando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar, constataram que este elemento proporcionou aumento no perfilhamento, levando à maior produtividade de colmos. Silva et al. (2007) afirmaram que o bom perfilhamento, além de refletir em maior produtividade, possui outras

características desejáveis, como maior proteção ao solo e maior sombreamento, reduzindo o período de matocompetição e, conseqüentemente, reduzindo o custo de produção.

## **6.2. Perfilhamento (ressoca)**

Em relação ao perfilhamento da cana-de-açúcar durante a rebrota da segunda soca, verificou-se efeito significativo para os fatores doses de torta no plantio, para as doses de fosfato no plantio e para a interação torta x fosfato (Tabela 2).

Por meio do desdobramento da interação torta x fosfato verificou-se efeito positivo tanto das doses de torta de filtro aos 90, 120 e 360 dias, quanto das doses de  $P_2O_5$  solúvel aplicadas nos sulco de plantio aos 120 dias, sobre a variável perfilhamento após a rebrota (Tabela 2). Tanto aos 90 quanto aos 120 e aos 360 dias após a rebrota, foi verificado aumento do perfilhamento com o aumento das doses de torta de filtro aplicadas no plantio. Já em relação as diferentes doses de fosfato solúvel, não foram observadas diferenças significativas no número de perfilhos aos 90 e aos 360 dias. Já aos 120 dias observou-se aumento do perfilhamento com o aumento das doses de fosfato. O maior perfilhamento foi verificado, com efeito significativo quadrático ( $p>0,05$ ), quando houve aplicação de  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro, associada a 100 e 200  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , aos 120 dias após a rebrota (Figura 3B). No entanto, aos 360 dias foi observado menor número de perfilhos por metro de sulco em todos os tratamentos (Figura 3). Tal redução no número de perfilhos é característica fisiológica da cana-de-açúcar, como já citado anteriormente.

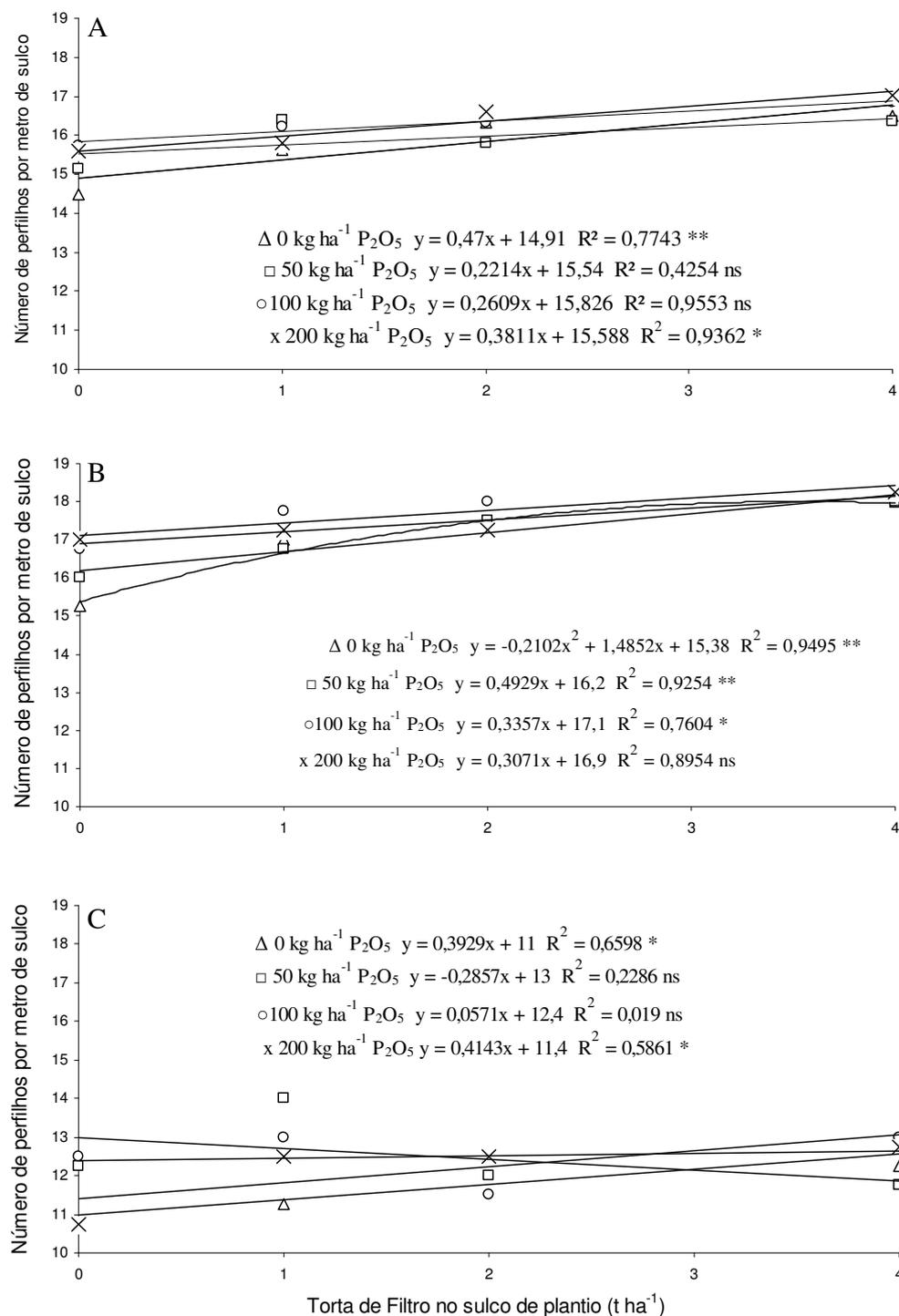
Portanto, houve efeito residual benéfico da associação entre torta de filtro e fosfato solúvel aplicada no plantio sobre o perfilhamento. Nos 120 dias iniciais após a brotação a cana-de-açúcar se encontra em fase de grande perfilhamento, caracterizada por crescimento e emissão intensa de ramificações (SEGATO et al., 2006). A partir desta etapa a competição entre os perfilhos pelos fatores de crescimento (luz, água, nutrientes, espaço) acentua-se, o que leva à diminuição e à paralisação deste processo, além da morte dos perfilhos mais jovens (CASTRO, 2000). Os colmos que sobrevivem à forte competição da fase de perfilhamento intenso continuam seus processos de crescimento e desenvolvimento, acumulando cada vez mais sacarose em seus internódios, à medida que estes vão amadurecendo (CÂMARA, 1993).

**Tabela 2.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e perfilhamento da cana-de-açúcar (ressoca) aos 90, 120 e 360 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da variação		Perfilhamento		
Doses de Torta		20,731**		
Doses de Fosfato		6,139**		
Torta x Fosfato		2,295*		
C.V. (%)		6,30		
Torta (t ha <sup>-1</sup> )	90 Dias	120 Dias	360 Dias	
0,0	15,24 b	16,00 c	11,56 b	
1,0	16,02 ab	17,19 b	12,13 ab	
2,0	16,27 a	17,50 ab	12,44 ab	
4,0	16,68 a	18,13 a	12,69 a	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	90 Dias	120 Dias	360 Dias	
0	15,73	16,63 b	11,69	
50	15,93	17,06 ab	12,50	
100	16,28	17,44 ab	12,50	
200	16,26	17,69 a	12,13	

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Jarussi (1998), trabalhando com doses de fósforo em cana-soca, não observou diferença em relação ao número de perfilhos no cultivo de terceiro corte. Da mesma forma, Factor (2008) não observou influência da adubação fosfatada no número de perfilhos em cana-planta. Uma das razões do maior perfilhamento neste trabalho é o melhor aproveitamento do fósforo pela planta, proporcionado pela torta de filtro. Segundo Santos et al. (2012), o fósforo é de grande importância para a brotação e o perfilhamento e está ligado à produtividade final da cana-de-açúcar. Korndörfer & Alcarde (1992), bem como Silva et al.



**Figura 3.** Perfilhamento da cana-de-açúcar (ressoca) aos 90 (A), 120 (B) e 360 (C) dias após a rebrota, em razão de doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio em misturas com 0 ( $\Delta$ ), 50 ( $\square$ ), 100 ( $\circ$ ) e 200 ( $\times$ ) kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2010).

(2007), estudando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar, relataram aumento no perfilhamento, refletindo em maior produtividade de colmos.

### 6.3. Índice de área foliar (cana soca)

Em relação ao índice de área foliar (IAF), foi observado efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para o fator doses de torta de filtro. Já para o fator doses de fosfato, bem como para a interação torta x fosfato, não foram encontrados efeitos significativos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para o índice de área foliar da cana-de-açúcar (cana soca) aos 120, 180, 240 e 330 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da variação		IAF – Índice de Área Foliar			
Doses de Torta		17,050 **			
Doses de Fosfato		0,771 ns			
Torta x Fosfato		1,287 ns			
C.V. (%)		14,37			
Torta (t ha <sup>-1</sup> )	120 Dias	180 Dias	240 Dias	330 Dias	
0,0	3,18 b	4,52 b	6,46	5,44 b	
1,0	4,70 a	5,43 a	7,11	6,41 a	
2,0	5,04 a	5,01 ab	6,77	6,11 ab	
4,0	5,08 a	5,14 ab	7,03	6,28 a	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	120 Dias	180 Dias	240 Dias	330 Dias	
0	4,29	5,03	6,93	5,77	
50	4,39	5,09	6,84	6,07	
100	4,70	4,91	6,73	6,19	
200	4,63	5,08	6,86	6,21	

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

As diferentes doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não influenciaram o índice de área foliar da cana-de-açúcar (cana soca) em nenhum dos períodos avaliados. Já as doses de torta de filtro elevaram o IAF da cana soca aos 120, 180 e aos 330 dias (tabela 3). Maiores valores de IAF foram observados aos 240 dias após a rebrota, sendo o maior IAF de todo o período

representado pela dose de 4 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro. Observa-se, portanto, que os valores de IAF aumentaram até os 240 dias e em seguida reduziram, sendo os valores aos 330 dias inferiores aos observados na avaliação anterior. Essa fase coincide com o período de maturação da cana-de-açúcar e reduções do IAF são compreensíveis, tendo em vista que com a maturação há aumento na senescência das folhas inferiores, e a tendência é a área útil foliar diminuir (ALMEIDA et al., 2008). Nesse período o potencial produtivo da planta já está formado, portanto não interferindo na produtividade de colmos. Deve-se considerar também que a área foliar está relacionada ao número de perfilhos, e como ocorre redução natural no perfilhamento no ciclo final da cultura (CASTRO, 2000), é natural que se observe também redução nos valores de IAF, como pode ser observado em outros trabalhos, como os de Ido (2003) e Oliveira et al. (2007).

Como o maior desenvolvimento das folhas determina o melhor aproveitamento da radiação solar nos processos fotossintéticos, e quanto maior for a taxa fotossintética maior será a produtividade da cultura, os resultados são promissores, pois indicam que a aplicação torta de filtro e fosfato solúvel no sulco de plantio pode proporcionar maior produção final de colmos no ciclo seguinte da cultura.

#### **6.4. Índice de área foliar (ressoca)**

Em relação ao índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar (ressoca), observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para o fator doses de torta de filtro. Já para o fator doses de fosfato, bem como para a interação torta x fosfato, não foram encontrados efeitos significativos (Tabela 4).

O índice de área foliar (IAF) é um parâmetro biofísico que pode ser utilizado como medida de crescimento das plantas nos modelos agronômicos (GOEL, 1988; TERUEL et al., 1997; DORAISWAMY et al., 2004; GONZALEZ-SANPEDRO et al., 2008). O aumento da área foliar proporciona aumento na capacidade da planta de aproveitar a energia solar para a realização da fotossíntese e, desta forma, pode ser utilizado para avaliar a produtividade.

As diferentes doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não influenciaram o índice de área foliar da cana-de-açúcar (ressoca) em nenhum dos períodos avaliados. Já as doses de torta de filtro elevaram o IAF da ressoça em todos os períodos avaliados (tabela 4), sendo os melhores

resultados de IAF observados aos 240 dias após a rebrota. O maior IAF de todo o período foi encontrado com a aplicação de 1 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, aos 240 dias após a rebrota.

**Tabela 4.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para o índice de área foliar da cana-de-açúcar (ressoca) aos 120, 180, 240 e 330 dias após a rebrota, em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da variação		IAF – Índice de Área Foliar			
Doses de Torta		23,162**			
Doses de Fosfato		0,542 ns			
Torta x Fosfato		1,465 ns			
C.V. (%)		13,95			
Torta (t ha <sup>-1</sup> )	120 Dias	180 Dias	240 Dias	330 Dias	
0,0	3,16 b	4,26 b	5,89 b	4,97 b	
1,0	4,42 a	5,11 a	6,57 a	5,87 a	
2,0	4,77 a	4,72 ab	6,28 ab	5,61 ab	
4,0	4,79 a	4,88 ab	6,47 ab	5,74 a	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	120 Dias	180 Dias	240 Dias	330 Dias	
0	4,08	4,81	6,31	5,31	
50	4,23	4,81	6,34	5,55	
100	4,43	4,59	6,21	5,66	
200	4,39	4,76	6,34	5,66	

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Observa-se, portanto, que os valores de IAF aumentaram até os 240 dias e em seguida reduziram, da mesma forma como observado na primeira soca, proporcionando o mesmo efeito benéfico já verificado anteriormente. Da mesma forma, Gascho & Shih (1983) notaram que o valor máximo do IAF foi alcançado aos seis meses de idade da planta, com posterior decréscimo.

Esteves (1986) já relatava que a deficiência de fósforo afeta a formação de folhas e o engrossamento do colmo e diminui a quantidade de clorofila nas folhas, e conseqüentemente, a fotossíntese, sendo esse efeito mais acentuado do que os de falta de nitrogênio e potássio. Logo, a adubação fosfatada promove maior desenvolvimento

das folhas, o que determina melhor aproveitamento da radiação solar nos processos fotossintéticos, beneficiando a produtividade. E Taiz & Zeiger (2004) lembram que o fósforo aumenta a eficiência do nitrogênio absorvido o qual se une às cadeias carbonadas, incrementando, assim, a formação de novos tecidos, conseqüentemente, elevando o índice de área foliar e a longevidade das folhas fotossinteticamente ativas, as quais sob condições ambientais favoráveis elevam a eficiência do uso da radiação solar, aumentando, portanto, o acúmulo de matéria natural.

### **6.5 Teores de nutrientes nas folhas (cana soca)**

Em relação aos macronutrientes, a análise de variância não indicou significância das causas de variação relacionadas às doses de torta de filtro bem como às doses de fosfato aplicadas no sulco de plantio. Quanto às interações dessas causas de variação, verificou-se significância para as variáveis P e S ( $p < 0,05$ ) (Tabela 5).

A disponibilidade de fósforo para as plantas em solos tropicais é influenciada pela adição deste elemento por meio da adubação fosfatada e regulada pelo fenômeno de sorção de P pelo solo. Este fenômeno ocorre na superfície dos óxidos de Fe e de Al por meio da troca de ligantes, em que grupos OH são substituídos por íons fosfatos da solução do solo, diminuindo sua concentração em solução (AFIF et al., 1995; ANDRADE et al., 2003; SANTOS et al., 2008). As substâncias húmicas presentes na matéria orgânica da torta de filtro podem atuar na redução da adsorção do P pelo solo (AGUILERA et al., 1992; LEE & KIM, 2007), competindo pelos mesmos sítios de adsorção do fosfato (LIMA, 2011). A combinação da torta de filtro com as diferentes doses de fosfato pode ter elevado o teor de substâncias húmicas, atuando na sorção de fósforo, promovendo a interação torta x fosfato para a variável P (Tabela 5).

Para doses de torta de filtro, maior valor para N, P e K, Mg e S foram encontrados para 4,0 t ha<sup>-1</sup>, no entanto sem diferença estatística das demais doses avaliadas.

Lima (2011), ao contrário do que foi observado neste trabalho, verificou que os tratamentos com torta de filtro apresentaram teor foliar de fósforo superior aos tratamentos com fertilizantes minerais, no entanto, as avaliações foram feitas em cana-planta. Apesar dos compostos contendo torta de filtro conterem menores teores de P total, eles conferiram maior teor de P foliar à cultura da cana-de-açúcar, cujo resultado pode ser

atribuído à redução da fixação do P pelo solo, tornando este elemento mais prontamente disponível à cultura da cana-de-açúcar.

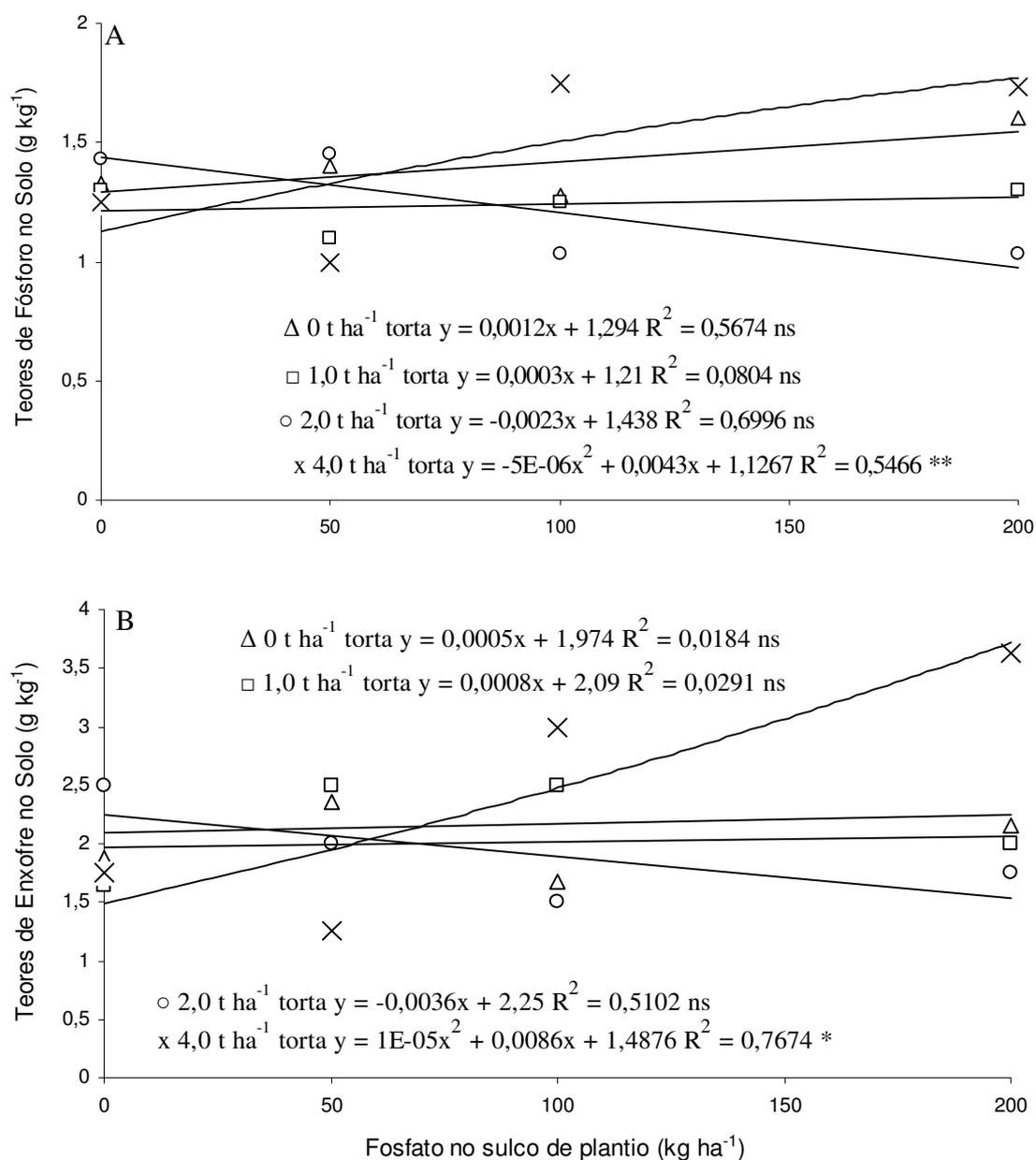
**Tabela 5.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg <sup>-1</sup>					
<b>F</b>						
Doses de Torta	0,25 ns	2,19 ns	1,77 ns	1,84 ns	1,39 ns	0,77 ns
Doses de Fosfato	0,67 ns	1,00 ns	0,45 ns	0,94 ns	1,46 ns	0,62 ns
Torta x Fosfato	0,53 ns	3,31 *	1,01 ns	0,54 ns	0,89 ns	2,70 *
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	25,04	1,40	6,00	1,95	1,38	2,00
1,0	25,50	1,24	6,01	2,19	1,29	2,16
2,0	25,50	1,23	6,88	2,13	1,30	1,94
4,0	25,67	1,43	6,91	1,99	1,56	2,34
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	25,42	1,33	6,38	2,01	1,41	1,94
50	25,67	1,24	6,43	2,01	1,37	2,03
100	25,81	1,33	6,18	2,06	1,58	2,17
200	24,82	1,41	6,80	2,18	1,23	2,38
C.V. (%)	8,38	21,50	21,92	16,16	20,70	18,50

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Quanto ao desdobramento da interação entre doses de torta de filtro e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel aplicadas no sulco de plantio para os teores de fósforo no solo (Figura 4A), não houve efeito significativo das doses de 0, 1,0 e 2,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro aplicadas no plantio, indicando que não houve efeito residual da torta de filtro para esta variável. Já para a dose de 4,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro houve efeito significativo quadrático, com o melhor resultado quando associado a 100 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato. Da mesma forma, ao avaliar o desdobramento de doses de torta de filtro x fosfato para a variável teor de enxofre (Figura 4B), observou-se que não houve efeito significativo em nenhuma das doses de torta de filtro

aplicadas no sulco de plantio, com exceção da dose de 4,0 t ha<sup>-1</sup>, estando o melhor resultado associado a 200 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato.



**Figura 4.** Desdobramento da interação doses de torta de filtro x doses de fosfato da análise de variância referente aos teores de fósforo (A) e enxofre (B). \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2009).

Em relação aos micronutrientes avaliados, a análise da variância indicou a significância das causas de variação relacionadas às doses de torta de filtro para as variáveis Mn e Zn ( $p < 0,01$ ) enquanto que para as doses de fosfato, bem como a interação torta x fosfato, a análise da variância não indicou significância para as variáveis analisadas (Tabela 6). Para doses de torta de filtro, não foram observadas diferenças estatísticas para B, Cu e Fe. Entretanto, as doses crescentes de torta de filtro promoveram redução do teor de Mn nas folhas, o que pode ser resultado de redução da absorção e remoção de Mn, que provavelmente está relacionado com o aumento do pH, visto que o nutriente é convertido para formas menos disponíveis com o aumento do pH (SIMS, 1986), o que aconteceu tanto na camada 0-20 cm quanto na camada 20-40 cm, onde as doses crescentes de torta de filtro elevaram os valores do pH, deixando-os mais próximos da neutralidade, na avaliação química do solo após o corte da cana planta (Tabela 13).

**Tabela 6.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da Variação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>				
<b>F</b>					
Doses de Torta	1,54 ns	1,36 ns	1,16 ns	6,85 **	5,96 **
Doses de Fosfato	1,46 ns	0,69 ns	0,73 ns	0,70 ns	0,96 ns
Torta x Fosfato	1,52 ns	0,55 ns	0,95 ns	0,78 ns	0,77 ns
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
0,0	23,18	1,99	950,4	236,01 ab	68,65 b
1,0	23,49	2,16	1080,8	262,81 a	73,46 b
2,0	22,60	2,00	1076,1	203,30 b	71,69 b
4,0	24,98	2,18	985,78	196,28 b	83,46 a
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>					
0	22,65	2,04	1061,1	225,33	75,61
50	22,66	2,01	1053,1	214,23	70,46
100	25,12	2,18	1087,9	221,17	75,52
200	22,82	2,09	984,2	237,73	75,67
C.V. (%)	17,10	17,02	16,22	19,06	14,13

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

No caso do zinco, a dose de 4,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro aplicada no plantio elevou o teor deste nutriente nas folhas da cana soca, superando estatisticamente os teores apresentados na aplicação das demais doses de torta de filtro. Nas plantas, o zinco potencializa a produção do hormônio de crescimento auxina (TAIZ & ZEIGER, 2004), que pode promover o crescimento da raiz diretamente pela estimulação da elongação da célula vegetal ou divisão celular. Conseqüentemente, o melhor desenvolvimento radicular irá promover aumento de produtividade e biomassa (CARVALHO et al., 2010).

Em relação a utilização de fosfato no plantio não foram observadas diferenças estatísticas em nenhuma das variáveis analisadas. Em estudo realizado em Pirassununga-SP, utilizando a cultivar SP 711406, Korndörfer & Alcarde (1992) também verificaram que para as diferentes fontes de fósforo empregadas, a concentração do elemento nas folhas +3 da cana-planta, coletada aos 3,5 meses após o plantio, não diferiu estatisticamente.

#### **6.6. Teores de nutrientes nas folhas (ressoca)**

A análise da variância dos teores de macronutrientes presentes nas folhas da cana-de-açúcar indicou a significância das causas de variação relacionadas às doses de torta de filtro para as variáveis N, P e K ( $p < 0,01$ ). Já para as doses de fosfato, a análise da variância indicou significância apenas para a variável K ( $p < 0,01$ ). Quanto às interações dessas causas de variação, não foram verificadas significância para nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 7).

Maiores valores de P foram encontrados para 4,0 t ha<sup>-1</sup>, com diferença estatística das demais doses avaliadas, ou seja, a aplicação das doses de torta de filtro no plantio promoveu incremento no teor de P das folhas da ressoca, indicando a eficiência do resíduo em disponibilizar P em longo prazo para o crescimento vegetal. O incremento nos teores de P das folhas se deve aos altos teores de P presentes na composição química da torta de filtro, que são liberados gradativamente devido ao processo de mineralização da matéria orgânica, mantendo a disponibilidade de fósforo no decorrer dos anos.

Em relação ao N, observou-se que as doses crescentes de torta de filtro proporcionaram maior teor deste nutriente nas folhas de cana-de-açúcar quando comparado ao tratamento isento de torta.

De acordo com Moberly & Meyer (1983), vantagens consideráveis podem ser obtidas com a utilização da torta de filtro já decomposta em relação à disponibilidade de nitrogênio. Além da torta de filtro conter N que é disponibilizado lentamente devido o processo de mineralização, tem-se também a interação N x P. Em estudos realizados com solução nutritiva, Alves et al. (1999) observaram que a separação espacial do P e do N pode resultar em menor acúmulo de ambos na parte aérea das plantas. Como a torta de filtro no plantio promoveu incremento no teor de P das folhas da ressoça, esse fato pode ter auxiliado a absorção do N. O fósforo aumenta a eficiência do nitrogênio absorvido o qual se une às cadeias carbonadas, incrementando, assim, a formação de novos tecidos, conseqüentemente, elevando o índice de área foliar e a longevidade das folhas fotossinteticamente ativas, as quais sob condições ambientais favoráveis elevam a eficiência do uso da radiação solar, aumentando, portanto, o acúmulo de matéria natural (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A interação P x N é citada por outros autores. Lee (1982), Schjorring (1996) e Rufty et al. (1993) afirmaram que a deficiência de fósforo é problemática pois pode reduzir a absorção de N. Magalhães (1996) demonstrou que a omissão de P em solução nutritiva por dois dias, reduziu a absorção de nitrato em 63%. A partir do sexto dia de omissão de P, a absorção de nitrato caiu para zero, mesmo na presença de doses satisfatórias na solução nutritiva. A aplicação de P juntamente com N proporcionou a absorção duas vezes maior de Pi pelas raízes, enquanto que a aplicação de Pi separadamente de N proporcionou uma taxa 1,5 vezes menor na absorção de fósforo pelas plantas de milho (MILLER, 1974).

Apesar da torta de filtro não conter teores consideráveis de potássio, as doses crescentes deste subproduto aplicadas no plantio elevaram os teores de potássio nas folhas da cana-de-açúcar na ressoça. De acordo com Moreno (1996), a elevada capacidade de troca catiônica (CTC) conferida pelos grupos funcionais (COOH<sup>-</sup> e OH<sup>-</sup>) das substâncias húmicas, presentes na torta de filtro, ajudam a tornar disponíveis os macronutrientes, como o potássio, devido ao seu elevado poder de retenção e troca de ions entre os grupos e o solo.

Não foram observadas diferenças estatísticas para Ca, Mg e S nas diferentes doses de torta de filtro aplicadas (Tabela 7).

Para aplicação de fosfato solúvel, foi observado diferença estatística para a variável K. Da mesma forma, Cantarella et al. (2002), trabalhando com doses de fósforo

em cana-planta, não observou diferença na concentração foliar de P, mas observou efeito das doses de P no aumento da concentração foliar de K.

Gama (2007), em trabalho com diferentes sistemas de manejo e adubação fosfatada, também não encontrou interação significativa para concentração foliar de fósforo, da mesma forma que Korndörfer & Alcarde (1992), em estudo realizado com doses de fosfato no sulco de plantio em cana-planta.

A análise da variância dos teores de micronutrientes presentes nas folhas da cana-de-açúcar indicou a significância das causas de variação relacionadas às doses de torta de filtro para as variáveis Fe ( $p < 0,01$ ) e Mn ( $p < 0,05$ ). Não foram observadas diferenças estatísticas para B, Cu e Zn nas diferentes doses de torta de filtro aplicadas. Da mesma forma que o observado no segundo corte, as doses crescentes de torta de filtro promoveram redução do teor de Mn nas folhas (Tabela 8).

**Tabela 7.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da Variação	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg <sup>-1</sup>					
<b>F</b>						
Doses de Torta	3,39 *	3,78 *	3,61 *	1,75 ns	1,08 ns	0,68 ns
Doses de Fosfato	1,24 ns	0,66 ns	3,98 *	0,40 ns	0,65 ns	0,10 ns
Torta x Fosfato	0,68 ns	0,41 ns	1,16 ns	0,93 ns	0,52 ns	1,85 ns
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	22,24 b	1,27 ab	5,28 b	1,68	1,31	1,63
1,0	23,57 ab	1,33 ab	5,70 ab	1,78	1,24	1,71
2,0	24,09 a	1,16 b	6,04 a	1,89	1,31	1,74
4,0	24,07 a	1,48 a	6,01 a	1,69	1,42	1,83
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	22,89	1,33	5,45 b	1,73	1,33	1,71
50	24,16	1,28	5,59 ab	1,72	1,29	1,69
100	23,40	1,25	5,69 ab	1,77	1,40	1,74
200	23,53	1,38	6,29 a	1,83	1,27	1,77
C.V. (%)	8,02	20,50	12,91	13,17	14,20	17,23

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Em relação ao Fe, foi verificado na ressoca incremento do teor desse micronutriente nas folhas da cana-de-açúcar adubadas com torta de filtro no plantio (Tabela 8). Nunes Júnior (2008), bem como Ferreira et al. (1986) e Raij (1991), afirmam que além de matéria orgânica, fósforo, cálcio e nitrogênio, a torta de filtro é rica em micronutrientes, principalmente ferro, podendo a torta apresentar 1,2% de ferro em sua composição média, considerando matéria seca.

Quanto ao Mn, absorvido por difusão, funciona na planta como ativador de várias enzimas, como metionina, quinase pirúvica, enolase, descarboxilase pirúvica, piroforilase, dentre outras (MALAVOLTA et al., 1997). Verificou-se que na ressoca, as doses de torta de filtro reduziram a absorção deste elemento pelas plantas, enquanto não houve diferença significativa nos teores foliares para as diferentes doses de fosfato.

**Tabela 8.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas de cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas nos sulcos de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da Variação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>				
<b>F</b>					
Doses de Torta	1,05 ns	1,10 ns	3,87 *	5,51 **	2,30 ns
Doses de Fosfato	0,91 ns	0,41 ns	2,25 ns	2,32 ns	2,50 ns
Torta x Fosfato	1,10 ns	1,00 ns	1,13 ns	1,62 ns	1,58 ns
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
0,0	20,61	1,84	917,8 b	210,18 ab	68,07
1,0	21,06	1,87	1033,6 ab	217,64 a	74,06
2,0	20,31	1,71	1154,4 a	183,23 b	70,08
4,0	22,28	1,95	969,0 ab	181,23 b	75,96
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>					
0	20,68	1,86	1098,0	198,03	76,10
50	20,51	1,75	908,6	182,73	67,68
100	22,26	1,89	1070,1	199,37	74,07
200	20,81	1,86	976,2	212,15	70,32
C.V. (%)	16,10	21,01	18,32	15,97	13,22

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Para Orlando Filho (1992) altos valores de pH do solo limitam a disponibilidade de manganês para a planta. A deficiência também está associada com altos teores de magnésio, cálcio e nitrogênio no solo. Como as doses de cálcio se elevaram consideravelmente, mesmo na ressoca (Tabela 19), pode ter influenciado a disponibilidade de manganês para a planta.

O estado nutricional da cana influencia, dentre outros, as taxas fotossintéticas e o metabolismo da sacarose (ALLISON et al., 1997; MEINZER & ZHU, 1998) tendo, portanto, efeitos na produtividade, longevidade e lucratividade do canavial (MALAVOLTA et al., 1997; DEMATTÊ, 2005). Dentre as opções para monitorar o estado nutricional da planta, bem como para prever a necessidade de adubação, tem-se a diagnose foliar (ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR, 1983; MALAVOLTA et al., 1997; FONTES, 2001).

### **6.7. Produção de colmos e de açúcar (cana soca)**

Os resultados da análise de variância revelaram efeito significativo para produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) da cana soca proporcionado pelas doses de torta de filtro e de fosfato aplicadas no sulco de plantio. No entanto, não foram observados efeitos significativos da interação torta x fosfato sobre essas variáveis (Tabela 9).

Em termos de doses de torta de filtro, a maior TCH na cana soca, 77,58 t ha<sup>-1</sup>, foi obtida com a aplicação de 1,0 t ha<sup>-1</sup> no sulco de plantio, entretanto sem diferença significativa dos tratamentos que receberam 2,0 e 4,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, mas todos sendo superiores ao tratamento com 0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro. Para doses de fosfato, a maior TCH foi verificada com a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup>, porém sem diferença significativa da dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto as doses de 0 e 50 kg ha<sup>-1</sup> proporcionaram as menores produtividades de colmos na cana soca.

A maior produtividade de açúcar (TPH) na cana soca, 15,68 t ha<sup>-1</sup>, foi observada com a aplicação 1,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, a qual não se diferenciou significativamente da TPH obtida com a dose de 2,0 t ha<sup>-1</sup>. Quanto à aplicação de fosfato, as maiores TPHs, 14,96 e 14,68 t ha<sup>-1</sup>, foram encontradas com as aplicações de 200 e 100 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O aumento verificado na produtividade de açúcar foi reflexo da influência

positiva dos tratamentos torta de filtro e fosfato no aumento da TCH, por esta ser resultado entre a produtividade de colmos e a concentração de sacarose.

Penatti & Boni (1989) trabalharam com doses crescentes de torta de filtro (0, 3, 6 e 9 t ha<sup>-1</sup> no sulco de plantio), com e sem adubação mineral de cobertura com nitrogênio e potássio. Os resultados mostraram resposta positiva na produtividade da cana planta e da soca com doses crescentes de torta, não havendo, entretanto, efeito da adubação mineral de cobertura na produtividade. Fravet et al. (2010), em experimento realizado em um Latossolo Vermelho amarelo, no município de Goianésia-GO, também relataram que a produtividade de colmos por hectare (TCH), assim como a de sacarose por hectare (TPH) da cana planta, foram crescentes conforme se elevou as doses de torta de filtro no plantio. Da mesma forma, Tasso Júnior (2007), em experimento conduzido em Jaboticabal-SP (cana-planta), observou que a produtividade de colmos e de açúcar foi maior quando utilizado esse resíduo no sulco de plantio, porém, complementado com fontes minerais. Demattê (2005), por sua vez, avaliou a produtividade de colmos em soqueiras de cana-de-açúcar apenas para diferentes doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados no plantio (100 kg ha<sup>-1</sup>, 200 kg ha<sup>-1</sup> e 400 kg ha<sup>-1</sup>) e não observou diferença significativa para as diferentes doses.

Segundo Santos (2009), a liberação do fósforo presente na torta de filtro para o solo é gradativa, proporcionando residual médio de dois a três cortes, dependendo do clima e da localidade. Para Nunes Júnior (2008), nos climas tropicais, a torta de filtro apresenta residual por dois anos, e nos climas mais amenos, como dos Estados de São Paulo e Paraná, a torta de filtro pode agir no solo por três anos.

Estes resultados positivos, em relação à produção de colmos e de açúcar, são devidos à matéria orgânica da torta de filtro possuir importante papel na melhoria da fertilidade do solo e nas suas propriedades físicas, e que devem ter permanecido para o ano agrícola seguinte, causando efeito benéfico na soqueira da cana-de-açúcar. Para Alleoni & Beauclair (1995), a matéria orgânica de torta de filtro aumenta a capacidade de retenção de água, pois é higroscópica, chegando a reter água em até seis vezes o seu próprio peso. Ainda, promove a redução da densidade aparente do solo e o aumento da porosidade total do solo; forma agregados capazes de reduzir a erosão e aumentar a capacidade de absorção do solo; e aumenta a capacidade de troca catiônica, pela ação de micelas húmicas coloidais, com atividade superior às argilas. Aumenta, também, os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre, a

partir da decomposição e da mineralização da matéria orgânica (BITTENCOURT et al., 2006), e promove a redução da fixação do fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio, bloqueando os sítios de fixação com os radicais orgânicos (TIRITAN et al., 2010).

De acordo com Rossetto et al. (2008), o uso desse resíduo nos canaviais eleva a produtividade da cultura por fornecer matéria orgânica, fósforo, cálcio entre outros nutrientes. Completam ainda que o uso mais eficiente da torta de filtro é aplicá-la no sulco de plantio, devido à água contida na torta favorecer a brotação da cana, e o fósforo, ao ser mineralizado, está próximo das raízes em formação. De fato, Santos et al. (2010) também observaram elevação da produtividade de colmos, porém na cana-planta, com uso de torta de filtro, em que a dose de 4,0 t ha<sup>-1</sup> associada a diferentes doses de fósforo solúvel proporcionou produtividades que variaram, aproximadamente, de 100 a 150 t ha<sup>-1</sup> de colmos. Nossos resultados demonstram o potencial da torta de filtro em sustentar efeitos benéficos à fertilidade do solo para produção de colmos de um ano para outro.

Apesar de o fósforo participar ativamente no processo de formação da sacarose, outros estudos com adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar não demonstraram resposta positiva em relação ao acúmulo de sacarose mesmo em cana-planta (PEREIRA et al., 1995; FIGUEIREDO FILHO, 2002; ROSSETTO et al., 2002). Entretanto, contrário às observações feitas neste trabalho, Santos et al. (2011) observaram efeitos positivos nos valores de sacarose do colmo em cana-planta com o incremento nas doses de fósforo, tanto via torta de filtro, como na mistura de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro.

As doses de torta de filtro associadas com os diferentes níveis de fosfato influenciaram positivamente o índice de área foliar, que está relacionado com a maior produção final de colmos, da mesma forma que o perfilhamento, influenciado pelas doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio, diretamente relacionado à maior produtividade. Ou seja, a torta de filtro promoveu maior perfilhamento e maior índice de área foliar, contribuindo para uma maior produtividade.

Logo, a torta de filtro aplicada no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parcialmente a adubação química fosfatada visando produtividade, tornando-se uma fonte alternativa de grande importância devido, principalmente, ao crescente aumento de preços e disponibilidade incerta de fertilizantes minerais.

**Tabela 9.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias de produtividade de colmos (TCH) e açúcar (TPH) para a cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causa da variação	TCH (t ha <sup>-1</sup> )	TPH (t ha <sup>-1</sup> )
F		
Doses de Torta	3,41*	3,68*
Doses de Fosfato	5,01**	3,08*
Torta x Fosfato	1,50 ns	1,17 ns
Doses de Torta (t ha <sup>-1</sup> )		
0,0	62,80 b	12,68 b
1,0	77,58 a	15,74 a
2,0	66,12 ab	13,92 ab
4,0	65,63 ab	12,74 b
Fosfato (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	60,11 b	12,48 c
50	62,63 b	13,21 b
100	72,80 ab	14,57 ab
200	76,61 a	14,91 a
C.V. (%)	20,81	18,98

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Outros autores também relataram que com a utilização da torta de filtro é possível substituir total ou parcialmente o fósforo proveniente do fertilizante mineral (COLETTI et al., 1980; COLETTI et al., 1982; ALONSO et al., 1984; SILVA et al., 1984; PREZOTTO & GLÓRIA, 1990). Experimentos com torta de filtro também são avaliados em diversos países. A adubação orgânica da cana-de-açúcar com torta de filtro (*in natura* ou após decomposição) vem sendo estudada desde 1980, tendo apresentado resultados positivos em experimentos avaliados em El Salvador, Barbados, Filipinas e Colômbia. O Cenicaña (Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia), em Cali, na Colômbia, realiza testes de cultivo permanente, desde 1982, com torta de filtro *in natura*, obtendo resultados positivos, com aumentos de rendimento de até 25% em comparação aos fertilizantes minerais tradicionais (JAVIER CARBONELL, 2010).

Grande parte dos estudos do fósforo no solo concentra-se na fração inorgânica (NOVAIS & SMYTH, 1999); contudo, a fração orgânica de fósforo (Po) constitui uma porção significativa do fósforo total (Pt), variando de 15 a 80% na maioria dos solos (STEVENSON, 1994). O conteúdo de matéria orgânica é um importante controlador da síntese de Po no solo, e o seu incremento aumenta também a proporção de Po em relação às quantidades totais de fósforo (HARRISON, 1987).

### **6.8. Produção de colmos e de açúcar (ressoca)**

A ressoça, assim como a soca, não foi adubada com fósforo e torta de filtro. Também não recebeu adubação nitrogenada de cobertura e adubação potássica, o que certamente prejudicou a expressão da torta de filtro e os resultados finais de produtividade de colmos e açúcar. A análise da variância não indicou efeito significativo das doses de torta de filtro nas variáveis TCH e TPH. Já para as doses de fosfato, houve significância tanto para TCH ( $p < 0,01$ ) quanto para TPH ( $p < 0,05$ ). Quanto à interação dessas causas de variação também foi verificada significância para as duas variáveis analisadas (Tabela 10).

Resultados positivos da torta de filtro aplicada no plantio sobre a produção de colmos e de açúcar na ressoça da cana-de-açúcar eram esperados, pois, de acordo com Nunes Júnior (2008), a liberação do fósforo presente na torta de filtro para o solo é gradativa, proporcionando residual médio de 2 a 3 cortes, porém depende do clima da localidade, isto é, nos climas tropicais, a torta de filtro apresenta residual por 2 anos e, nos climas mais amenos, como o dos Estados de São Paulo e Paraná, a torta de filtro pode agir por 3 anos.

Ao avaliarem os efeitos da adubação orgânica e mineral, isoladas ou combinadas, na fertilidade do solo e no rendimento da cana-de-açúcar na Índia, Singh & Singh (2002) concluíram que a associação de esterco de curral ou torta de filtro com adubação mineral resultou em aumento significativo no rendimento de colmos para a cana-planta, com efeito residual para a cana-soca.

Já em relação ao fosfato, observou-se que as doses crescentes de  $P_2O_5$  promoveram incrementos na produção de colmos e de açúcar, sendo os melhores resultados apresentados quando foram aplicados  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ .

Os resultados da análise de variância demonstram efeito significativo das doses de fosfato aplicadas no sulco de plantio sobre a produtividade de colmos e de açúcar da ressoça (Tabela 10), bem como da interação torta x fosfato. Tais resultados são devidos, segundo Meyer & Wood (2001), à adubação fosfatada que desempenha papel importante na fotossíntese, no desenvolvimento radicular, no perfilhamento e na qualidade do caldo da cana-de-açúcar para a indústria. Os autores, estudando duas cultivares na África do Sul, verificaram que a adubação fosfatada em um solo altamente deficiente deste nutriente aumentou significativamente a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar.

**Tabela 10.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias de produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) da cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causa da variação	TCH (t ha <sup>-1</sup> )	TPH (t ha <sup>-1</sup> )
F		
Doses de Torta	1,11 ns	1,16 ns
Doses de Fosfato	5,05**	4,19*
Torta x Fosfato	2,12*	2,31*
Doses de Torta (t ha <sup>-1</sup> )		
0,0	53,46	9,25
1,0	57,90	10,03
2,0	53,31	9,20
4,0	55,41	9,42
Fosfato (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	48,66 b	8,44 b
50	56,83 a	9,78 ab
100	59,42 a	10,10 a
200	55,16 ab	9,57 ab
C.V. (%)	12,48	14,94

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

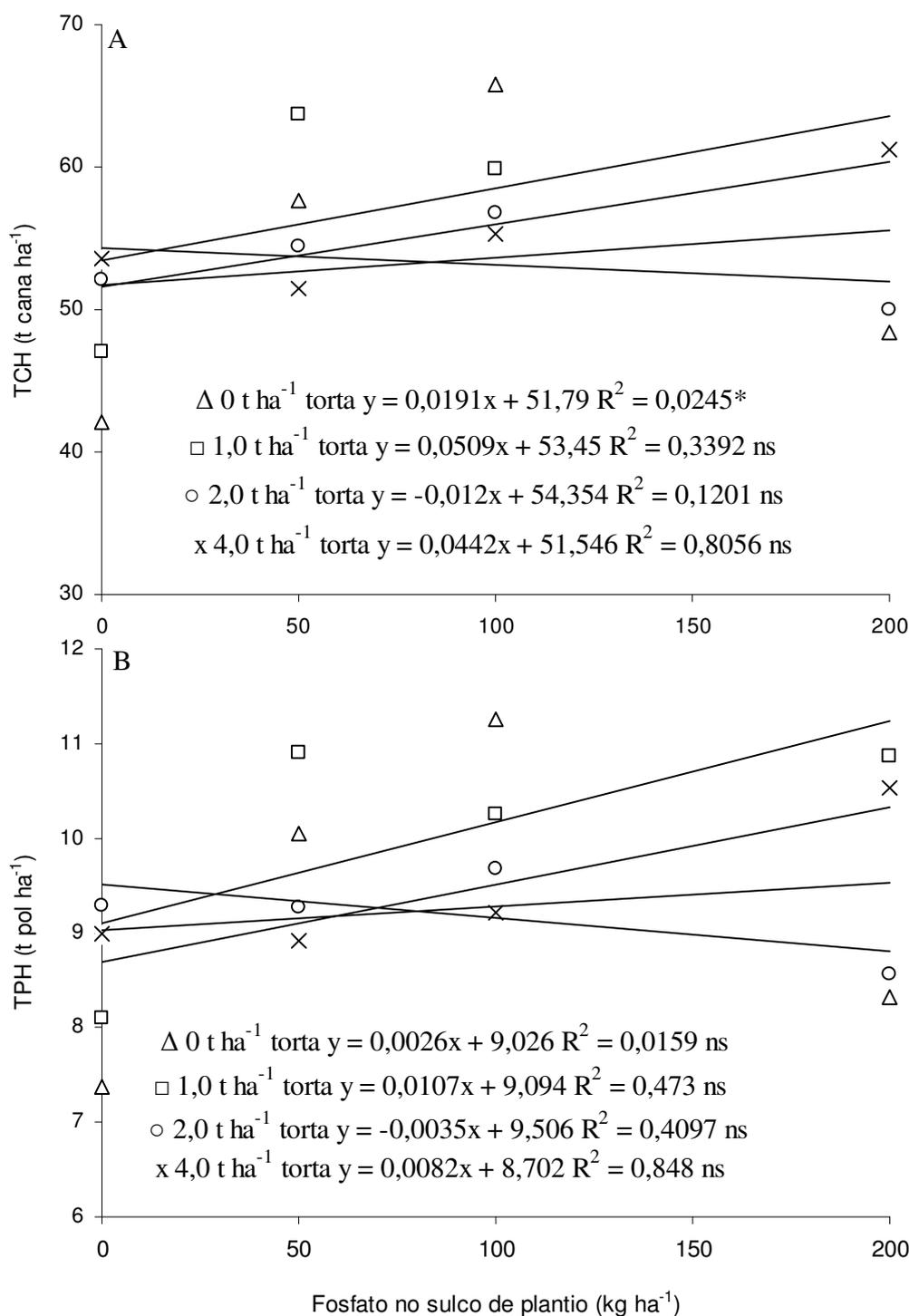
Quanto ao desdobramento da interação entre doses de torta de filtro e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel aplicadas no sulco de plantio para produção de colmos (TCH) (Figura

5A), não houve efeito significativo das doses de 1,0 a 4,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro aplicadas no plantio, indicando que não houve efeito residual da torta de filtro para a variável TCH na ressoca. Da mesma forma, ao avaliar o desdobramento de doses de torta de filtro x fosfato para a variável TPH (Figura 5B), observou-se que não houve efeito significativo na ressoca em nenhuma das doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio. Os resultados apresentados na Figura 5 inferem que outros fatores agiram nestas variáveis, que não os levantados no objetivo, não sendo possível identificar tais fatores, bem como levantar hipóteses para explicar este comportamento. Santos et al. (2011) avaliaram estas variáveis neste mesmo experimento por ocasião do corte da cana-planta e observaram efeito significativo para todas as doses de torta de filtro estudadas, relatando que na ausência da adubação química fosfatada se tem um ganho de produtividade de colmos e açúcar quando se aplica torta de filtro. No entanto, após o terceiro ano de cultivo, a cana-de-açúcar não apresentou ganhos de produtividade, revelando que a torta de filtro, nas doses empregadas, não possui efeito residual.

Baixas produtividades foram obtidas no terceiro corte, comparadas as médias nacionais, apesar da alta disponibilidade hídrica (Figura 1), em função da não adubação de cobertura potássica ao final do primeiro e do segundo ano de cultivo, bem como da adubação nitrogenada de cobertura ao final do segundo ano de cultivo.

Segundo Alexander (1973), o fósforo tem papel importante na formação de sacarose quando o composto glicose-1-fosfato se junta a frutose para formar a sacarose. Porém, os estudos de Orlando Filho e Zambello Júnior (1980), Silva (1983), Korndörfer (1990), Pereira et al. (1995) e Rossetto et al. (2002) não mostraram resposta positiva da adubação fosfatada em relação ao acúmulo de sacarose, ou seja, não ocorreram aumentos na produção de açúcar por área. Figueiredo Filho (2002), trabalhando com adubação fosfatada na dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em solos com teores médios de P, também não observou efeito na produção de açúcar na cana-planta, bem como Cruz et al. (2009).

Para Korndörfer et al. (1998), a produção acumulada de açúcar, cana-de-ano + cana-soca, calculada com base no Brix%, elevou de 17,8 para 21,6 t ha<sup>-1</sup> com o aumento nas doses de fósforo aplicadas. De acordo com Rossetto et al. (2008), a torta de filtro é rica em matéria orgânica e por isso vantajosa para a cultura da cana-de-açúcar, elevando a produtividade. Nunes Júnior (1988), trabalhando com 35 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro fresca



**Figura 5.** Desdobramento da interação doses de torta de filtro x doses de fosfato da análise de variância referente a tonelada de cana por hectare (TCH) (A) e a produtividade de açúcar, em tonelada de pol por hectare (TPH) (B). \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2010).

aplicado no sulco de plantio em um solo do tipo Areia Quartzosa, observou respostas positivas de produtividade em todos os vinte clones estudados, com ganho médio de 13,4% em produtividade e em sacarose, no decorrer dos quatro cortes analisados. Ainda no mesmo ensaio, observou que a cultivar SP 711406 foi a que mais respondeu, com ganho de 92 toneladas em quatro colheitas. Não foi observado prejuízo na maturação das cultivares.

A utilização da torta de filtro nos canaviais promove a elevação da produtividade de colmos e de açúcar por fornecer matéria orgânica, fósforo, cálcio, entre outros nutrientes (SANTOS et al., 2010; ALMEIDA JÚNIOR et al., 2011). O uso mais eficiente deste resíduo é aplicá-lo no sulco de plantio, quando então o teor de água contido na torta favorece a brotação da cana, e o fósforo, ao ser mineralizado, está próximo das raízes (ROSSETTO et al., 2008).

Ferreira et al. (1986) trabalharam com dados médios de quatro usinas na safra 1985/86, cana planta, e também encontraram resultados positivos com o uso da torta de filtro. Os autores compararam o tratamento que recebeu 0 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de torta de filtro, 25 kg ha<sup>-1</sup> de N, 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 125 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com o tratamento 5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de torta de filtro, 0 kg ha<sup>-1</sup> de N, 48 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O primeiro tratamento apresentou produtividade média de 99,8 t ha<sup>-1</sup>, enquanto o segundo, apesar da redução da adubação fosfatada e potássica e a isenção do N, a produtividade obtida foi de 108,5 t ha<sup>-1</sup>, diferença de 8,7 t ha<sup>-1</sup> devido a utilização da torta de filtro. Em cana soca, Ferreira et al. (1986) testaram a aplicação de 0, 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro com 0 kg ha<sup>-1</sup> de N e de K<sub>2</sub>O. A produtividade média nos tratamentos que receberam 0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro foi de 61,3 t ha<sup>-1</sup>, enquanto os que receberam 5 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro a produtividade foi de 71,6 t ha<sup>-1</sup>, e com 10 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro a produtividade de 70,0 t ha<sup>-1</sup>.

### **6.9. Variáveis Tecnológicas (cana soca)**

A análise da variância indicou a significância das causas de variação relacionadas às doses de torta de filtro para as variáveis fibra% cana e teor de fósforo contido no caldo (P caldo). Para doses de fosfato, as causas de variação significativas foram apenas para P caldo. Quanto às interações dessas causas de variação, não se verificou significância em nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 11).

Sabe-se que a adubação fosfatada realizada por ocasião do plantio pode elevar a produção de colmos industrializáveis e de sacarose, além de influenciar positivamente os teores de fósforo do caldo e o acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar no primeiro e segundo corte (CALHEIROS et al., 2011). Assim, a adubação fosfatada e outras práticas culturais que promovam maior disponibilidade de fósforo para a planta influenciarão tanto na produtividade agrícola quanto na qualidade do caldo.

No entanto, a interação entre doses de torta de filtro aplicadas nos sulcos de plantio e  $P_2O_5$  solúvel para porcentagem de sacarose na cana (Pol%) não apresentou efeito significativo (Tabela 11).

Pereira et al. (1995) relataram que fatores como clima, cultivares e manejo do solo exercem influência sobre a quantidade de açúcar acumulado nos colmos da cana-de-açúcar, dificultando a avaliação do efeito de fertilizantes sobre esta variável. O teor de sólidos solúveis presentes no caldo (Brix%), bem como os açúcares redutores totais da cana (ART%) e a pureza do caldo também não foram influenciados pelas doses de torta de filtro e de fosfato (Tabela 11).

Rossetto et al. (2002) também não observaram influência da adubação fosfatada nas características tecnológicas da cana-de-açúcar. Já Elamin et al. (2007) relataram que a deficiência de fósforo resulta em decréscimo significativo no acúmulo de sacarose, uma vez que a adubação fosfatada afeta diretamente a quantidade de açúcar e a pureza do caldo. Glaz et al. (2000) relataram que taxas crescentes de fósforo resultaram em aumentos lineares no rendimento de açúcar, em dois experimentos conduzidos na Flórida (EUA), enquanto no segundo experimento não houve resposta significativa à adubação fosfatada para o rendimento de açúcar, apesar da proximidade das áreas e dos solos possuírem as mesmas características, isto é, ricos em matéria orgânica. Já para Pereira et al. (1995), Lima et al. (2006) e Korndörfer & Melo (2009), a adubação mineral fosfatada não proporcionou efeito nas características tecnológicas da cana-de-açúcar nem entre níveis crescentes de fósforo e Pol% da cana.

As doses crescentes de  $P_2O_5$  não influenciaram o teor de fibra da cana-de-açúcar (Tabela 11). Elamin et al. (2007) também não observaram efeitos significativos da adubação fosfatada sobre o teor de fibra da cana-de-açúcar, em trabalho realizado no Sudão.

Já em relação ao fósforo contido no caldo da cana-de-açúcar não foram encontradas diferenças significativas das doses crescentes de  $P_2O_5$  (Tabela 11), diferente dos

resultados obtidos por Souza et al. (2010) que, trabalhando com quatro doses de  $P_2O_5$  (0; 90; 180 e 270  $kg\ ha^{-1}$ ) na forma de superfosfato triplo, relatou que a presença de fósforo no caldo da cana-planta exerceu papel fundamental no processo de clarificação.

As doses crescentes de torta de filtro proporcionaram elevação do teor de fósforo contido no caldo (Tabela 11), fator de grande interesse das unidades industriais pois o fósforo presente no caldo promove a floculação das impurezas (bagacilho, argila, clorofila, etc.), acelerando o processo de decantação. De acordo com Santos et al. (2010), caldos contendo baixos teores de  $P_2O_5$  são de difícil floculação e, neste caso, a decantação das impurezas é dificultada. Caldo turvo e de coloração intensa implica na produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial.

Segundo Doherty & Rackemann (2008), o desempenho da decantação implica nas etapas subsequentes do processo de fabricação do açúcar, entre elas a filtração do caldo, o coeficiente de transferência de calor no evaporador, a cristalização da sacarose e a qualidade e quantidade de açúcar produzido, além de afetar a cor, a morfologia dos cristais, o teor de cinzas e o conteúdo de polissacarídeos no produto final.

Deve-se considerar também que um processo de decantação lento favorece a inversão da sacarose, elevando as perdas industriais. Logo, ao proporcionar a elevação do teor de fósforo contido no caldo através da torta de filtro, as unidades industriais evitam gastos com adição de  $P_2O_5$  no caldo e perdas durante o processo industrial de fabricação do açúcar, além de garantirem um produto final de maior qualidade.

Segundo Korndörfer (2004), o teor mínimo de  $P_2O_5$  necessário para uma boa floculação é de 200  $mg\ dm^{-3}$ . Valores diferentes são citados por outros autores. Para Honig (1969), Delgado et al. (1973) e Delgado & Cesar (1977) o teor necessário de fosfato ( $P_2O_5$ ) no caldo para uma boa clarificação é de 300 a 350  $mg\ L^{-1}$ . Logo, maiores teores de fósforo no caldo, representam maior economia na adição de fosfato solúvel para garantir uma boa clarificação.

Serra et al. (1974), trabalhando com três diferentes tipos de solos, relataram que a adubação fosfatada provocou incremento no teor de  $P_2O_5$  do caldo da cana-de-açúcar. Efeitos positivos nos teores de  $P_2O_5$  no caldo também foram verificados por Pereira et al. (1995) quando houve aplicação de doses crescentes de fósforo no plantio. Já Orlando Filho

& Zambello Júnior (1980) constataram, igualmente, que a adição de níveis crescentes de fósforo nem sempre provocou aumento no teor desse elemento no caldo.

**Tabela 11.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias das variáveis tecnológicas (Fibra%, °Brix, Pureza, ART, Pol% cana e P contido no caldo) da cana-de-açúcar (soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Tratamento	Fibra	Brix	Pureza %	ART	Pol Cana	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Caldo (mg L <sup>-1</sup> )
<b>F</b>						
Torta (T)	7,08**	0,63 ns	1,06 ns	1,54 ns	0,99 ns	101,78**
Fosfato (F)	0,94 ns	0,55 ns	0,55 ns	0,87 ns	0,53 ns	2,97 ns
T x F	0,81 ns	0,55 ns	1,56 ns	1,26 ns	0,88 ns	0,48 ns
<b>Doses de Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	13,46 a	18,68	92,76	18,90	17,31	239,56 d
1,0	12,72 b	18,29	93,32	18,86	17,06	259,36 c
2,0	13,19 a	18,51	93,26	19,20	17,26	272,38 b
4,0	13,29 a	18,43	91,90	19,21	16,94	283,43 a
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	13,32	18,38	92,56	18,87	17,01	260,94
50	13,10	18,60	92,30	18,98	17,06	261,14
100	13,06	18,62	93,00	19,12	17,31	265,03
200	13,18	18,32	93,37	19,19	17,09	267,60
C.V. (%)	3,65	4,47	2,75	3,18	4,09	2,83

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

### 6.10. Variáveis Tecnológicas (ressoca)

A ressoca, assim como a soca, não recebeu adubação potássica, além de não ter recebido adubação nitrogenada de cobertura, o que certamente prejudicou a expressão da torta de filtro nos resultados finais de produtividade de colmos e açúcar. No entanto, os efeitos da torta de filtro foram expressos nos teores de fósforo contido no caldo. A

análise da variância indicou efeito significativo das doses de torta de filtro somente para a variável teor de fósforo contido no caldo (P caldo). Para doses de fosfato, os efeitos significativos foram para P caldo e açúcares redutores totais (ART). Quanto às interações dessas causas de variação, verificou-se significância para o teor de sólidos solúveis (Brix) e para o Pol da cana (Tabela 12).

**Tabela 12.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e médias das variáveis tecnológicas (Fibra%, °Brix, Pureza, ART, Pol% cana e P contido no caldo) da cana-de-açúcar (ressoca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Tratamento	Fibra	Brix	Pureza	ART	Pol Cana	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Caldo (mg L <sup>-1</sup> )
	%					
<b>F</b>						
Torta (T)	2,54 ns	2,47 ns	1,01 ns	1,76 ns	2,57 ns	650,23**
Fosfato (F)	2,19 ns	1,07 ns	0,46 ns	2,87*	2,64 ns	29,92**
T x F	1,30 ns	2,88**	1,18 ns	1,43 ns	2,14*	1,21 ns
<b>Doses de Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	13,37	18,56	93,46	18,89	18,34	184,48 d
1,0	13,07	18,73	92,56	19,06	17,34	202,51 c
2,0	13,16	18,39	94,09	19,16	17,29	210,58 b
4,0	13,33	18,25	93,17	19,41	16,98	219,79 a
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	13,40	18,65	93,17	19,28 ab	17,36	200,60 d
50	13,24	18,47	93,24	19,02 ab	17,22	203,03 c
100	13,18	18,31	92,93	18,79 b	17,00	205,73 b
200	13,10	18,50	93,93	19,42 a	17,36	208,01 a
<b>C.V. (%)</b>	2,65	2,89	2,71	3,42	2,47	1,15

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Marinho et al. (1975), em solos do Estado de Alagoas, também observaram efeitos positivos na concentração de Brix com o incremento nas doses de fósforo.

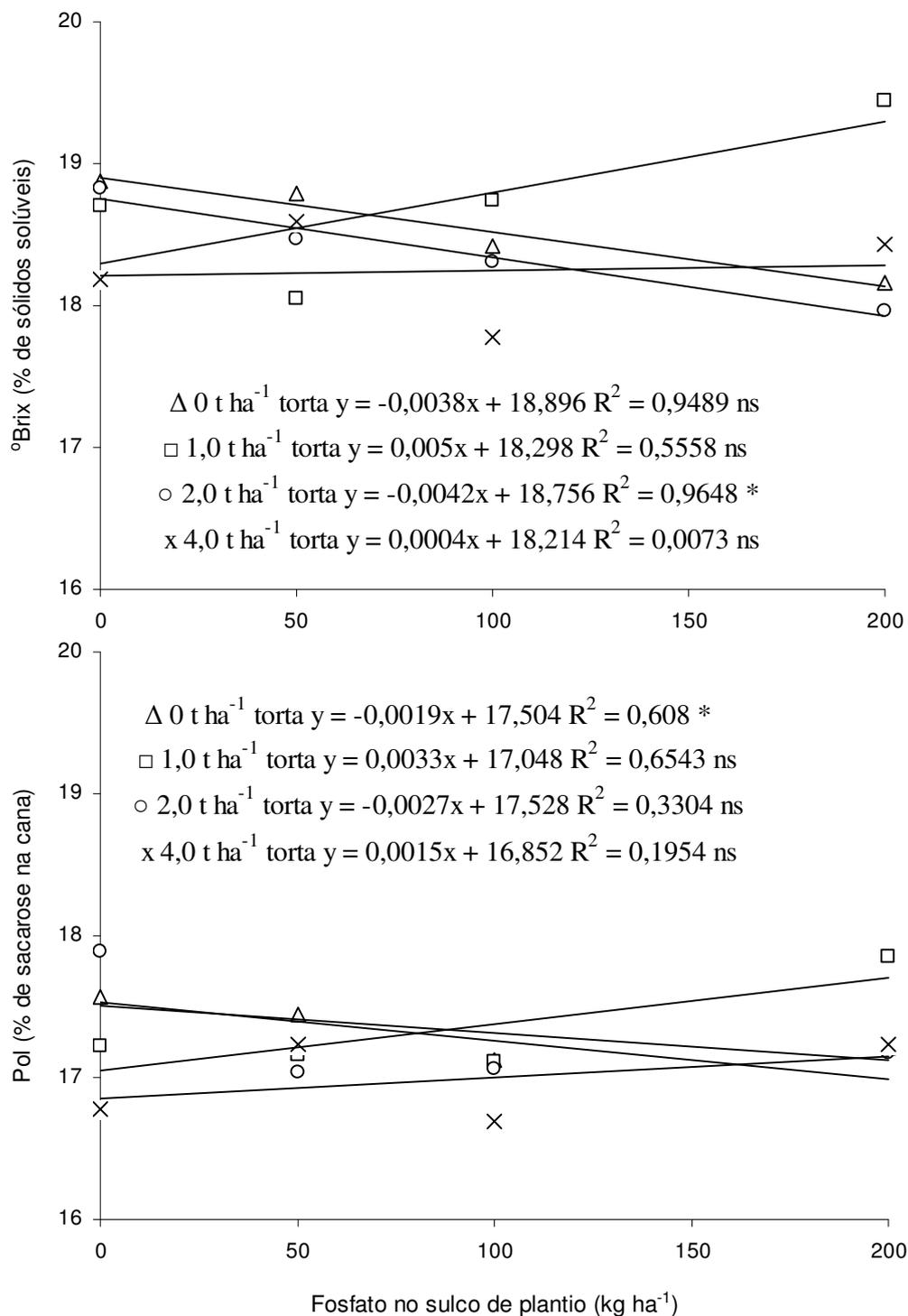
Da mesma forma, Pereira et al. (1995), em experimento realizado em Juazeiro, Bahia, verificaram que os níveis crescentes de fósforo provocaram aumento do teor desse elemento no caldo da cana, mas não tiveram efeito sobre o pol% caldo, e que, devido a fatores edáficos, climáticos e varietais, é difícil verificar a influência da adubação fosfatada sobre a concentração de sacarose.

Quanto ao desdobramento da interação entre doses de torta de filtro e doses de  $P_2O_5$  solúvel aplicados no sulco de plantio para a variável °Brix (Figura 6A), verificou-se que não houve efeito significativo das doses de torta de filtro aplicadas no plantio, com exceção da dose de  $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ , que foi decrescente conforme se elevou as doses de fosfato. Os resultados indicam que o efeito residual da torta de filtro deixou de existir para a variável °Brix. Da mesma forma, ao avaliar o desdobramento de doses de torta de filtro x fosfato para a variável Pol%cana (Figura 6B), observou-se que não houve efeito significativo das doses de  $1,0$  a  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio.

No exterior, Nema et al. (1995) verificaram diminuição no teor de pol% cana quando da aplicação da adubação mineral isolada e aumentos nos valores de pol% cana quando foram usadas adubações orgânicas associadas ou não a adubação química. Já Vijav et al. (2001) também notaram que a aplicação de fertilizantes inorgânicos combinados com adubos orgânicos promoveu aumentos significativos no teor da pol% cana.

Já no Brasil, Anjos et al. (2007), em experimento instalado em Perdões-MG, conseguiram substituir a adubação química pela orgânica sem perdas na qualidade da matéria-prima e no rendimentos de colmo e de açúcar de duas cultivares de cana-de-açúcar. Santos et al. (2010) também concluíram que as doses de torta de filtro e suas combinações com o fosfato não alteraram a qualidade do caldo da cana.

As doses crescentes de fósforo aplicadas no plantio elevaram os teores de  $P_2O_5$  no caldo da cana em seu terceiro corte (Tabela 12). Resultados semelhantes foram obtidos por Gama (2007), que verificou que áreas com adubação corretiva de P proporcionaram maior concentração de  $P_2O_5$  no caldo, diferindo estatisticamente das áreas sem fosfatagem. Da mesma forma, Jarussi (1998), trabalhando com adubação fosfatada em solo argiloso com termofosfato, conseguiu elevar a concentração de fósforo no caldo da cana-de-açúcar. Por outro lado, Marinho & Oliveira (1980), trabalhando com aplicação de  $225 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  na cana-planta, em solos com baixos teores de P, não conseguiram aumento na



**Figura 6.** Desdobramento da interação doses de torta de filtro x doses de fosfato da análise de variância referente aos sólidos solúveis no caldo (°Brix) (A) e ao teor de sacarose na cana (pol% cana) (B). \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo (Presidente Prudente, SP, 2010).

concentração de  $P_2O_5$  no caldo, necessário para uma boa clarificação.

Já em relação as doses de torta de filtro aplicadas no plantio, verificou-se que estas também elevaram os teores de  $P_2O_5$  no caldo da cana em seu terceiro corte (Tabela 12). Benefícios da torta de filtro são citados por diversos autores, não só em relação ao fósforo presente no caldo, como em produtividade de colmos e de açúcar (FERREIRA et al., 1986; ROSSETTO et al., 2008; SANTOS et al., 2010; SANTOS et al., 2011; SANTOS et al., 2012).

Atualmente a alta dos preços dos fertilizantes é motivo de preocupação para o setor sucroalcooleiro pela importância que tem para o desenvolvimento da cana, pois os solos tropicais são muito intemperizados e normalmente apresentam regular ou baixa fertilidade, não suprimindo a cultura com a quantidade necessária de nutrientes. O uso de torta de filtro no solo representa grande reciclagem de nutrientes e de matéria orgânica. Neste momento de alta no preço dos fertilizantes, a utilização deste resíduo significa melhor aproveitamento e economia no uso do fósforo (SANTOS, 2009).

#### **6.11. Análise de Solo (cana soca)**

As propriedades químicas do solo, avaliadas aos 24 meses após a aplicação dos tratamentos, estão relacionadas nas Tabelas 13, 14, 15 e 16.

A análise da variância indicou a significância das causas de variação relacionadas às doses de torta de filtro para as variáveis CTC, pH e H+Al na camada 0-20 cm e para todas as variáveis, com exceção da CTC e do P na camada 20-40 cm de solo. Para doses de fosfato, as causas de variação significativas foram para as variáveis V% e P na camada 0-20 cm e para SB, V% e P na camada de 20-40 cm. Quanto às interações dessas causas de variação, verificou-se significância apenas para a variável pH, quando se analisou a camada de 0-20 cm, enquanto que para a camada de 0-40 cm houve significância para as variáveis SB, V% e Mg (Tabelas 13, 15 e 16).

Ao analisar o pH do solo (Tabela 13), não foram observadas diferenças estatísticas entre as doses de fosfato aplicadas por ocasião do plantio tanto na camada 0-20 cm, quanto na camada de 0-40. Já em relação às doses de torta de filtro, observou-se que as doses crescentes deste subproduto elevaram os valores do pH, deixando-os mais próximos da neutralidade.

De acordo com Novais & Smyth (1999), o aumento do pH torna a carga superficial de partículas do solo mais negativa, aumentando a repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente, tendo como consequência menor adsorção. Da mesma forma, Slattery et al. (1991) relataram que o efeito das doses de torta de filtro, em diversos experimentos por eles realizados, foi elevar o pH do solo medido ao final de cada experimento. Nesse contexto, a presença de ácidos orgânicos é considerado um fator importante na elevação do pH do solo.

Já Dee et al. (2003), pesquisando a resposta da adição de três tipos de resíduos da indústria sucroalcooleira na acidez do solo encontraram que, o pH do solo aumenta com a adição destes resíduos, na ordem de: cinzas da caldeira > fuligem > torta de filtro. Para todos os resíduos, este efeito apresentou-se geralmente maior na dose mais alta do resíduo adicionado, isto é, na dose de 20 t ha<sup>-1</sup>.

Firme & Rodella (2006), por sua vez, trabalhando com elevadas doses de torta de filtro, relataram que mesmo com a aplicação de 40 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro não foram observados efeitos significativos sobre o pH do solo.

Avaliando a variável H+Al (acidez potencial) do solo, não foram verificadas diferenças estatísticas entre as doses de fosfato aplicadas por ocasião do plantio tanto na camada 0-20 cm quanto na camada de 0-40 (Tabela 13). Já para torta de filtro, observou-se que doses crescentes deste subproduto reduziram, com diferença estatística em relação à dose de 0 t ha<sup>-1</sup>, os valores de H+Al. A acidez potencial é constituída pelos íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> presentes nos colóides do solo, logo reduzir este valor significa redução na acidez do solo, como já discutido anteriormente.

No caso dos teores de MO presentes no solo após 24 meses da aplicação dos tratamentos, observou-se que não houve efeito significativo na camada 0-20 cm, tanto das diferentes doses de torta de filtro quanto das doses de fosfato (Tabela 13). Da mesma forma, na camada 20-40 cm, não foram observadas diferenças estatísticas para as diferentes doses de fósforo, assim como a dose de 4,0 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro não diferiu estatisticamente do tratamento que isento de torta (0 t ha<sup>-1</sup>) (Tabela 13). Diferente do observado, resultados positivos em relação à matéria orgânica presente no solo seriam esperados, pois a torta de filtro, composto basicamente orgânico, apresenta altos teores de matéria orgânica, além de fósforo, nitrogênio e cálcio, com residual médio de 2 a 3 cortes, dependendo do clima da localidade (NUNES JÚNIOR, 2008).

De acordo com Tiessen & Moir (1993), uma importante função da matéria orgânica do solo diz respeito ao fornecimento de nutrientes aos vegetais, principalmente em relação ao fósforo, elemento mais limitante no desenvolvimento da agricultura em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais. Nesses solos, o componente orgânico representa parte considerável do conteúdo disponível de fósforo (TURNER et al., 2003), que contribui para a nutrição das plantas pela sua mineralização (SIQUEIRA & MOREIRA, 2001). Tal relação entre a matéria orgânica e o fósforo do solo revela porque ambos apresentaram o mesmo tipo de resultado neste trabalho, ou seja, não encontrou-se diferença estatística nestas duas variáveis (Tabelas 13 e 14).

**Tabela 13.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis pH, H+Al e MO do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da Variação	pH (CaCl <sub>2</sub> )		H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		MO (g dm <sup>-3</sup> )	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
<b>F</b>						
Doses de Torta	3,50 *	5,54 **	6,05 **	7,51 **	1,55 ns	6,64 **
Doses de Fosfato	0,51 ns	0,20 ns	1,53 ns	0,53 ns	1,68 ns	0,49 ns
Torta x Fosfato	2,92 *	0,66 ns	1,46 ns	1,78 ns	1,83 ns	0,62 ns
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	4,8 b	4,6 b	21 a	23 a	9,9	8,8 a
1,0	5,1 ab	4,9 ab	18 b	18 b	8,8	7,7 b
2,0	5,2 a	5,0 a	17 b	20 b	9,2	7,7 b
4,0	5,1 ab	5,0 a	18 b	18 b	9,3	8,5 ab
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	5,1	4,8	18	21	9,1	8,4
50	4,9	4,9	19	20	9,9	8,1
100	5,0	4,9	19	21	9,4	8,0
200	5,1	4,9	18	20	8,8	8,2
C.V. (%)	7,42	7,46	12,29	15,17	16,97	10,90

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Kiehl (1999) relata que a matéria orgânica contida no fertilizante organomineral é um condicionador do solo pois influi nas suas propriedades. No entanto, para

a matéria orgânica agir como condicionador do solo ela deve ser empregada em grandes dosagens e como a quantidade em que ela entra no fertilizante organomineral é relativamente pequena, somente em longo prazo, com o uso contínuo, é que se poderão notar tais efeitos.

Já em relação aos teores de fósforo, observou-se que as doses crescentes de torta de filtro elevaram os teores deste nutriente no solo, principalmente na camada 20-40 cm, no entanto sem diferença estatística. Quanto aos diferentes níveis de fosfato, observou-se efeito significativo nos teores, com resultados positivos das diferentes doses comparados com o tratamento que isento deste nutriente ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ), com destaque para a dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , que apresentou os melhores resultados tanto na camada 0-20 cm quanto na 20-40 cm, como pode ser observado na Tabela 14.

**Tabela 14.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de P do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da Variação	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	
	0-20 cm	20-40 cm
F		
Doses de Torta	0,79 ns	0,90 ns
Doses de Fosfato	3,82 *	6,06 **
Torta x Fosfato	0,61 ns	1,49 ns
Torta ( $\text{t ha}^{-1}$ )		
0,0	22	19
1,0	25	21
2,0	23	21
4,0	23	22
Fosfato ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
0	19 b	16 b
50	24 a	22 a
100	25 a	23 a
200	24 a	21 ab
C.V. (%)	17,42	18,26

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

A adubação química fosfatada, bem como a adubação com torta de filtro, elevaram os valores de fósforo no solo em comparação aos teores obtidos na análise realizada antes da instalação do experimento, na camada 0-20 cm e principalmente na camada 20-40 cm de profundidade.

Ao analisar os teores de cálcio, não foram observadas diferenças significativas, tanto na camada 0-20 cm quanto na 20-40 cm, para as doses de fosfato. No entanto, houve diferença estatística nos teores de Ca na camada 20-40 cm do solo após 24 meses, com aumento de sua quantidade de acordo com o aumento das doses de torta aplicadas no sulco de plantio (Tabela 15). Incrementos na quantidade de cálcio do solo, advindos da aplicação da torta de filtro, eram esperados, pois este resíduo possui grande quantidade de cálcio que, segundo Santos et al. (2010), é resultado da chamada caleação do caldo, durante o processo de tratamento do mesmo, para a fabricação de açúcar.

Em relação às doses de magnésio, observou-se que tanto as doses crescentes de torta de filtro quanto as doses crescentes de fosfato não interferiram nesse elemento em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 15). Os teores de magnésio, tanto na camada 0-20 quanto na camada 20-40 cm de profundidade, foram inferiores comparados aos obtidos na análise química realizada antes da instalação do experimento, devido à extração durante os três anos de cultivo.

Diferenças estatísticas ao analisar os teores de potássio foram encontradas apenas para as doses de torta de filtro na camada de 20-40 cm, com resultados positivos da adição de doses crescentes de torta de filtro (Tabela 15).

Em solos tropicais, altamente intemperizados, os resíduos orgânicos apresentam grande importância no fornecimento de nutrientes às culturas, e também, de acordo com Severino et al. (2006), na retenção de cátions, na complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura do solo, na retenção e infiltração de água, aeração, e na atividade e diversidade microbiana, constituindo um componente fundamental da capacidade produtiva do solo. Cardozo (1988), trabalhando com 5 t ha<sup>-1</sup> de torta seca aplicado no sulco, 30 e 50 t ha<sup>-1</sup> de composto de torta de filtro e bagaço aplicado em área total e adubação mineral, observou que com apenas 5 t ha<sup>-1</sup> de massa seca houve melhoria na disponibilidade de nutrientes.

Em relação à soma de bases (SB), não foram observadas diferenças estatísticas na camada de 0-20 cm, tanto para as doses crescentes de torta de filtro quanto para as doses crescentes de fosfato. As diferenças ocorreram na camada 20-40 cm do solo, em função da aplicação de doses crescentes da torta de filtro (Tabela 16). A análise química apontou valores inferiores de soma de bases comparadas à análise realizada antes do plantio, tanto na camada 0-20 quanto na camada 20-40 cm de profundidade, devido a extração de cálcio, magnésio e potássio durante os três anos de cultivo, sem a reposição destes nutrientes.

**Tabela 15.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis Ca, Mg e K do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da Variação	Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
<b>F</b>						
Doses de Torta	1,12 ns	6,50 **	2,15 ns	3,89 ns	2,37 ns	5,35 **
Doses de Fosfato	1,36 ns	2,04 ns	2,10 ns	3,51 ns	1,29 ns	1,17 ns
Torta x Fosfato	0,65 ns	0,50 ns	1,17 ns	4,20 **	1,11 ns	0,57 ns
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	3,05	3,69 b	5,53	3,50	2,81	1,75 b
1,0	3,17	5,13 a	5,39	4,43	2,44	2,00 ab
2,0	3,26	5,13 a	4,98	4,38	2,72	2,06 ab
4,0	3,46	5,68 a	4,71	3,95	2,96	2,31 a
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	3,49	5,41	5,58	4,19	2,58	1,94
50	3,18	4,81	4,94	4,41	2,85	2,00
100	3,04	4,38	4,75	3,85	2,69	2,00
200	3,23	4,94	5,33	4,21	2,94	2,19
<b>C.V. (%)</b>	<b>19,90</b>	<b>16,43</b>	<b>20,03</b>	<b>14,87</b>	<b>19,23</b>	<b>19,68</b>

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

As partículas coloidais do solo podem apresentar cargas negativas que atraem cátions dissociados, os quais podem ser substituídos por outros, adicionados por soluções salinas ou ácidas. A propriedade do solo de trocar cátions com a solução é conhecida como capacidade de troca de cátions (CTC), a qual é de grande importância agrícola. Ao

analisar a CTC, foram observadas diferenças estatísticas apenas para as doses de torta de filtro na camada de 0-20 (Tabela 16), com resultados que não indicam elevação ou redução dos valores, podendo inferir que tanto as doses de torta de filtro como as de fosfato não interferem na CTC (Tabela 16).

Resultados positivos eram esperados uma vez que a matéria orgânica atua de forma primordial na estruturação do solo, promovendo maior agregação e arranjo das partículas sólidas, elevando a porosidade, facilitando a infiltração e o armazenamento de água, além de promover aumento na CTC.

**Tabela 16.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis SB, CTC e V% do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (primeira soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2009).

Causas da Variação	SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		V (%)	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
<b>F</b>						
Doses de Torta	0,65 ns	15,42 **	3,38 *	0,60 ns	0,66 ns	18,05 **
Doses de Fosfato	1,76 ns	4,31 *	0,59 ns	0,63 ns	4,77 **	2,84 *
Torta x Fosfato	1,57 ns	4,97 **	2,08 ns	1,75 ns	1,33 ns	3,18 **
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	11,81	8,75 b	32,59 a	31,19	37,94	27,01 b
1,0	11,10	11,63 a	28,41 b	31,63	40,04	37,93 a
2,0	11,16	11,50 a	30,14 ab	31,19	41,15	38,80 a
4,0	11,20	11,56 a	29,85 ab	30,38	39,46	39,33 a
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	11,95	11,50 a	30,96	31,44	43,79 a	36,56 ab
50	11,15	10,88 ab	29,51	31,00	37,94 ab	35,20 ab
100	10,68	9,81 b	29,76	30,38	35,64 b	32,89 b
200	11,49	11,25 a	30,77	31,56	41,23 ab	38,42 a
C.V. (%)	14,37	13,20	12,49	8,67	16,59	15,45

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

A saturação por bases (V%) é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. Um índice V% baixo significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>, saturando as cargas negativas dos colóides. Resultados

positivos em relação ao V% foram encontrados na camada 20-40 cm do solo, com a aplicação das doses crescentes de torta de filtro (Tabela 16). Já na camada 0-20 não foram observados efeitos significativos. Em relação ao fosfato, verificou-se diferenças estatísticas promovidas pelas doses, no entanto com resultados que não evidenciam elevação ou redução dos valores de V%.

### **6.12. Análise de Solo (ressoca)**

As propriedades químicas do solo, avaliadas aos 36 meses após a aplicação dos tratamentos, estão relacionadas nas tabelas 17, 18, 19 e 20.

A análise da variância indicou efeito significativo das doses de torta de filtro nas variáveis V% e MO na camada 0-20 cm e nas variáveis SB, V%, Ca, H+Al e MO na camada 20-40 cm de solo. Para doses de fosfato foram observados efeitos significativos nas variáveis V% e P na camada 0-20 cm e para SB, Ca e P na camada de 20-40 cm. Quanto às interações dessas causas de variação, não verificou-se significância em nenhuma das variáveis avaliadas, tanto na camada de 0-20 cm, quanto na camada de 0-40 cm (Tabelas 17, 18 e 19).

Ao avaliar os valores de pH do solo, não foram observadas diferenças estatísticas entre as doses de torta de filtro, bem como as doses de fosfato, aplicadas por ocasião do plantio tanto na camada 0-20 cm quanto na camada de 0-40, o que difere dos resultados obtidos para a cana soca (segundo corte), indicando que o efeito residual da torta de filtro deixou de existir para a variável pH (Tabela 17).

Quanto a variável H+Al do solo, assim como na cana soca, não foram observadas diferenças estatísticas entre as doses de fosfato aplicadas por ocasião do plantio tanto na camada 0-20 cm quanto na camada de 0-40 (Tabela 17). Já em relação às doses de torta de filtro, observou-se que as doses crescentes deste subproduto reduziram, com diferença estatística do tratamento isento de torta de filtro ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ), os valores de H+Al apenas na camada 20-40, o que significa redução na acidez do solo em maior profundidade.

No caso dos teores de MO presentes no solo após 36 meses da aplicação dos tratamentos, observou-se que doses crescentes de torta de filtro elevaram os valores de MO quando comparados aos tratamentos sem a presença de torta ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ), principalmente na profundidade de 20-40 cm (Tabela 17). Entretanto, em relação às diferentes

doses de fosfato aplicadas, observou-se que não houve efeitos significativos, tanto na camada 0-20 quanto na camada 0-40 cm.

Uma importante função da matéria orgânica diz respeito ao fornecimento de nutrientes aos vegetais, principalmente em relação ao fósforo, elemento mais limitante no desenvolvimento da agricultura em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais (TIESSSEN & MOIR, 1993). Nesse sentido, a torta de filtro desempenhou papel fundamental na elevação da MO tanto a longo prazo quanto em profundidade.

**Tabela 17.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis pH, H+Al e MO do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro, aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da Variação	pH (CaCl <sub>2</sub> )		H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		MO (g dm <sup>-3</sup> )	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
<b>F</b>						
Doses de Torta	0,34 ns	1,36 ns	1,03 ns	4,28 *	3,23 *	5,60 **
Doses de Fosfato	0,88 ns	0,24 ns	0,20 ns	0,16 ns	0,36 ns	2,39 ns
Torta x Fosfato	0,38 ns	0,51 ns	0,97 ns	0,50 ns	0,46 ns	1,24 ns
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	4,9	4,4	20	24 a	9,3 a	7,7 b
1,0	4,9	4,4	20	22 ab	7,9 b	7,4 b
2,0	4,9	4,7	20	21 b	8,8 ab	8,1 ab
4,0	5,0	4,6	18	21 b	8,6 ab	8,6 a
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	4,8	4,4	20	22	8,5	7,6
50	4,9	4,6	19	22	8,7	7,8
100	5,0	4,6	20	23	8,4	8,3
200	5,1	4,6	20	22	8,9	8,2
C.V. (%)	8,98	11,25	14,11	13,99	15,31	11,55

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Já em relação a variável P, não foi verificado efeito das diferentes doses de torta de filtro, após três anos de aplicação, nos teores de fósforo do solo, indicando nenhum efeito residual da torta de filtro sobre esta variável (Tabela 18). Nardin (2007), por sua vez, trabalhando em um Argissolo, verificou que a torta de filtro promoveu uma melhoria

na fertilidade do solo na camada de 20-40 cm com aumentos significativos de cálcio e fósforo, no entanto no primeiro corte (cana-planta).

Quanto aos diferentes níveis de fosfato, observou-se na ressoca efeito significativo nos teores de fósforo no solo, com resultados positivos das diferentes doses comparados com o tratamento isento deste nutriente ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ), tendo a dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , apresentado os melhores resultados, tanto na camada 0-20 cm quanto na 20-40 cm (Tabela 18).

Korndörfer & Alcarde (1992) também observaram efeito significativo nos teores de fósforo do solo nas soqueiras da cana-de-açúcar. Os autores constataram que depois de 34,5 meses, mais de 30% do aumento nos teores de fósforo disponível no solo oriundos da adubação de plantio ainda permaneciam no solo. Destacaram também que o efeito residual do fósforo no solo oriundo de fertilizantes tende a ser maior na cana-de-açúcar do que em culturas anuais devido a localização no fundo do sulco de plantio e ausência de movimentação do solo durante quatro anos ou mais, período de vida útil dos canaviais.

O fósforo aplicado no solo tem demonstrado efeitos residuais positivos e significativos para diversas culturas, provavelmente por estar mais relacionado ao fator capacidade dos solos e por ser pouco requerido pelas plantas em relação aos outros macronutrientes (RAO et al., 1991; DHILLON & BAHL, 1992; RAMAMURTHY & SCHIVASHANKAR, 1996; MASTHAN et al., 1998).

Ao analisar os teores de magnésio e potássio, observou-se que tanto as doses crescentes de torta de filtro quanto às doses crescentes de fosfato não apresentam diferença estatística nas camadas 0-20 e 20-40 cm (Tabela 19). Em relação aos teores de cálcio, não foram observadas diferenças significativas na camada 0-20 cm, tanto para as doses de torta de filtro, quanto para as doses de fosfato. No entanto, na camada 20-40, as doses de fosfato e de torta aplicadas no solo por ocasião do plantio proporcionaram maior teor de cálcio no solo após 36 meses, comparando com o tratamento que não recebeu a torta (Tabela 19). Incrementos na quantidade de cálcio do solo advindos da aplicação da torta de filtro ocorrem pois este subproduto possui grande quantidade de cálcio, resultado da caleação durante o processo de tratamento do caldo, a qual promove a floculação e favorece a decantação das impurezas (SANTOS et al., 2010).

**Tabela 18.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para os teores de P do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da Variação	P (mg dm <sup>-3</sup> )	
	0-20 cm	20-40 cm
F		
Doses de Torta	2,15 ns	1,36 ns
Doses de Fosfato	6,45 **	5,05 *
Torta x Fosfato	1,01 ns	1,02 ns
Torta (t ha <sup>-1</sup> )		
0,0	13	7
1,0	14	8
2,0	13	8
4,0	14	8
Fosfato (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	11 b	6 b
50	14 a	8 ab
100	14 a	9 a
200	14 a	8 ab
C.V. (%)	15,87	24,10

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Dentro da dinâmica do cálcio no solo, é relevante destacar a possibilidade de sua movimentação para camadas abaixo da camada arável. Isto porque o enriquecimento de camadas mais profundas com cálcio pode ser de grande importância para o enraizamento em profundidade, quando se trata de solos intemperizados. Neste sentido, a matéria orgânica da torta de filtro pode ter contribuído para a elevação dos teores de cálcio também na camada 20-40 cm uma vez que a aplicação de resíduos orgânicos ao solo pode ser importante para aumentar a lixiviação de cálcio (FURTINI NETO et al., 2001). Em solos que receberam calcário, a elevação do pH favorece a mineralização (ROSOLEM et al., 2003), aumentando a liberação de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, a percolação de Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> com a água (MAGGI et al., 2011). A combinação de calagem e incorporação de resíduos orgânicos pode ainda promover significativa lixiviação de cálcio na forma de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, devido a aceleração da nitrificação pelo aumento do pH.

Em relação à soma de bases (SB) na ressoca, não foram observadas diferenças estatísticas na camada de 0-20 cm tanto para as doses crescentes de torta de filtro quanto para as de fosfato. As diferenças ocorreram na camada 20-40 cm do solo, quando houve aplicação da torta de filtro, sendo o tratamento 4,0 t ha<sup>-1</sup> superior aos demais, e com a aplicação de fosfato, com a SB elevando-se conforme houve aumento das doses de fosfato no plantio (Tabela 20).

**Tabela 19.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis Ca, Mg e K do Argissolo Vermelho distroférico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da Variação	Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
F						
Doses de Torta	1,93 ns	8,99 **	1,43 ns	2,55 ns	2,38 ns	0,60 ns
Doses de Fosfato	1,54 ns	3,10 *	0,43 ns	1,40 ns	1,29 ns	0,72 ns
Torta x Fosfato	0,77 ns	1,40 ns	0,76 ns	1,42 ns	1,11 ns	0,86 ns
Torta (t ha <sup>-1</sup> )						
0,0	5,56	8,94 c	5,25	2,32	2,84	1,81
1,0	5,56	9,81 bc	4,69	2,38	2,44	1,94
2,0	5,93	10,25 ab	4,94	2,40	2,72	1,81
4,0	6,31	11,11 a	5,06	2,59	3,03	2,06
Fosfato (kg ha <sup>-1</sup> )						
0	5,63	9,31 b	4,81	2,41	2,53	1,75
50	5,55	9,96 ab	5,00	2,31	2,85	1,88
100	5,94	10,31 ab	5,00	2,51	2,69	1,94
200	6,25	10,52 a	5,13	2,46	2,95	2,06
C.V. (%)	17,67	12,02	15,81	12,07	14,08	13,72

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

Da mesma forma como observado para as variáveis Mg e K, ao analisar a capacidade de troca catiônica (CTC), não observou-se diferença estatística, tanto para as doses crescentes de torta de filtro quanto para as doses crescentes de fosfato, nas camadas 0-20 e 20-40 cm do solo (Tabela 20). Apesar de a matéria orgânica atuar na estruturação do solo, promovendo maior agregação e arranjo das partículas sólidas, e

podendo elevar a CTC, não foi verificado efeito residual da torta de filtro após 36 meses da aplicação no sulco de plantio sobre a variável CTC.

Resultados positivos em relação ao V% foram encontrados nas camadas 0-20 e 20-40 cm do solo, quando da aplicação das doses crescentes de torta de filtro, sendo os tratamentos que receberam as diferentes doses superiores ao tratamento isento de torta de filtro (Tabela 20). Não foram observados efeitos significativos para doses de fosfato, tanto na camada 0-20 quanto na camada 20-40 cm.

**Tabela 20.** Valores de F calculados por meio de análises de variância para as variáveis SB, CTC e V% do Argissolo Vermelho distroférrico, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, cultivado com cana-de-açúcar (segunda soca), em razão de misturas de doses de fosfato solúvel com doses de torta de filtro aplicadas no sulco de plantio (Presidente Prudente, SP, 2010).

Causas da Variação	SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		V (%)	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
<b>F</b>						
Doses de Torta	2,74 ns	16,14 **	2,28 ns	2,10 ns	13,33 **	7,60 **
Doses de Fosfato	2,02 ns	7,16 **	1,52 ns	1,98 ns	3,12 ns	1,61 ns
Torta x Fosfato	0,48 ns	1,05 ns	0,52 ns	0,59 ns	1,43 ns	0,71 ns
<b>Torta (t ha<sup>-1</sup>)</b>						
0,0	13,06	14,50 b	29,62	33,38	35,21 b	35,56 b
1,0	12,48	14,51 b	29,16	32,75	35,77 b	39,75 ab
2,0	13,52	15,78 b	31,61	31,69	42,66 a	42,75 a
4,0	13,64	17,81 a	31,08	33,69	42,83 a	41,81 a
<b>Fosfato (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
0	12,81	14,31 c	29,23	31,88	37,68	37,88
50	12,84	15,19 bc	30,08	33,19	40,65	40,75
100	13,29	16,16 ab	30,66	32,56	37,08	40,06
200	13,77	16,75 a	31,49	33,88	41,06	41,19
C.V. (%)	9,67	10,29	10,17	7,40	11,75	11,59

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

## 7. CONCLUSÕES

A torta de filtro aplicada no sulco de plantio influencia favoravelmente o perfilhamento da cana soca, na dose de  $4 \text{ t ha}^{-1}$ , e da ressoca com interação com as doses de fosfato, além de elevar a produtividade da cana soca.

As doses crescentes de torta de filtro elevam os teores de N, P e K das folhas e o teor de P no caldo da cana, porém sem efeito nos teores de fósforo no solo.

A torta de filtro associada com fosfato influencia positivamente o índice de área foliar.

A torta de filtro aplicada no sulco de plantio da cana-de-açúcar proporciona efeito residual, principalmente até o segundo corte, com melhoria na produtividade de colmos e de açúcar, mas não altera a qualidade do caldo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, Philadelphia, v.159, n.3, p.207-211, 1995.

AGUILERA, M. S.; PINO, I. U.; REYES, C. P., CAIOZZI, M. C. Effect of organic matter on soil availability of phosphorus, iron, cooper and zinc in Osborne. **Agricultura Técnica**, Chillán, v. 52, n. 1, p. 423-425, 1992.

ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L.; ARAÚJO FILHO, J. T. Competição de fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, 1980. v. 2, p. 319-322.

ALBUQUERQUE, G. A. C.; MARINHO, M. L. Resposta da cana-de-açúcar a combinações de DAP e hiperfosfato. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, 1980. v. 2, p. 323-327.

ALCARDE, J. C.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração química para avaliação da eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (ed.). SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004. São Pedro SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 589-603.

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.

ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F.; BITTENCOURT, V. C. Produtividade e atributos de crescimento da RB 735275 em áreas com e sem torta de filtro. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 2, p. 21-25, 1995.

ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995.

ALLISON, J. C. S.; WILLIAMS, H. T.; PAMMENTER, N. W. Effect of specific leaf nitrogen content on photosynthesis of sugarcane. **Annals of Applied Biology**, Hoboken, v. 131, n. 1, p. 339-350, 1997.

ALMEIDA, A. Composto de lixo urbano na composição química do solo e seus efeitos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora flavicarpa*). **Revista Biociência**, Taubaté, v. 9, n.1, p. 7-15, 2003.

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; FILHO, G. M.; JÚNIOR, R. A. F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 05, p. 1441-1448, 2008.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n.10, p. 1004-1013, 2011.

ALONSO, O.; FONTANARI, N.; GLÓRIA, N. A.; TEIXEIRA, J. P. B.; FRACAROLLI SOBRINHO, A.; ALBUQUERQUE, F. C. A torta de filtro aplicada no sulco de plantio e em área total na fertilização da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 3., São Paulo, 1984. **Anais...** São Paulo: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, p. 93-96.

ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V.; VASCONCELLOS, C. A.; NOVAIS, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C.; FRANÇA, G. E.; OLIVEIRA, C. A.; FRANÇA, C. C. M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo as raízes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 299-305, 1999.

AMARAL, A. S. DO; SPADER, V.; ANGHINONI, I.; NEURER, E. J. Resíduos vegetais na superfície do solo afetam a acidez do solo e eficiência do herbicida flumetsulam. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 789-794, 2000.

AMORIM, H. V. **Introdução à bioquímica da fermentação alcoólica**. Araras. Planalsucar, 1977.

AMORIM, H. V. Nutrição mineral da levedura, aspectos teóricos e práticos. In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA “JAIME ROCHA DE ALMEIDA”, 4., Piracicaba, 1985. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1985. p. 144-148.

ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 2011. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>>. Acesso em: ago. 2012.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolo e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P. A. M.; CARVALHO, G. J. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 59-63, 2007.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Funep, Jaboticabal, 1988. 42 p.

BITTENCOURT, V. C.; STRINI, A. C.; CESARIM, L. G.; SOUZA, S. R. Torta de Filtro enriquecida. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 6, n. 63, p. 2-6, 2006.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W. ; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S.; LIMA, G. S. A.; ARISTIDES, E.V.S. Acúmulo de nutrientes e produção de sacarose de duas variedades de cana-de-açúcar na primeira rebrota, em função de doses de fósforo. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, n.1, p. 26-29, 2011.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ. 1993, p. 31-64.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; LANDELL M. G. A.; BIDÓIA, M. A. P.; VASCONCELOS, A. C. M. Mistura em diferentes proporções de fosfato reativo natural e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife, 2002. p. 218-224.

CARDOZO, C. O. N.; BENEDINI, M. S.; PENNA, M. J. **Viabilidade técnica do uso do composto no plantio comercial de cana-de-açúcar**. São Paulo: Copersucar, 1988, p. 13-17. (Boletim Técnico 41/88).

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. et al. Managing grazing systems: Reaching nutrient cycling and soil improvement with pasture management. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, Bonn, v. 88, n.1, p. 259-273, 2010.

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

CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000. Piracicaba: **Anais...** STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, 2000. p. 1-9.

CASTRO, P. R. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A. F. **Cigarrinhas da cana-de-açúcar: Controle biológico**. 1. ed. Maceió: Insecta, 2005. p. 3-48.

CEZAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P.; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 5, n. 5, p. 32-38, 1987.

CHANG, J. **Climate and agriculture**: in ecological survey. Chicago, Aldine, 1968, 304 p.

COLETTI, J. T.; BITTENCOURT, V. C.; GIACOMINI, G. M. Torta de filtro rotativo em combinação com diferentes formas de fósforo com vistas à substituição da torta de mamona e de fosfato solúvel em água na fertilização da cana planta. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 6, p. 350-61, 1980.

COLETTI, J. T.; LORENZETTI, J. M.; FREITAS, P. G. R.; GASPARINI, G. Redução no uso de fontes minerais na adubação da cana planta quando do emprego de torta de filtro rotativo. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 46-48, 1982.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira: cana-de-açúcar**. Safra 2012/2013, Segundo Levantamento, Agosto/2012. Brasília, Conab, 2012, 18 p.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPP, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 2, n. 1, p. 111-146, 1992.

CRUZ, S. J. S.; OLIVEIRA, S. S. C.; CRUZ, S. C. S.; MACHADO, C. G.; PEREIRA, R. G. Efeito da adubação fosfatada sobre o acúmulo de biomassa e o teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 110-116, 2009.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution in sugarcane, p. 7-84. In: HEINZ (ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Elsevier Press, Amsterdam, 1987.

DEE, B. M.; HAYNES, R. J.; GRAHAM, M. H. Changes in soil acidity and the size and activity of the microbial biomass in response to the addition of sugar mill wastes. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 37, p.47-54, 2003.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. Determinação de fosfatos em caldo e mosto de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 42-45, 1984.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Sertãozinho: Zanini, 1977.

DELGADO, A. A.; FERREIRA, L. J.; BARBIN, D. Estudos sobre o comportamento do fósforo na clarificação do caldo de cana. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 82, n. 1, p. 55-75, 1973.

DEMATTÊ, J. L. I. Cultura da cana-de-açúcar: recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Encarte do Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.1, n.111, 2005. 24 p.

DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 48-59, 2004.

DHILLON, K. S.; BAHL, G. S. Response of fertilizer phosphorous in rice-lentil cropping sequence. **Annals of Biology**, Ludhiana, v. 8, n. 1, p. 33-38, 1992.

DILLEWIJN, C. **Botany of sugar cane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p.

DOHERTY, W. O. S.; RACKEMANN, D. W. Stability of sugarcane juice - a preliminary assessment of the colorimetric method used for phosphate analysis. **Zuckerindustrie Journal**, Berlin, v. 133, n. 1, p. 24-30, 2008.

DONZELLI, J. L.; PENATTI, C. P. **Manejo do solo classificado como Latossolo Roxo Acríco**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997, 8 p. Relatório Técnico.

DORAISWAMY, P. C.; HATFIELD, J. L.; JACKSON, B.; AKHMEDOV, B.; PRUEGER, J.; STERN, A. Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. **Remote Sensing of Environment**, Oxford, v. 92, n. 1, p. 548-559, 2004.

ELAMIN, E. A.; ELTILIB, M. A.; ELNASIKH, M. H.; IBRAHIM, S. H.; ELSHEIKH, M. A.; BABIKER, E. E. The influence of phosphorus and potassium fertilization on the quality of sugar of two sugarcane varieties grown on three soil series of Sudan. **Journal of Applied Sciences**, Singapura, v.7, n.1, p. 2345-2350, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de Produção de Soja** - Região Central do Brasil - 2007. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 225 p. (Sistemas de Produção - Embrapa Soja)

ESTEVES, A. A. Fisiologia de la caña de azucar. In: OSORIO, C. E. B. (Ed.) **El cultivo de la caña de azucar**. Cali, 1986. p. 27-41.

FACTUR, V. D. **Fontes de fósforo associada a adubação orgânica no plantio de cana-de-açúcar**. 2008. 26 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade do Oeste Paulista, 2008.

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

FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar. IV Seminário de tecnologia agrônômica, Piracicaba, 1988. **Anais...** Copersucar, Piracicaba, São Paulo, p. 321-331, 1986.

FIGUEIREDO FILHO, C. P. Avaliação da adubação fosfatada da cana-de-açúcar com hiperfosfato natural reativo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8, 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, p. 259-263, 2002.

FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. **Cana-de-açúcar**. 6 ed. Campinas: IAC, 1998. 393 p. (Boletim Técnico 200).

FIRME, L. P.; RODELLA, A. A. Cinética de degradação microbiológica de torta de filtro da indústria açucareira influenciada pelo níquel. In: XII Encontro Científico dos Pós-Graduandos no CENA/USP, 2006, Piracicaba. **Anais...** XII Encontro Científico dos Pós-Graduandos no CENA/USP, 2006.

FONTES, P. C. R. Diagnóstico do estado nutricional pelo método visual. In: FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: Editora UFV, cap. 8, p. 63-86, 2001.

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: FAEPE/UFLA, 2001. 252 p.

GAMA, A. J. M. **Sistema de rotação e adubação fosfatada na cultura da cana-de-açúcar no cerrado**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

GARCIA, J. C. **Efeitos da adubação orgânica, associada ou não a adubação química, calagem e fosfatagem, nos rendimentos agrícola e de aguardente teórica da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2005. 82 f. Tese (Doutorado em Agricultura) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

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

GLASZIOU, K. T.; BULL, T. A.; HATCH, M. D.; WHITEMAN, P. C. Physiology of sugar cane. VII. Effects of temperature, photoperiod duration, and diurnal and seasonal temperature changes on growth and ripening. **Australian Journal of Biological Sciences**, East Melbourne, v. 18, n.1, p. 53-66, 1965.

GLAZ, B.; POWELL, G.; PERDOMO, R.; ULLOA, M. F. Sugarcane response to phosphorus fertilizer in relation to soil test recommendations on everglades histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 1, p. 375-380, 2000.

GOEDERT, W. J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 5, p. 499-506, 1983.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, Oxford, v. 4, n. 1, p. 1-21, 1988.

GOMORI, F. A modification of the colorimetric phosphorus determination for use with the photoelectric colorimeter. **Journal of Laboratory and Clinical Medicine**, Milwaukee, v. 27, n. 9, p.955-960, 1942.

GONZALEZ-SANPEDRO, M. C.; LE TOAN, T.; MORENO, J.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, Oxford, v. 112, n. 3, p. 810-824, 2008.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 1, p. 32-34, 1999.

HONIG, P. **Principios de tecnologia azucarera**. México: Continental, v.1, 1969.

HONIG, P. The presence of phosphate in cane juice. In: Congress of the International society of sugarcane technologists, 10., Hawaii, 1959. **Proceedings...** Amsterdam: Elsevier, 1960, p. 351-361.

HARRISON, A. F. **Soil organic phosphorus**. Wallingford, CAB International, 1987. 257 p.

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

IDO, O. T. **Desenvolvimento radicial e caulinar, de três variedades de cana-de-açúcar, em Rizotron, em dois substratos**. 2003. 141 f. Tese (Doutorado em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

JARUSSI, R. O. **Efeito da adubação com termofosfato yoorin na produção agrícola, absorção de P e qualidade do caldo na cana-soca**. 1998. 52 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 1998.

JAVIER CARBONELL, G. **Characterization of Different Areas with Maximum Potential Productivity Planted with Sugarcane in the Cauca River Valley (Colombia)**. Cenicafé, Cali, Colombia, 2010, 272 p.

KAMPRATH, E. J. Phosphorus fixation and availability in weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4, 1976. Brasília. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1977. p. 333-347.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: SNT, 1999. 146 p.

KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 212-222, 1992.

KORNDÖRFER, G. H.; ANDERSON, D. L. Use and impact of sugar-alcohol residues vinasse and filter cake on sugarcane production in Brazil. **Sugar y Azucar**. Englewood Cliffs, n. 92, v. 3, p. 26-35, 1997.

KORNDÖRFER, G. H.; FARIA, R. J.; MARTINS, M. Efeito do fósforo na produção da cana-de-ano e cana-soca em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33; n. 1, p. 389-395. 1998.

KORNDÖRFER, G. H. **Fertilizantes fosfatados sólidos e fluidos na cana-de-açúcar**. 1990. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1990.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 290-306.

KORNDÖRFER, G. H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M. E.; BUZZETTI, S. (coord.). **Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas**. 1. p. 133-142. São Paulo: Ícone, 1994. 437 p.

KORNDÖRFER, G. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 92-97, 2009.

KORNDÖRFER, G. H.; VIEIRA, G. G.; MARTINS, J.; MATHIESEN, L. A. Resposta da cana planta a diferentes fontes de fósforo. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v. 45, n.1, p. 31-37, 1989.

LANDELL, M. G. A.; PINTO, L. R.; CRESTE, S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; SILVA, M. A. Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção. **Encarte do Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 1, n. 110, 2005.

LEE, R. B. Selectivity and kinetics of ion uptake by barley plants following nutrient deficiency. **Annals of Botany**, London, v. 50, n. 1, p. 429-449, 1982.

LEE, Y. B.; KIM, P. J. Reduction of phosphate adsorption by ion competition with silicate in soil. **Korean Journal of Environmental Agriculture**, Pyongyang, v. 26, n. 1, p. 286-293, 2007.

LEME, E. J. A.; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Caderno Planalsucar**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 3-22, 1984.

LIMA FILHO, S. A.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Doses e fontes de fósforo em cana-planta no estado de São Paulo. **Saccharum**, São Paulo, v. 5, n. 21, p. 37-43, 1982.

LIMA, G. S. A.; ARISTIDES, E. V. S. Acúmulo de nutrientes e produção de sacarose de duas variedades de cana-de-açúcar na primeira rebrota, em função de doses de fósforo. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 29, n. 1, p. 26-29, 2011.

LIMA, M. A.; LIGO, M. A. V.; CABRAL, M. R.; BOEIRA, R. C.; PESSOA, M. C. P. Y.; NEVES, M. C. **Emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 1999.

LIMA, S. A. A.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. R.; SOUZA, C.; CAVALCANTE, F. S. Influência da adubação mineral sobre três cultivares de cana-de-açúcar na microrregião de Guarabira na Paraíba. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 27, n. 1, p. 92-99, 2006.

LOGANATHAN, P.; FERNANDO, W. T. Phosphorus sorption by some coconut growing acid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 31, n. 7, p. 709-717, 1980.

LOPES, A. S. (Tradutor). **Manual de Fertilidade do Solo**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.

LUCHINI, I.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H. Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfato solúvel, reativo e natural. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.11, n.1, p.82-94, 2012.

MACHADO, E. C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular acúmulo de massa seca na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 115 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981.

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. p. 56-87. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Fundação Cargill, Campinas, v. 1, cap. 1, 1987. 432 p.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n.1, p. 1323-1329. 1982.

MAGALHÃES, J. V. **Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays L.*) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo na solução nutritiva**. 1996. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 170-177, 2011.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P. Fisiologia. In: MALAVOLTA, E. **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964, p. 220-237.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. A. C. **Nutrição mineral de algumas culturas tropicais**. São Paulo: Livraria Pioneira, 1967. 251 p.  
MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição de Plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARINHO, M. L.; OLIVEIRA, C. C. Efeito do P nativo e aplicado nos solos na decantação do caldo da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1, 1979, Maceió. **Anais...** São Paulo: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, p. 334-345, 1980.

MARINHO, M. L.; CAVALCANTI, C. A.; AMORIN, A. L. C. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento industrial dos canaviais de Alagoas. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 6, p. 19-29, 1975.

MARTINS, N. G. S. **Os fosfatos na cana-de-açúcar**. 2004. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MASTHAN, S. C.; MOHAMMAD, S.; REDDY, S. N. Influence of phosphorous application rates on nutrienteuptake by crops and balance of soil phosphorous in rice-groundnut-green-gram intensive cropping system. **Crop Research Hisar**, Rajendranagar, v. 16, n. 1, p. 10-16, 1998.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F; CALHEIROS, G. G. **Hibridação em cana-de-açúcar**. In: BOREM, A. (Ed.) Hibridação artificial de plantas. Viçosa MG 1999. p. 221-254.

MEADE, G. P. **Cane sugar handbook** (A manual for cane sugar manufactures and their chemists). New York: John Wiley, 1963. 845 p.

MEDINA, N.; ALVAREZ, F.; TORRES, W. La fertilización fosfórica y el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) I. Dinámica del crecimiento en la cepa de caña planta. **Cultivo Tropical**, La Habana, v. 12, n. 1, p. 21-28, 1991.

MEINZER, F. C.; ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO<sub>2</sub> concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 324, p. 1227-1234, 1998.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; SILVA, A. P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and Sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. **Geoderma**, San Diego, v. 132, p. 131-142, 2006.

MEURER, E. J. **Fundamentos da química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2006, 285 p.

MEYER, J. H.; WOOD, R. A. The effects of soil fertility and nutrition on sugarcane quality: a review. **South African Sugar Technologists Association**, Mount Edgecombe, v. 75, n. 1, p. 242-245, 2001.

MIEYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 411-416, 1993.

MILLER, M. H. Effects of nitrogen on phosphorus absorption by plants. In: CARSON, E. W. (Ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974, p. 634-668.

MIMURA, T. Regulation of phosphate transport and homeostasis in plant cells. **International Review of Cytology**, Salt Lake City, v. 190, n. 2, p. 149-200, 1999.

MORENO, J. L. **La matéria orgânica em los agrosistemas**. Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación e Mundi-Prensa, 1996, Madrid, 174 p.

NARDIN, R. R. **Torta de filtro aplicada em Argissolo e seus efeitos agronômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas**. 2007, 39 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

NEMA, G. K.; VAIDYA, M. S.; BANGAR, K. S. Response of sugarcane to fertilizer nitrogen and organic manures in black calcareous soils of Madhya Pradesh. **Journal of Soils and Crops**, Madhya Pradesh, v. 5, n. 2, p. 129-132, 1995.

NOVAIS, R. F. Efeito do tempo de incubação do fosfato de araxá em solos sobre o fósforo disponível. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 153-155, 1980.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NUNES JÚNIOR, D. A redução da adubação e a produtividade. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 3, p. 1-6, 1999.

NUNES JÚNIOR, D.; MORELLI, J. L.; NELLI, E. J. **Comportamento de variedades de cana-de-açúcar na presença de torta de filtro e de mamona**. Parte II. São Paulo: Copersucar, 1988, p. 3-12. (Boletim Técnico 41/88).

NUNES JÚNIOR, D. Torta de Filtro: de resíduo a produto nobre. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 87-94, 2004.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: Taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 85-89, 2005.

ORLANDO FILHO, J. Nutrição da cana-de-açúcar. In: ANDRESON, D. L.; BOWEN, J. E. **Florida agricultural experiment station journal series**, R-00693. Potafós, Piracicaba, 1992, 40 p.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Influência da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB 41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 6, p. 37-44, 1980.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. **Seja o doutor do seu canavial**. Arquivo do agrônomo, n.6, POTAFÓS, 1994.

PATURAL, J. M. **By products of the cane sugar industry**. Amsterdam: Elsevier, 1969, 274 p.

PENATTI, C. P. BONI, P. S. **Efeito da torta de filtro na cana planta e cana soca**. Centro de Tecnologia Copersucar. Relatório Técnico. 7 p. Piracicaba-SP. 1989.

PEPPLER, H. J. Production of yeasts and yeast products. In: PEPPLER, H. J.; PERLMAN, D. (Eds.). **Microbial Technology**, Academic Press, 1979, v. 1, 157 p.

PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B.; MORGADO, L. B. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade de cana-de-açúcar em vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 43-48, 1995.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: IAC, 1987. 33 p. (IAC. Boletim Técnico, 114).

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois latossolos do planalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 665-674, 2003.

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 79-82, 2001.

PREZOTTO, M. E. M.; GLORIA, N. A. Determinação das várias formas de fósforo em tortas de filtro rotativo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 47, n. 1, p. 147-161, 1990.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 284 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 99-112.

RAMAMURTY, V.; SHIVASHANKAR, K. Residual effect of organic matter and phosphorus on growth, yield and quality of maize (zea mays). **Indian Journal of Agronomy**, Bangalore, v. 41, n. 2, p. 247-251, 1996.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Zurich, n. 185, v. 1, p. 249-258, 2000.

RAO, P. G.; RAGMAVULU, P.; REDDY, S. R.; REDDY, G. V.; RAO, K. R. Residual effects of phosphorus sources and levels in cereal-legumes sequence. **Indian Journal of Agronomy**, Bangalore, v. 36, n. 2, p. 169-172, 1991.

RODELLA, A. A.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Calibração de cálcio, magnésio e acidez do solo para a cana-de-açúcar cultivada na região de cerrado. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 45-48, 1984.

RODRIGUES, N. B.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 4. ed. Londrina: 2005. 591 p.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 355-362, 2003.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. **Encarte de Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 1, n. 110, 2005.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Problemas nutricionais dos solos nas novas fronteiras canavieiras. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 94, p. 78-90, 2008.

ROSSETTO, R.; FARHAT, M.; FURLAN, R.; GIL, M. A.; SILVA, S. F. Eficiência agronômica do fosfato natural na cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 8., Recife. **Anais...** Piracicaba: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, 2002. p. 276-282.

RUFTY, T. W.; ISRAEL, D. W.; VOLK, R. J.; QUI, J.; AS, T. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n. 5, p. 879-891, 1993.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Adubação: resíduos alternativos**. 2009. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_39\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html)>. Acesso em: 12 mar. 2009.

SANTOS, A. M. **Estudo da influencia da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SANTOS, D. H. **Adubação da cana-de-açúcar com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. 2009. 35 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2009.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S. Efeito residual da adubação fosfatada e torta de filtro na brotação de soqueiras de cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 1-6, 2012.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 576-586, 2008.

SANTOS, V. R. **Crescimento e produção da cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2006.

SANTOS, V. R.; FILHO, G. M.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SCHJORRING, J. K. Nitrate and ammonium absorption by plants growing at a sufficient or insufficient level of phosphorus in nutrient solution. In: LAMERS, H. (Ed.). **Fundamental ecological and agricultural aspects of nitrogen metabolism in higher plants**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1996. p. 53-58.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V., PINTO, A. S., JENDIROBA, E. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 1. ed. Piracicaba: Livroceres, 2006. p. 19-36.

SERRA, G. E.; STUPIELLO, J. P.; PINHO, S. Z. Efeitos da adubação fosfatada sobre o teor de fósforo do caldo de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 84, n. 4, p. 52-72, 1974.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; CARDOSO, G. D.; VIRIATO, J. R.; BELTRÃO, N. E. M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 879-882, 2006.

SILVA, E. T. **Análise de crescimento e produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) influenciadas por doses de fósforo**. 2007. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

SILVA, F. C.; BERGAMASCO, A. F.; VENDITE, L. L.; CESAR, M. A. A; SILVA, A. F. S. da. **Modelo de crescimento da cana-de-açúcar sob adubação de composto de lixo urbano**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. 4 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado Técnico, 1).

SILVA, G. M. A influência da adubação na cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA, PLANALSUCAR, cap.4, p. 317-332, 1983.

SILVA, J. A.; SILVA, F. L. H.; ALVES, R. N. N.; SANTANA, D. P. Influência das variáveis nitrogênio, fósforo e °Brix na produção dos metabólicos secundários contaminantes totais da fermentação alcoólica. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 695-698, 2006.

SILVA, L. C. F.; ORLANDO FILHO, J.; PIRES NETO, J. A. Complementação mineral da torta de filtro aplicada no sulco de plantio na fertilização da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 3., São Paulo, 1984. **Anais...** São Paulo: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, 1984. p. 89-93.

SILVA, M. A.; GAVA, G. J. C.; CAPUTO, M. M.; PINCELLI, R. P.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S. Uso de reguladores de crescimento como potencializadores do perfilhamento e da produtividade em cana-soca. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 545-552, 2007.

SILVA, M. A.; JERONIMO, E. M.; DAL'COL LÚCIO, A. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 979-986, 2008.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G R.; FERNANDES-FILHO, E. I.; CHAGAS, A. C.; BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, Southeastern Brazil. **Geoderma**, San Diego, v. 125, p. 187-201, 2005.

SIMS, J. T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc organic matter in soil fractions. **Soil Science Society America Journal**, v. 50, p. 367-373, 1986.

SINGH, T.; SINGH, P. N. Effect of integrated nutrient management on soil fertility status and productivity of sugarcane grown under sugarcane based cropping sequence. **Indian Journal of Sugarcane Technology**, Lucknow, v. 7, n. 1, p. 53-55, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Biologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. 291 p.

SLATTERY, W. J.; RIDLEY, A. M.; WINDSOR, S. M. Ash alkalinity of animal and plant products. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 31, p. 321-324, 1991.

SOBRAL, B. W. S.; BRAGA, D. P. V.; LAHOOD, E. S.; KEIM, P. Phylogenetic analysis of chloroplast restriction enzyme site mutations in the Saccharinae Griseb. Subtribe of the Andropogoneae Dumort. tribe. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 87, n. 7, p. 843-853, 1994.

SOUZA, T. A. F.; RAPOSO, R. W. C.; MARQUES, L. F.; DIAS, J. A.; LUCENA, E. H. L.; RODRIGUES, A. F.; SANTOS, L. C. N. Efeito residual do fósforo sobre as características tecnológicas da cana-de-açúcar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010. Guarapari. **Anais...** Guarapari: Fertbio, 2010. p. CD ROM.

SPADOTTO, C. A., RIBEIRO, W. C. (Eds.). **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. 319 p.

STAUFFER, M. D; SULEWSKI, G. Fósforo essencial para a vida. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 2003. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafós, 2004. p. 1-11.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York, J. Willey, 1994. 456 p.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob efeito do fósforo**. 2001. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 526p.  
TASSO JÚNIOR, L. C. **Caracterização agrotecnológica de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região centro-norte do Estado de São Paulo**. 2007. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JR., L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. spe, p. 39-44, 1997.

TERUEL, D. A. **Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos**. 1995. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

TIESSEN, H.; MOIR, J. O. Characterization of available P by sequential extraction. In: CARTER, M. R., (Ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton, Lewis, 1993. p.75-86.

TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H.; FOLONI, J. S. S.; ALVES JÚNIOR, R. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 6, n. 1, p. 8-14, 2010.

TOKESHI, H. Perfilamento e perdas pelo carvão da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 22, n. 1, p. 34-44, 1986.

TOLEDO FILHO, M. R. **Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas**. 2001. 168 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

TURNER, B. L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy. **Organic Geochemistry**, Sevilla, v. 34, n. 1, p. 1199-1210, 2003.

van HEES, P. A.W.; LUNDSTROM, U. S.; STARR, M.; GIESLER, R. Factores influencing aluminium concentrations in soil solution from podzols. **Geoderma**, San Diego, v. 94, n.1, p. 289-310, 2000.

VIJAV, K.; VERMA, K. S. Effect of N, P, K, Zn fertilizers and organic manure on plant and ratoon crops of sugarcane and soil fertility under continuous cropping. In: ANNUAL CONVENTION OF THE SUGAR TECHNOLOGY ASSOCIATION OF INDIA, 63, 2001, Jaipur. **Abstracts...** New Delhi: Sugar Technologists Association of India, 2001, p. 135.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 5-26, 1981.

WAHID, A. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v. 45, p. 133-141, 2004.

WEBER, H.; BOLSANELLO, J; AZEREDO, D. F. Doses de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1993. Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, 1993. p. 70-75.

WILLADINO, L. SAMPAIO, E. V. S. B., SALCEDO, I. H. Comparação de dez variedades de cana-de-açúcar quanto a absorção de fósforo na fase inicial de crescimento. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 6, n. 3, p. 20-22, 1988.