

EDUARDO JAMIR PAES VILA

**FERTILIZAÇÃO DE UM SOLO ARENOSO COM TORTA
DE FILTRO E VINHAÇA PARA A CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

**MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2011**

EDUARDO JAMIR PAES VILA

**FERTILIZAÇÃO DE UM SOLO ARENOSO COM TORTA
DE FILTRO E VINHAÇA PARA A CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solo e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de Mestre.

**MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

V432 Vila, Eduardo Paes
Fertilização de um solo arenoso com torta de filtro e vinhaça para a cultura da cana-de-açúcar / Eduardo Jamir Paes Vila. - Maringá, 2011.
80 f. : il, fotos.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Nolla

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração em Solo e Nutrição de Plantas.

1. Adubos orgânicos, Saccharum spp. 2. Resíduos da indústria sucroalcooleira. 3. Comportamento em profundidade. 4. Cana-de-açúcar. I. Nolla, Antonio, orient. II. Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia III. Título.

635.528 CDD 21.ed.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me colocado ao lado de pessoas que sempre me apoiaram e me ajudaram.

Aos meus pais, Jamir e Célia, pelo amor, compreensão, conselhos, incentivos, confiança e, acima de tudo, pela luta e esforço para que fosse possível a realização desse sonho.

À minha irmã Thayla pelo apoio, amor e carinho ao longo da minha caminhada.

À minha namorada Cláudia, pelo amor, lealdade, companheirismo, incentivo e principalmente pela compreensão nas horas difíceis.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da UEM, pela oportunidade concedida.

Ao meu orientador Prof. Antônio Nolla pela amizade, conselhos, dedicação e pelo tempo que com ele trabalhei e assim pude guardar ensinamentos importantes para minha formação pessoal e profissional.

Aos alunos de graduação William Silva (Tio Chico) e Cleber Santini pela ajuda em todas as etapas do trabalho, não se deixando abater pelo cansaço ou horas difíceis.

A Silvia Eliana Miranda, funcionária do Laboratório de Solos da UEM – Maringá, pela ajuda no que foi necessário para a conclusão deste trabalho.

A todos os demais que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Eduardo Jamir Paes Vila, filho de Jamir Pena Vila e Célia Aparecida Paes, nasceu na cidade de Naviraí, Estado do Mato Grosso do Sul, em 07 de janeiro de 1986. Ingressou na Universidade Estadual de Maringá *campus* Umuarama em fevereiro de 2004, no curso de Agronomia, onde colou grau em janeiro de 2008. Em março de 2008, ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia, em nível de Mestrado, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Estadual de Maringá e apresentou-se à Banca Examinadora em fevereiro de 2011.

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|------|
| LISTA DE TABELAS..... | v |
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| RESUMO..... | x |
| ABSTRACT..... | xii |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. Subprodutos da industrialização da cana-de-açúcar..... | 8 |
| 2.2. Torta de filtro..... | 10 |
| 2.3. Vinhaça..... | 17 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 28 |
| 3.1. Localização e instalação experimental..... | 28 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 36 |
| 4.1. Torta de filtro..... | 36 |
| 4.1.1. Atributos químicos do solo submetidos a diferentes dosagens de torta de filtro..... | 36 |
| 4.1.2. Atributos químicos do solo em profundidades, submetido à aplicação de diferentes dosagens de torta de filtro..... | 40 |
| 4.1.3. Componentes de produção da cana-de-açúcar cultivada em solo submetido à aplicação de diferentes dosagens de torta de filtro..... | 46 |
| 4.1.4. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em solo submetido à aplicação de diferentes dosagens de torta de filtro..... | 48 |
| 4.2. Vinhaça..... | 50 |
| 4.2.1. Atributos químicos do solo submetidos à aplicação superficial de diferentes dosagens de vinhaça..... | 50 |
| 4.2.2. Atributos químicos do solo em profundidades, submetido à aplicação superficial de diferentes dosagens de vinhaça..... | 54 |
| 4.2.3. Componentes de produtividade da cana-de-açúcar cultivados em solo submetido à aplicação de diferentes dosagens de vinhaça..... | 60 |
| 4.2.4. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em solo submetido à aplicação de diferentes dosagens de vinhaça..... | 63 |
| 4.3. Aplicação de dosagens combinadas de torta de filtro e vinhaça..... | 65 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 70 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | | Pág. |
|-----------|---|------|
| TABELA 01 | Composição média dos nutrientes da torta de filtro..... | 12 |
| TABELA 02 | Dose de torta de filtro embasada na demanda nutricional da cana-de-açúcar e os teores médios descritos por Malavolta (2002)..... | 13 |
| TABELA 03 | Composição química média dos três tipos de vinhaça obtidos na indústria sucroalcooleira..... | 18 |
| TABELA 04 | Carga cumulativa máxima permitida de metais pesados no solo estabelecido pela CETESB..... | 23 |
| TABELA 05 | Caracterização química e teor de argila da camada de 0 – 0,20 metros de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural, utilizado como base experimental..... | 28 |
| TABELA 06 | Tratamentos aplicados em Latossolo arenoso com dosagens crescentes de torta de filtro e vinhaça e suas combinações..... | 29 |
| TABELA 07 | Caracterização química da torta de filtro utilizada no experimento, obtida pela Usina Goioerê..... | 31 |
| TABELA 08 | Caracterização química da vinhaça utilizada nos tratamentos do experimento, adquirido da Usina Goioerê..... | 31 |
| TABELA 09 | Equações de regressão relacionando atributos químicos do solo e doses de torta de filtro em três épocas de amostragem 90, 180 e 360 dias após a emergência..... | 39 |
| TABELA 10 | Equações de regressão, dosagem ideais de torta de filtro atribuídas aos valores de produtividade da cana-de-açúcar, cultivada em Latossolo de textura arenosa..... | 47 |
| TABELA 11 | Equações de regressão e dosagens atribuídas à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa..... | 49 |

| | | |
|-----------|---|----|
| TABELA 12 | Equações de regressão relacionando atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, submetido à aplicação de vinhaça, em três épocas de amostragem 90, 180 e 360 DAE..... | 53 |
| TABELA 13 | Equações de regressão e dosagem de vinhaça, atribuídas aos máximos parâmetros atingidos de produtividade da cana-de-açúcar e cultivada em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, submetido à aplicação de vinhaça..... | 62 |
| TABELA 14 | Equações de regressão e valores de máxima eficiência técnica para a cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, submetidos a aplicação de vinhaça..... | 64 |
| TABELA 15 | Atributos químicos do solo da camada de 0 – 0,20 m, em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico aos 90 DAE..... | 66 |
| TABELA 16 | Atributos químicos do solo da camada de 0 – 0,20 m, em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico aos 180 DAE..... | 67 |
| TABELA 17 | Atributos químicos do solo da camada de 0 – 0,20 m, em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico aos 360 DAE..... | 67 |
| TABELA 18 | Produtividade e teores de ATR, em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico..... | 68 |

LISTA DE FIGURAS

| | | Pág. |
|-----------|--|------|
| FIGURA 01 | Distribuição geográfica do cultivo da cana-de-açúcar no território brasileiro..... | 4 |
| FIGURA 02 | Processo de filtragem a vácuo para a recuperação do caldo clarificado da cana-de-açúcar, resultando na obtenção da torta de filtro..... | 11 |
| FIGURA 03 | Processo de clarificação do caldo da cana-de-açúcar e obtenção da torta de filtro..... | 11 |
| FIGURA 04 | Vista geral da amontoa e revolvimento da torta de filtro efetuados pela Usina Goioerê – PR..... | 30 |
| FIGURA 05 | Local onde foi coletada a vinhaça utilizada no experimento cedida pela Usina Goioerê: (A) Canal de transporte de vinhaça por gravidade; (B) Poço de sucção para a fertirrigação da vinhaça em área de cana-de-açúcar..... | 31 |
| FIGURA 06 | Fase de montagem e condução do experimento com cana-de-açúcar submetido à aplicação de doses crescentes e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo arenoso: (A, B) Termoterapia em água quente e fria – choque térmico; (C) Cova de plantio; (D) Tambores cobertos com palha de cana-de-açúcar após plantio da cultura; (E) Desbaste das plantas; (F) Tutoramento da cana-de-açúcar..... | 33 |
| FIGURA 07 | Fase de colheita do experimento com cana-de-açúcar aos 360 dias após a emergência em Latossolo arenoso: (A) Cana-de-açúcar com 360 DAE; (B) Fim da colheita do experimento; (C) Transporte da cana-de-açúcar; (D) Laboratório de análises tecnológicas da cana-de-açúcar..... | 34 |
| FIGURA 08 | Atributos químicos do solo na camada de 0,20 m em três épocas de amostragem: 90, 180 e 360 DAE (A= pH-H ₂ O, B= Alumínio trocável, C= Cálcio trocável, D= Magnésio trocável, E= Fósforo disponível e F= Potássio disponível) em função de doses de torta de filtro..... | 38 |

| | | |
|-----------|--|----|
| FIGURA 09 | Comportamento do pH de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 41 |
| FIGURA 10 | Comportamento dos teores de alumínio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 42 |
| FIGURA 11 | Comportamento dos teores de cálcio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 43 |
| FIGURA 12 | Comportamento dos teores de magnésio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 44 |
| FIGURA 13 | Comportamento dos teores de fósforo de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 44 |
| FIGURA 14 | Comportamento dos teores de potássio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 45 |
| FIGURA 15 | Componentes de produtividade alcançados com aplicação de doses crescentes de torta de filtro em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural..... | 46 |
| FIGURA 16 | Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar atribuídos à aplicação de torta de filtro em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural..... | 48 |
| FIGURA 17 | Atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em três épocas de amostragem na camada de 0,20 m: 90, 180 e 360 DAE (A= pH-H ₂ O, B= Alumínio trocável, C= Cálcio trocável, D= Magnésio trocável, E= Fósforo disponível e F= Potássio disponível) em função de doses de vinhaça..... | 51 |

| | | |
|-----------|--|----|
| FIGURA 18 | Comportamento do pH de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em quatro profundidades, submetido à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 55 |
| FIGURA 19 | Comportamento dos teores de alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em quatro profundidades, submetidos à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 56 |
| FIGURA 20 | Comportamento dos teores de cálcio em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em três épocas de amostragem, submetidos à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 58 |
| FIGURA 21 | Comportamento dos teores de magnésio submetidos à aplicação de vinhaça em Latossolo de textura arenosa, em quatro profundidades e em três épocas de amostragem..... | 58 |
| FIGURA 22 | Comportamento dos teores de potássio em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em quatro profundidades, submetidos à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)..... | 59 |
| FIGURA 23 | Componentes de produtividade alcançados com aplicação de dosagens crescentes de vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural..... | 61 |
| FIGURA 24 | Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar atribuídos à aplicação de vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural..... | 63 |

RESUMO

VILA, Eduardo Jamir Paes, M.S. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2011. **Fertilização de um solo arenoso com torta de filtro e vinhaça para a cultura da cana-de-açúcar.** Orientador: Dr. Antonio Nolla

Devido à expansão da cana-de-açúcar no Paraná, principalmente em solos arenosos, caracterizados pelos baixos teores nutricionais, recorre-se à utilização de resíduos como torta de filtro e vinhaça, capazes de fornecer nutrientes ao desenvolvimento da cultura, apresentando menores problemas relacionados de lixiviação dos nutrientes, comparados aos fertilizantes minerais. No entanto, ainda faz-se necessário o estudo de recomendações de dosagens e fertilizantes orgânicos capazes de fornecer os nutrientes necessários para o desenvolvimento da cana-de-açúcar. O objetivo do presente estudo foi estabelecer a fertilização da cana-de-açúcar com torta de filtro e vinhaça aplicados na forma isolada e combinada para solos arenosos. O ensaio foi instalado na Universidade Estadual de Maringá, *campus* Umuarama, realizado em tambores com capacidade para 200 litros, utilizando-se como base experimental um Latossolo Vermelho distrófico psamítico. Os tratamentos constaram das aplicações de 0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹ torta de filtro e dosagens de 0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça; além da combinação dos resíduos para cada uma das dosagens utilizadas separadamente, resultando em 16 tratamentos no total, em delineamento fatorial (4 x 4) em blocos casualizados com quatro repetições. Durante a fase de desenvolvimento da cana-de-açúcar foi realizado o desbaste, permanecendo seis plantas por tambor, colhidas aos 360 dias após a emergência, avaliando-se a massa verde, altura de planta e produtividade de colmos, bem como a qualidade tecnológica. Foram realizadas amostragens do solo até a camada de 0,80 metros, avaliando-se pH-H₂O, alumínio trocável, cálcio, magnésio, potássio e fósforo. A aplicação isolada de torta de filtro proporcionou aumentos significativos nos teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio até a camada de 0,40 m, contribuindo na produtividade de colmos, sendo a dosagem 37,5 t ha⁻¹ atribuída à máxima

performance da cultura. Para vinhaça foram observados aumentos significativos nos teores nutricionais até a profundidade 0,60 m, refletindo em aumento dos parâmetros produtivos da cultura com dosagem de 186 m³ ha⁻¹. Quanto à combinação dos resíduos, não foram observados ganhos significativos na fertilização do solo, bem como na produtividade da cultura. As aplicações dos resíduos não resultaram em aumentos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar para Pol, °Brix e Fibra.

Palavras-chave: adubos orgânicos, *Saccharum spp*, resíduos da indústria sucroalcooleira, comportamento em profundidade.

ABSTRACT

VILA, Eduardo Jamir Paes, M.S. Maringá University State, February 2011.
Fertilization of a sandy soil with filter cake and stillage to the culture of sugar cane. Adviser: Dr. Antonio Nolla

Due to the expansion of cane sugar in Parana especially in sandy soils, characterized by low nutritional content, it resorts to the use of waste as a filter cake and stillage, which can provide nutrients for the development of culture, showing minor problems related to leaching of nutrients. However, it is still necessary to study recommendations for dosages and organic fertilizers can provide the nutrients necessary for the development of cane sugar. The objective of the study was to establish the fertilization of sugar cane with filter cake and vinasse applied in isolation and combined form for sandy soils. The trial was conducted at the Maringá University State, Umuarama campus, held in drums with a capacity of 200 liters, using as an experimental basis psamitic dystrophic Red Latossol. The treatments consisted of applications of 0, 10, 20 and 40 t ha⁻¹ filter cake and dosages of 0, 50, 100 and 200 m³ ha⁻¹ vinasse; than the combination of waste for each of the dosages used separately, resulting in 16 treatments in total, in factorial design (4 x 4) in randomized blocks with four replications. During the development of sugar cane was performed thinning remaining six plants per drum, harvested at 360 days after emergence, evaluating the green mass, plant height and stalk yield and technological quality. Two samplings of soil to the layer of 0.80 meters, evaluating pH-H₂O, exchangeable aluminum, calcium, magnesium, potassium and phosphorus. The sole application of filter cake significantly increased the levels of calcium, magnesium, phosphorus and potassium to 0.40 m layer, contributing in the stalk yield, and the dosage of 37.5 t ha⁻¹ given the highest performance culture. To vinasse were significant increases in nutritional content to a depth 0.60 m, reflected in increased crop production parameters with dosage of 186 m³ ha⁻¹. For combination of waste, were observed no significant gains in soil fertility and

crop productivity. The applications of waste did not result in increases in the technological quality of sugar cane for Pol, °Brix and Fiber.

Keywords: organic fertilizers, *Saccharum spp*, waste of the sugaralcohol industry, behavior in depth.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) assume posição de destaque no cenário agroindustrial brasileiro, proveniente da produção de açúcar e etanol. A busca por alternativas renováveis para a substituição dos combustíveis fósseis aumentou a demanda por etanol, impulsionando o cultivo da cana-de-açúcar no país (MONTEIRO et al., 2008).

Neste contexto, o Brasil ocupa liderança no *ranking* mundial pela produção e processamento da cana-de-açúcar, atraídos pelas perspectivas de crescimento provenientes do setor automobilístico (motores flex fuel), conscientização ambiental (menor emissão de poluentes) e sustentabilidade do setor, através da diminuição do consumo de combustíveis fósseis não renováveis (CIB, 2009).

O Brasil possui atualmente cerca de 8,03 milhões de hectares cultivados com a cana-de-açúcar, sendo o Estado do Paraná o terceiro maior produtor e beneficiador da cultura com aproximadamente 582,32 mil hectares, representando cerca de 7,25% da área total cultivada no país (CONAB, 2011).

Devido à expansão do setor canavieiro, vem aumentando o interesse pelo cultivo de cana-de-açúcar em áreas de solos arenosos, principalmente na região noroeste paranaense, microrregião de Umuarama, tipicamente caracterizados pela elevada acidez, baixa concentração de nutrientes e pelo baixo potencial produtivo em função das suas características granulométricas (solo arenoso). O cultivo nessas condições é dificultado devido ao baixo potencial de produtividade, tornando-se indispensável a utilização de fertilizantes químicos ou orgânicos para a obtenção de melhores rendimentos no cultivo da cana-de-açúcar (NOLLA et al., 2009; KORNDÖRFER e ANDERSON, 1997).

Uma alternativa econômica e ambientalmente viável para a fertilização do solo, bastante utilizada em condições de solos arenosos e sob sistema de plantio direto, tem sido a utilização de resíduos orgânicos, por apresentarem menores problemas relacionados à lixiviação de nutrientes quando comparados às fontes minerais. Desta forma, em áreas produtoras de cana-de-açúcar têm

sido utilizados resíduos provenientes da indústria sucroalcooleira, como é o caso da vinhaça e da torta de filtro (LELIS NETO, 2008).

Dentre os benefícios dos resíduos da indústria sucroalcooleira, a torta de filtro caracteriza-se pelo fornecimento de cálcio, magnésio, fósforo e potássio, além da matéria orgânica, que propicia maior capacidade de retenção de água, diminuindo os problemas mais acentuados de estresse hídrico, impostos pelos solos arenosos (BAYER & MIEINICZUK, 1999; FIDALSKI, 1997; BEAUCLAIR, 1994; RODELLA et al., 1990).

Já a vinhaça apresenta elevados teores de potássio contribuindo na nutrição da cana-de-açúcar, além de possuir o efeito de redução da acidez do solo, com aumento do pH e diminuição do alumínio tóxico (SANADA et al., 2009; ALBUQUERQUE, 2009; LELIS NETO, 2008; LUZ, 2005; MEDINA et al., 2002).

A escassez de pesquisas envolvendo a aplicação de torta de filtro e vinhaça, relacionada principalmente pela aplicação combinada dos resíduos em solos arenosos, tem trazido dificuldades quanto à determinação de dosagens adequadas para fins de fertilização do solo e aumentos de produtividade da cana-de-açúcar (VASCONCELOS et al, 2010; GRILLO et al., 2010; DURIGAN et al., 2010).

A utilização dos resíduos de forma indiscriminada, sem estabelecimento de dosagem prévia, pode propiciar problemas de toxidez e contaminação de mananciais d'água e lençol freático pelo escoamento superficial e/ou lixiviação. Alguns estudos indicam que o uso dos resíduos para fins de fertilização proporciona aumentos na concentração dos nutrientes no perfil do solo, contribuindo com o fornecimento de nutrientes para a cana-de-açúcar, resultando em aumento da produtividade da cultura. Neste sentido, há insuficiência de estudos que estabelecem dosagens para solos arenosos, que retratam os possíveis efeitos do uso dos resíduos e suas combinações quanto à eficiência para a fertilização, bem como seu comportamento no perfil do solo.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer recomendações de dosagens para a fertilização da cana-de-açúcar com torta de filtro e vinhaça, além de estimar a produtividade da cultura submetida a dosagens isoladas e combinações dos resíduos orgânicos em solos arenosos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

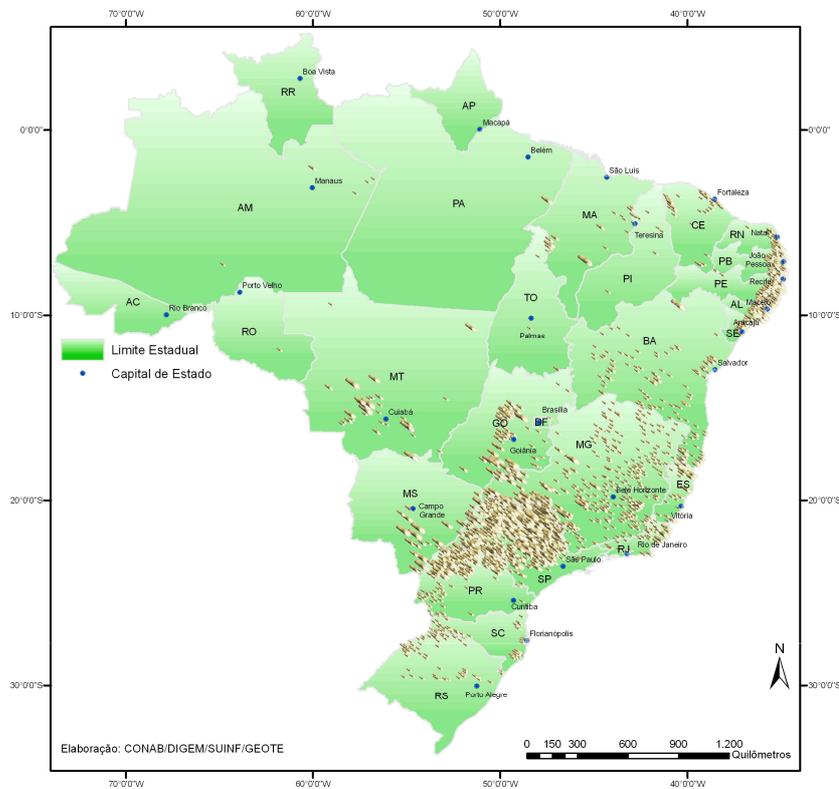
A cana-de-açúcar é uma espécie originária da Nova-Guiné que foi introduzida inicialmente no sul da Ásia, onde se encontram os primeiros relatos sobre seu uso na forma de xarope (SEGATO et al., 2006). Posteriormente, seu cultivo foi disseminado para outras regiões do mundo como norte da África, sul da Europa e nas margens do mar Mediterrâneo. Entretanto, como a cana-de-açúcar é uma cultura típica de clima tropical e subtropical, a mesma não se adaptou na Europa por ser uma região inserida nas zonas de clima temperado, com temperaturas predominantemente frias e riscos de nevascas, acarretando, assim, em contínua importação do Oriente de seus derivados (HETHERINGTON et al., 1986).

Essa cultura foi introduzida na América do Sul por volta do século XVI, primeiramente na região nordeste do Brasil. Esta região brasileira apresentava excelentes condições climáticas para o cultivo da cana-de-açúcar, favorecendo seu desenvolvimento vegetativo bem como o acúmulo de açúcar devido às elevadas temperaturas e ao déficit hídrico na fase de maturação fisiológica (CRONQUIST, 1981).

Nas demais regiões brasileiras, seu desenvolvimento foi favorecido pela presença de estações bem definidas, ou seja, períodos de elevada temperatura e precipitação no desenvolvimento vegetativo e períodos de déficit hídrico com ocorrência de baixas temperaturas na maturação, bem como relevo suavemente ondulado, favorecendo a concentração do seu cultivo na região sudeste, centro oeste e nordeste brasileiro, como ilustrado na Figura 01 (CONAB, 2011).

A caracterização química e física dos solos brasileiros, sobretudo o relevo, contribuiu para o estabelecimento e expansão da cana-de-açúcar, fato decorrente das características peculiares da planta, que se desenvolve em condições de solos arenosos com elevada acidez ($\text{pH-H}_2\text{O} < 5,0$), bem como teores tóxicos de alumínio trocável ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), sendo preferencialmente cultivada em solos de profundidade acima de um metro com relevos suavemente ondulado (2 a 5%), favorecendo o desenvolvimento, cultivo e

colheita da cultura no território brasileiro (HETHERINGTON et al., 1986; DILLEWIJN, 1952).



Fonte: CONAB, 2011

Figura 01: Distribuição geográfica do cultivo da cana-de-açúcar no território brasileiro.

No Brasil, há indícios de que o cultivo da cana-de-açúcar seja anterior à época do descobrimento (ano de 1500), devido a relatos que descrevem que navegadores despretensiosos teriam adquirido mudas de cana-de-açúcar da Ilha de São Domingos, local onde foram introduzidas as primeiras mudas por Colombo, e as teriam trazido até o Brasil. Porém, comprovadamente pelos historiadores, somente em 1534 que Pedro Álvares Cabral trouxe a cana-de-açúcar da Ilha da Madeira ao Brasil, iniciando, desta forma, seu cultivo em solo brasileiro (FURTADO, 2009).

O desenvolvimento da cana-de-açúcar foi incrementado pela criação de engenhos e plantações de mudas trazidas pelos portugueses aos estados de Pernambuco e Bahia, no século XVI. No século seguinte, o Brasil já

configurava como o maior produtor e fornecedor de açúcar, posição essa mantida até o final do século XVII. Entretanto, historicamente, essa cultura sempre obteve destaque, sendo que, em meados da década de 1970, devido à crise no setor petrolífero, houve o favorecimento do intenso cultivo da cana-de-açúcar e a industrialização da cultura para a produção de etanol no país (HOLANDA, 2004).

Já em 1975, houve a implantação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), acarretando em investimentos por parte do governo e da iniciativa privada para o desenvolvimento de tecnologia e estímulo ao consumo do etanol (subsídios ao cultivo de cana-de-açúcar, diminuição das tarifas fiscais às indústrias, aumento da produtividade da cana-de-açúcar, bem como a otimização do seu processo industrial, além da tecnologia para a produção de motores a etanol). Com a finalidade de diminuir as importações de petróleo e seus derivados, implantou-se a mistura de etanol anidro com gasolina, visto que tal decisão foi tomada com intuito de diminuir as importações de petróleo, a qual afetava em grande peso na balança comercial do país, representando 46% das importações na época (CORTEZ, 2007).

No período de 1979 a 1980, o barril de petróleo teve seu valor triplicado, fazendo com que o governo adotasse algumas medidas, como a criação do Conselho Nacional do Álcool - CNAL e a Comissão Executiva Nacional do Álcool – CENAL, objetivando a otimização do processo produtivo do etanol e a expansão do cultivo da cana-de-açúcar, bem como o lançamento de motores Otto (movidos 100% a etanol) atrativo pela menor taxa de impostos comparados com veículos motores a gasolina, diminuindo, assim, o peso das importações de petróleo na balança comercial do Brasil (MORGADO, 2000).

Posteriormente, de 1986 a 1995, houve uma diminuição expressiva, na ordem de 30%, dos valores do petróleo e seus derivados, esse período coincide também com a escassez de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo ao crescimento da produção de biocombustíveis, o que implica em decréscimo nos investimentos e na produção de etanol. Como consequência, foram presenciados problemas de abastecimento do combustível no período de entressafas perante a diminuição dos investimentos e também devido à preferência das indústrias sucroalcooleiras na fabricação de

açúcar comparativamente ao etanol, isto em decorrência dos melhores preços pagos no cenário internacional, desestimulando o consumo interno por etanol (FAAIJ & DOMAC, 2006).

A retomada do crescimento do etanol no Brasil concretizou-se em 2003 com a introdução no mercado automobilístico dos motores flex fuel (funcionamento com etanol, gasolina ou a mistura dos combustíveis), tornando promissora a produção de etanol ao mercado interno, visto a crescente aceitação pelos consumidores, que, no período de 2003 a 2006, atingiu 75% das vendas de automóveis no país. O crescimento no setor sucroalcooleiro é descrito pela soma de diversos fatores como: redução dos estoques, alta dos preços dos combustíveis fósseis (não renováveis), conscientização ambiental pela escolha de combustíveis menos poluentes (fontes renováveis) e baixo custo (JOSEPH, 2007).

Atualmente (2010-2011) o Brasil se destaca como líder do *ranking* mundial pela produção e processamento (açúcar e etanol) da cana-de-açúcar (CIB, 2009). Contudo, além das características descritas anteriormente que impulsionaram o cultivo de cana-de-açúcar, outro fator de suma importância que favorece as perspectivas de crescimento do setor sucroalcooleiro no país é o cenário internacional, visto a demanda por açúcar e etanol. Segundo ÚNICA 2010 (União das Indústrias de Cana-de-açúcar), são exportados cerca de 2.100 toneladas de açúcar e 190 milhões de litros de etanol por mês, sendo que os principais países consumidores são representados pelos Estados Unidos e a União Européia.

Segundo o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2011), para a safra 2010/2011, a área de cana-de-açúcar colhida destinada à atividade sucroalcooleira é de aproximadamente 8,03 milhões de hectares. Esta produção é distribuída de forma expressiva em sete estados brasileiros, sendo São Paulo o maior produtor com cerca de 54,23% (4,357 milhões de hectares), seguido por Minas Gerais com 8,1% (649,94 mil hectares) e o Paraná com 7,25% (582,32 mil hectares). Outros estados como Goiás, Alagoas, Mato Grosso do Sul e Pernambuco somam 22,17% (1,780 milhões de hectares). O volume total de cana-de-açúcar processada pelo setor sucroalcooleiro no período 2010/2011 será de aproximadamente 624,99 milhões de toneladas, o que, por sua vez, representa incremento de 3,27% na

produção, quando comparado com a safra 2009, ou seja, uma elevação de aproximadamente 20,48 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

O Estado do Paraná vem acompanhando os avanços do cultivo dessa cultura ocupando, em nível nacional, o terceiro lugar em produção e área cultivada, com produtividade média de 83 t ha^{-1} , superior à produtividade média do país, de 82 t ha^{-1} (CONAB, 2011).

Inserido nessas perspectivas, as regiões norte e noroeste do Paraná vêm aumentando a área sob cultivo de cana-de-açúcar, cuja microrregião de Umuarama, com produtividade média de 85 t ha^{-1} , detém maior expressividade, representando cerca de 30% do cultivo e produção de açúcar e etanol, seguida por Maringá (16%), Jacarezinho (13%) e Paranavaí (11%). O desenvolvimento nessa região é promissor devido à proximidade com o estado de São Paulo (mercado consumidor), facilitando, dessa forma, o escoamento da produção (ALCOPAR, 2010).

No entanto, o cultivo de cana-de-açúcar na região noroeste paranaense, principalmente na microrregião de Umuarama, ocorre em solos derivados do arenito Caiuá. Estes solos são caracterizados por apresentarem textura superficial franco-arenosa, elevada acidez e teores de alumínio tóxico ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), bem como baixa fertilidade natural, com teores de fósforo e potássio em média abaixo de 6,0 e 20 mg dm^{-3} , respectivamente, e teores de cálcio abaixo de $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, (SAMBATTI, 2003; FIDALSKI, 1997).

Assim, como o crescimento do cultivo da cana-de-açúcar ocorre principalmente em solos provenientes de pastagens degradadas, torna-se necessário o manejo químico ou orgânico destas áreas com o uso de corretivos que aumentem o pH e diminuam os teores de alumínio tóxico. Além disso, é recomendado o uso de fertilizantes que forneçam cálcio, fósforo e potássio ao solo, visto que estes nutrientes são exigidos em maiores concentrações (87, 19, 174 $\text{kg} / 100 \text{ t ha}^{-1}$ de colmo produzidos, respectivamente) para o desenvolvimento da cana-de-açúcar (STAUT, 2006; VITTI e MAZZA, 2002).

Deste modo, o uso de técnicas conservacionistas (construção de curvas de nível), bem como a inserção de matéria orgânica e restos culturais (palhada) faz-se necessário, pois objetiva diminuir a evaporação d'água além de elevar a CTC do solo (AMBIENTE BRASIL, 2010).

2.1. SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Diante deste cenário, as perspectivas de mercado futuro são promissoras quanto ao cultivo de cana-de-açúcar, pois, segundo a UDOP (2010) – União dos Produtores de Bioenergia – haverá um aumento no consumo interno de etanol, já para o ano de 2012, na ordem de 3 bilhões de litros e um consumo global de açúcar de 3 milhões de toneladas. Por isso, impulsionado pela elevada demanda no mercado de açúcar e etanol, o setor sucroalcooleiro busca alternativas para a diminuição de custos e o aumento da produtividade.

Juntamente com a crescente produção e industrialização da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol, há paralelamente a geração de subprodutos, destacando-se a torta de filtro e a vinhaça, resíduos estes potencialmente poluidores quando armazenados de forma incorreta (áreas de sacrifício) ou utilizados inadequadamente como adubos orgânicos (lançado indiscriminadamente nos solos sem doses pré-estabelecidas), gerando possíveis problemas ambientais quanto à poluição dos solos e mananciais d'água. Contudo, estes resíduos são uma alternativa para a diminuição de custos com adubação química, além de evitar seu acúmulo nas imediações das indústrias (SILVA et al., 2007).

Segundo a UDOP (2010), ao adotar a substituição do fertilizante químico pela torta de filtro e a vinhaça, a economia gerada pela utilização pode estar na ordem de US\$ 60 ha⁻¹, fator esse dependente da oscilação do dólar e do custo do adubo mineral. Este valor pode ser ainda maior considerando os benefícios ambientais (incalculáveis) e a diminuição do espaço físico ocupado nas indústrias pelos resíduos. Fixen (2009) relata a importância da utilização de resíduos para a substituição total ou parcial da adubação mineral, visto que o Brasil utiliza cerca de 3,7 milhões de toneladas de Fósforo (51% importado) e 4,2 milhões de toneladas de Potássio (91% importado), ou seja, boa parte dos fertilizantes minerais utilizados na agricultura é importada, o que eleva o custo na aquisição do fertilizante mineral.

Segundo a USGS (2010) – Serviço Geológico dos Estados Unidos – as reservas minerais mundiais, principalmente de fósforo e potássio, são esgotáveis, sendo que reservas como a do Canadá (detentora de 53% das reservas de potássio do mundo) possuem um período de extração estimado em 235 anos. Já o fósforo, estima-se que a longevidade da reserva seja de aproximadamente 291 anos, uma vez que os países de maior concentração dessa reserva são Marrocos e Saara, somando 43% das reservas mundiais desse nutriente. Esse perfil expressa a elevação futura do custo dos fertilizantes e a necessidade de obter alternativas para a substituição da adubação mineral.

Diante da importância econômica, ressaltam-se os benefícios ambientais perante a destinação adequada dos resíduos, pois, sem o destino correto, a torta de filtro é acumulada em áreas ao ar livre diretamente sobre o solo, acarretando em possível contaminação devido ao acúmulo de nutrientes como cobre, molibdênio e zinco, que em quantidades superiores às determinadas pela CETESB (2006), respectivamente de 4.300, 75, e 7.500 mg kg⁻¹, inviabiliza o solo para o cultivo (ALVARENGA & QUEIROZ, 2008).

A vinhaça, por sua vez, quando em contato com o solo em concentrações ou quantidades elevadas, ocasiona malefícios tanto ao solo quanto ao lençol freático, pois, em decorrência da concentração de nutrientes em sua composição, há possibilidade de contaminação da água subsuperficial por amônia, magnésio, ferro e cloreto quando utilizada em dosagens excessivas. Devido ao seu aspecto líquido, a vinhaça pode proporcionar problemas de lixiviação no solo, carregando seus nutrientes (cálcio, magnésio e potássio) até o lençol freático e por escoamento superficial atingir mananciais d'água, provocando o efeito de eutrofização da água, ou seja, acúmulo de nutrientes que favorecem o crescimento desenfreado de algas e diminuição nos teores de oxigênio, ocasionando a morte da fauna (peixes e microorganismos), além de tornar a água inadequada para a utilização (PIACENTE, 2005).

O uso da vinhaça e da torta de filtro na agricultura contribui para a sustentabilidade do cultivo da cana-de-açúcar, já que os nutrientes extraídos pela cultura são repostos pela aplicação dos subprodutos do seu processamento. No entanto, justifica-se o estudo de dosagens e critérios de

fertilização com estes resíduos para suprir a demanda nutricional da cultura e aumentar a fertilização do solo (OMAR, 2009; GLOEDEN et al., 1991).

O suprimento de potássio pelo uso da vinhaça deve ser embasado nos teores contidos no resíduo e na demanda nutricional requerida pela cultura, diminuindo o custo com a aquisição de fertilizantes potássicos e os possíveis problemas quanto ao seu acúmulo nas imediações das indústrias (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 2007; LEITE, 1999; KORNDÖRFER & ANDERSON, 1997; ORLANDO FILHO, 1983).

Já a torta de filtro apresenta concentrações de cálcio e fósforo capazes de atender ao suprimento parcial ou total da demanda requerida pela cana-de-açúcar, ressaltando que esse suprimento está relacionado com o teor do nutriente e sua quantidade aplicada. Embora o cálcio e o fósforo sejam os nutrientes em maiores concentrações, a torta de filtro também contribui com demais nutrientes como, magnésio, enxofre e traços de micronutrientes como zinco, ferro, manganês, cobre e molibdênio (SANTOS, 2009; NARDIN, 2007; ROSSETTO E DIAS, 2005; PENATTI E DONZELLI, 1991; RODELLA et al., 1990; NUNES JUNIOR. et al., 1988; CARDOZO 1988; ORLANDO FILHO, 1983).

2.2. TORTA DE FILTRO

A torta de filtro é um resíduo composto pela mistura de bagaço moído e lodo da decantação decorrente do processo de fabricação do açúcar, mais especificamente da etapa denominada de clarificação do caldo da moenda. O processo de adição do hidróxido de cálcio ao caldo aquecido origina floculações de colóides orgânicos, precipitados de sais de cálcio e, sobretudo, fosfatos. Essa suspensão é mantida em repouso, resultando em um caldo límpido e um precipitado constituído por compostos orgânicos e inorgânicos que foram insolubilizados. Neste precipitado, há uma grande quantidade de caldo clarificado, o qual é recuperado pelo processo de filtração a vácuo (FIGURA 02), sendo a borra resultante da filtração denominada de torta de filtro ou torta Oliver (NUNES JUNIOR, 2008).

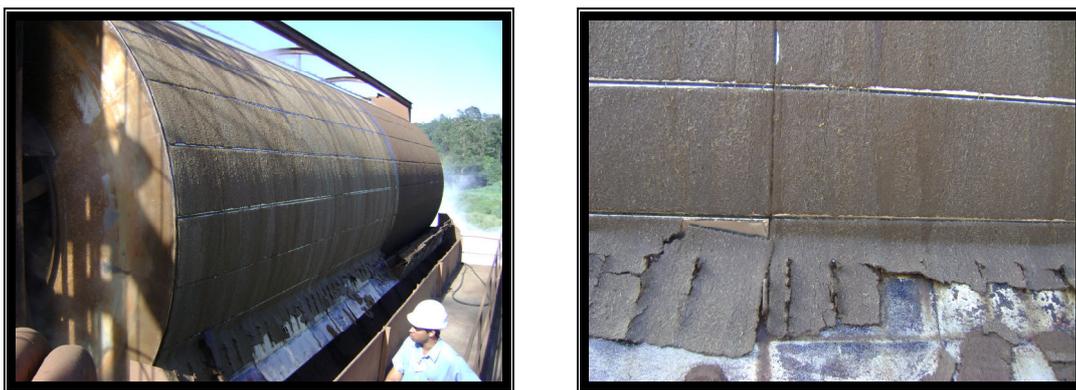
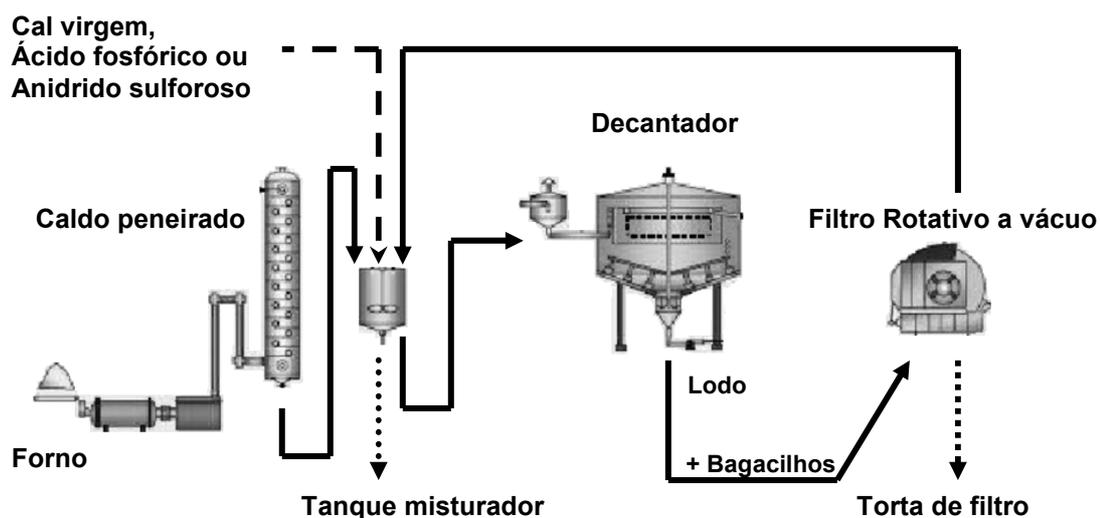


Figura 02: Processo de filtragem a vácuo para a recuperação do caldo clarificado da cana-de-açúcar, resultando na obtenção da torta de filtro.

Em função dos métodos de clarificação do caldo, a torta de filtro pode estabelecer teores de alguns minerais como cálcio, fósforo e enxofre, advindo do produto utilizado para que ocorra a floculação de impurezas como solo (lodo) e bagacilhos. Os produtos utilizados nesta etapa podem ser o cal virgem (CaO), ácido fosfórico (H_3PO_4) e anidrido sulfuroso (SO_2), os quais contribuem com os nutrientes provenientes de sua adição. Neste processo (FIGURA 03), a cada tonelada de cana moída é gerado cerca de 30 a 40 kg de torta de filtro (DELGADO & CÉSAR, 1990).



Fonte: Delgado & César (1990) adaptado pelo autor

Figura 03: Processo de clarificação do caldo da cana-de-açúcar e obtenção da torta de filtro.

Malavolta (2002) determina os teores médios nutricionais contidos na torta de filtro, destacando os teores de fósforo (1,30%), cálcio (4,00%) e enxofre (1,30%), nutrientes encontrados em concentrações maiores no resíduo (TABELA 01). Segundo o autor, a utilização de torta de filtro como fertilizante orgânico é capaz de atender às necessidades nutricionais da cana-de-açúcar por fósforo, cálcio e enxofre.

TABELA 01: Composição média dos nutrientes da torta de filtro

| ELEMENTO | % | ELEMENTO | mg dm ⁻³ |
|-------------------------------|------|----------|---------------------|
| MATERIA ORGÂNICA | 6,90 | Co | 1,40 |
| SiO ₂ | 7,60 | Cu | 65,00 |
| N | 1,40 | Fe | 2.500,00 |
| P ₂ O ₅ | 1,30 | Mn | 624,00 |
| K ₂ O | 0,30 | Mo | 0,60 |
| CaO | 4,00 | Zn | 89,00 |
| MgO | 0,40 | | |
| SO ₄ | 1,30 | | |

FONTE: adaptado de MALAVOLTA (2002)

Segundo Segato et al. (2006) e Malavolta et al. (1997) a necessidade nutricional requerida de macronutrientes para a produção de 100 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar é de: 143 kg de nitrogênio, 19 kg de fósforo, 174 kg de potássio, 87 kg de cálcio, 49 kg de magnésio e 44 kg de enxofre. Já para os micronutrientes, a demanda nutricional requerida, segundo os mesmos autores, em 100 toneladas de cana-de-açúcar produzidas é de: 235 gramas de boro, 339 gramas de cobre, 7.318 grama de ferro, 2.470 gramas de manganês e 592 gramas de zinco. Perante a demanda nutricional da cultura e a composição química média da torta de filtro (TABELA 01), pode se estabelecer a dosagem para o fornecimento nutricional requerido pela cana-de-açúcar. Verifica-se na Tabela 02 a dose calculada baseada nos teores médios da torta de filtro (MALAVOLTA, 2002) e a necessidade nutricional da cultura (SEGATO et al., 2006 e MALAVOLTA et al., 1997). Contudo, esta dosagem parte do pressuposto de liberação rápida para a solução do solo. No entanto, a torta de filtro é um adubo orgânico de liberação lenta, sendo necessários estudos para estabelecer dosagens ideais para cada tipo de solo e região, fertilizando o solo

e disponibilizando as quantidades necessárias para o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

TABELA 02: Dose de torta de filtro embasada na demanda nutricional da cana-de-açúcar e os teores médios descritos por Malavolta (2002)

| Nutrientes | Demanda nutricional | Dose de torta de filtro |
|-------------------------------|--|-------------------------|
| | kg/100 t ha ⁻¹ cana produzida | t ha ⁻¹ |
| N | 143 | 10,2 |
| P ₂ O ₅ | 19 | 1,5 |
| K ₂ O | 174 | 58 |
| CaO | 87 | 2,2 |
| MgO | 49 | 12,2 |
| SO ₄ | 44 | 3,4 |

Omar (2009), trabalhando com diferentes dosagens de torta de filtro 0, 3, 6, 8, 12 t ha⁻¹ em solo arenoso na Malásia em dois cultivos (cana-planta e cana-soca), descreve acréscimos significativos nos teores de cálcio, sendo de 0,13 cmol_c dm⁻³ no primeiro cultivo e de 0,21 cmol_c dm⁻³ no segundo cultivo, onde o maior aumento se verificou quando foi utilizada 10 t ha⁻¹ de torta de filtro. Em estudo realizado a campo em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e com aproximadamente 25% de argila, Nardin (2007) relata aumentos significativos nos teores de cálcio e fósforo na camada de 0,20 – 0,40 m quando adicionadas doses 30 e 60 t ha⁻¹ de torta de filtro comparativamente a testemunha (0 t ha⁻¹ do resíduo). Este incremento foi de maior relevância na dosagem de 60 t ha⁻¹, cujos teores de fósforo e cálcio obtiveram acréscimo na ordem de 12,6 mg dm⁻³ e 0,27 cmol_c dm⁻³ respectivamente. Contudo, Omar (2009) e Nardin (2007), concluíram que a diferença entre as doses para a obtenção de acréscimo nos nutrientes do solo está diretamente relacionada com a composição nutricional da torta de filtro, e que, devido a este acréscimo, o resíduo deve ser avaliado para fins de adubação orgânica, podendo ser recomendado pelos critérios de exigência nutricional da cultura, para que assim não haja extrapolação nas dosagens e ocorrência de problemas por toxidez.

Arreola-Enriquez et al. (2004) em estudo num Argissolo ($38,0 \text{ g kg}^{-1}$ de argila) observou um incremento no pH do solo ($\text{pH-H}_2\text{O} = 6,0$) quando adicionadas dosagens crescentes de torta de filtro, sendo a dose 10 t ha^{-1} responsável pela elevação do pH em 0,7 unidades em área de primeiro cultivo. A aplicação de 10 t ha^{-1} de torta de filtro também aumentou os teores de fósforo (18,77 para $52,11 \text{ mg dm}^{-3}$) e potássio (0,18 para $0,28 \text{ cmolc dm}^{-3}$), o que favoreceu o aumento da produtividade de colmos de cana em até 46%, porém sem alterações na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Caldeira & Paccola (2008) demonstram em um Nitossolo Vermelho argiloso, que a torta de filtro na dose de 20 t ha^{-1} elevou os teores de fósforo e cálcio respectivamente na ordem de 100% e 200%, de forma que não houve necessidade de complementação com fertilizantes minerais.

Por sua vez, a elevação obtida no pH por Arreola-Enriquez et al. (2004) esta atribuída à decomposição da torta de filtro, cuja liberação de malato, citrato, oxalato entre outros contidos na matéria orgânica são decarboxilados (liberação CO_2) resultando no consumo de prótons que alteram o pH, alcalinizando o solo. Estes radicais se ligam aos íons de Al^{3+} , complexando o elemento tóxico em solução (ROSSETTO e DIAS, 2005; DEE et al., 2003; SLATTER et al.; 1991). Quanto ao cálcio e potássio, o aumento nos teores está ligado diretamente à composição química da torta de filtro, sendo necessária, primeiramente, uma avaliação dos seus teores para posteriormente ser estabelecida a dosagem adequada, de maneira a não ocasionar possíveis problemas de desequilíbrio e deficiência nutricional (OMAR, 2009; NARDIN, 2007).

Na Tabela 01 observa-se que a torta de filtro também é capaz de disponibilizar micronutrientes para a fertilização do solo, bem como para a nutrição da cana-de-açúcar como zinco, ferro, molibdênio, manganês, cobre e cobalto, cuja presença evidencia a utilização do resíduo como fonte de micronutriente (MELLIS e QUAGGIO, 2009). Segundo a CETESB (2006), concentrações acima de 4.300, 75 e 7.500 de cobre, molibdênio e zinco, respectivamente, inviabilizam a destinação do resíduo para fins de adubação orgânica. Contudo, a torta de filtro apresenta concentrações abaixo das toleradas pela CETESB, indicando que o uso do resíduo para fins de adubação orgânica não propicia problemas de intoxicação ao solo.

Em trabalhos realizados por Zoratto (2006) e Penatti (1991) foram observados que mesmo quando aplicadas dosagens de torta de filtro acima das exigências nutricionais da cana-de-açúcar, não foram diagnosticados problemas quanto ao acúmulo de cobre, molibdênio e zinco, visto que os nutrientes são fornecidos ao solo de forma gradativa, não apresentando problemas de toxidez. O problema do resíduo não está associado à sua utilização como fertilizante orgânico, mas pelo acúmulo nos pátios das indústrias que, ao armazenarem quantidades elevadas, podem apresentar concentrações dos nutrientes acima das permitidas pela CETESB (2006), contaminando dessa forma o solo, o lençol freático e os mananciais d'água pela infiltração e escoamento do chorume.

Ramalho e Amaral Sobrinho (2001), avaliando os efeitos residuários da torta de filtro no cultivo da cana-de-açúcar e em áreas destinadas para armazenamento do resíduo da indústria a mais de 20 anos (denominadas áreas de sacrifício), observaram aumentos nos teores de cobalto, cobre, zinco, ferro, manganês e molibdênio principalmente na área de sacrifício. No entanto, estes teores não atingiram os níveis críticos de toxidade determinados pela CETESB, indicando baixa probabilidade de toxidez do solo ou mananciais d'água pelo acúmulo destes nutrientes com a aplicação de torta de filtro.

Segundo Rodella et al. (1990) outra evidência que torna promissor o uso da torta de filtro para fertilização do solo é referente aos teores de matéria orgânica contidos no resíduo (TABELA 01), cujos benefícios estão relacionados com melhorias na qualidade química e física do solo. Segundo Bayer & Mieiniczuk (1999), a matéria orgânica contribui no tamponamento do solo e na retenção de íons, ou seja, aumenta a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) diminuindo as perdas por lixiviação dos nutrientes. Beauclair (1994) descreve que a matéria orgânica presente na torta de filtro apresenta atividade superior a da argila, reduzindo a fixação de fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio através do bloqueio dos sítios de fixação com radicais orgânicos presentes nos húmus (grupos carboxílicos (-COOH), fenólicos e álcoois (-OH)). Estes radicais orgânicos formam quelatos solúveis com ferro, manganês, zinco, molibdênio e cobre, tornando-os prontamente disponíveis para a absorção das plantas. Outra propriedade importante dos teores de matéria orgânica apresentados na torta de filtro relaciona-se com as melhorias físicas do solo,

pois a mesma proporciona estabilidade dos agregados, aumentando a porosidade e diminuindo a resistência à penetração do solo, o que favorece a infiltração e distribuição do sistema radicular. Por sua vez, a matéria orgânica proveniente da torta de filtro possui alta higroscopicidade, cuja retenção é de 6 (seis) vezes seu próprio peso em água, aumentando a capacidade de armazenamento de água no solo (BAYER & MIEINICZUK, 1999; FIDALSKI, 1997; BEAUCLAIR, 1994).

Santos (2009), com intuito de melhorar a eficiência da adubação fosfatada, adicionou fósforo à torta de filtro, visto que o resíduo possui elevada concentração de matéria orgânica e provavelmente contribuiria na diminuição do processo de adsorção e fixação do nutriente ao solo, tornando maior seu efeito residual. Deste modo, foi observado que a dosagem de 2 t ha⁻¹ de torta de filtro (bases seca) sem a adição de fósforo, em Argissolo com 180 mg dm⁻³ de argila, supriu a demanda nutricional da cana-de-açúcar, cuja produtividade alcançada foi de até 140 t ha⁻¹ de colmo de cana-de-açúcar, comparada ao tratamento com torta de filtro mais 200 Kg ha⁻¹ de fósforo (100 t ha⁻¹ de colmos). O mesmo autor retrata que não houve diferença significativa quanto à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (Pol., °Brix, ATR e Fibra). Donzelli & Penatti (1997) utilizando torta de filtro com baixos teores médios nutricionais em Latossolo Roxo Ácrico, observou que o melhor desenvolvimento da cana-de-açúcar alcançado foi quando aplicado 21 t ha⁻¹ do resíduo juntamente com a complementação mineral de 30 Kg ha⁻¹ de nitrogênio e 140 Kg ha⁻¹ de potássio, não observando aumentos da qualidade tecnológica da cultura.

Contudo, a prática de enriquecimento nutricional da torta de filtro é benéfica quando necessário, pois os radicais orgânicos do resíduo em decomposição ocupam sítios de fixação de fósforo e potássio, diminuindo assim a reação com os minerais de argila e óxidos de ferro, os quais interferem na disponibilidade deste nutriente para a solução do solo pela fixação do mineral, acarretando assim numa maior disponibilidade do nutriente para a cultura e menor lixiviação (BEAUCLAIR, 1994; KORNDÖRFER et al., 1989).

Fravet (2010), avaliando os efeitos da aplicação de doses crescentes de torta de filtro em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa (35% argila), observou que as variáveis, altura de planta, tonelada de colmos por hectare (TCH) e tonelada de sacarose por hectare (TPH) obtiveram ganhos

com a aplicação de torta de filtro, sendo que a aplicação de 70 t ha⁻¹ do resíduo apresentou os melhores resultados para os parâmetros testados. Por sua vez, a adição de torta de filtro não influenciou nos aumentos dos parâmetros tecnológicos avaliados da cana-de-açúcar (Pol., °Brix, ATR e Fibra). Rivera-Pineda (1994) descreve que as dosagens crescentes de torta de filtro (0; 20; 40 e 60 t ha⁻¹) não afetaram a qualidade do caldo quanto ao teor °Brix e Pol. da cana-de-açúcar. Já quanto à produtividade de colmos, observou-se aumento significativo na ordem de até 27% na maior dosagem aplicada em relação à testemunha.

Os efeitos não significativos das variáveis tecnológicas (Pol., °Brix, ATR e Fibra) estão associados ao aumento de produção de colmos, visto que o efeito da melhoria da fertilidade do solo com a aplicação de torta de filtro induziu a cana-de-açúcar a uma maior vegetação e, como consequência, um menor acúmulo de sacarose, afetando as variáveis Pol., °Brix, ATR e Fibra (OLIVEIRA et al., 2002; JARUSSI, 1998; KORNDÖRFER et al., 1997; PEREIRA et al., 1995; SILVA et al., 1983; ALEXANDER 1973).

2.3. VINHAÇA

A vinhaça ou vinhoto é um resíduo proveniente da fermentação do caldo da cana-de-açúcar para a obtenção do etanol, cuja matéria-prima pode ser classificada em três diferentes tipos: melaço, misto ou caldo (BERTONCINI, 2008).

Cada classificação possui diferentes composições químicas (TABELA 03), dependente da qualidade nutricional da cana-de-açúcar e se há ou não adição de água residuária. Luz (2005) descreve que a vinhaça, denominada de melaço, é o resíduo obtido da fermentação direta do etanol e, desta maneira, constitui teores maiores de matéria orgânica, potássio, enxofre e cálcio, comparativamente aos vinhotos mistos e de caldo, cuja origem é proveniente da mistura do melaço com outras águas residuárias que, por sua vez, são mais utilizadas pelo setor sucroalcooleiro para fins de fertirrigação, visto a geração em maiores volumes, atribuída à adição de outras águas residuárias

provenientes do processo industrial da cana-de-açúcar (lavagem da cana, tubulações e dornas).

TABELA 03: Composição química média dos três tipos de vinhaça obtidos na indústria sucroalcooleira

| ELEMENTOS | VINHAÇA | | |
|---|---------|-------|-------|
| | MELAÇO | MISTO | CALDO |
| N (Kg m ⁻³) | 0,77 | 0,46 | 0,28 |
| P ₂ O ₅ (Kg m ⁻³) | 0,19 | 0,24 | 0,20 |
| K ₂ O (Kg m ⁻³) | 6,00 | 3,06 | 1,47 |
| CaO (Kg m ⁻³) | 2,45 | 1,18 | 0,46 |
| MgO (Kg m ⁻³) | 1,04 | 0,53 | 0,29 |
| SO ₄ (Kg m ⁻³) | 3,73 | 2,67 | 1,32 |
| *M.O. (Kg m ⁻³) | 52,04 | 32,63 | 23,44 |
| Fe (mg.Kg ⁻¹) | 80,00 | 78,00 | 69,00 |
| Cu (mg.Kg ⁻¹) | 5,00 | 21,00 | 7,00 |
| Zn (mg.Kg ⁻¹) | 3,00 | 19,00 | 2,00 |
| Mn (mg.Kg ⁻¹) | 8,00 | 6,00 | 7,00 |
| pH | 4,40 | 4,10 | 3,70 |

*M.O. Matéria Orgânica

FONTE: adaptado de LUZ (2005)

Para cada litro de etanol são produzidos cerca de 10 a 15 litros de vinhaça, sendo estimados para cada tonelada de cana-de-açúcar processados uma produção média de 85 a 100 litros de etanol, ou seja, são produzidos até 1.500 litros de vinhaça por tonelada de cana-de-açúcar industrializada para produção de etanol (GLOEDEN et al., 1991). Segundo a UDOP (2010), estima-se que para o ano de 2012 serão produzidos aproximadamente 30 a 45 bilhões de litros do resíduo na industrialização da cana-de-açúcar para fabricação de etanol. Esta produção requer cuidados quanto ao seu uso, pois, de acordo com Silva et al. (2007) e Hassuda (1999), a vinhaça possui natureza poluidora, proveniente da elevada demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), que, com a possibilidade de contato com corpos d'água, diminuem drasticamente o teor de oxigênio, proporcionando a morte da fauna dependente da mesma. Por sua vez, os mesmos problemas podem ser diagnosticados

quando o resíduo é adicionado ao solo, pois, por infiltração, a vinhaça pode atingir o lençol freático.

Contudo, Abreu Júnior (2005), Lyra et al. (2003) e Ridesa (1994), descrevem que os problemas com a DQO e DBO são minimizados quando a vinhaça é aplicada ao solo, pois a interação biótica (microorganismos) e abiótica (OH^- e COOH^-) do resíduo com o solo, remove grande parte da demanda por oxigênio. Assim, caso infiltre até o lençol freático, este problema é minimizado. No entanto, problemas por contaminação podem ser decorrentes da presença de alguns íons apresentados no resíduo como o potássio e enxofre, que, devido ao acúmulo e possível percolação no perfil do solo até o lençol freático, podem ocasionar o efeito de salinização. Este efeito pode ser minimizado quando utilizados critérios para estabelecer a dosagem adequada de vinhaça a ser utilizada como adubo orgânico (ABREU JÚNIOR 2005; RIDESA 1994).

Estes critérios, com intuito de minimizar os possíveis impactos ambientais, foi homologada, em dezembro de 2006, a Norma Técnica da CETESB P4.231 “Vinhaça critérios e procedimentos para aplicação no solo”. O objetivo desta normativa foi caracterizar possíveis fatores que diminuíssem os impactos ambientais pela utilização do resíduo.

Primeiramente, a CETESB (2006) estabelece como critério para o uso da vinhaça como fertilizante orgânico, que o lençol freático possua no mínimo uma distância de 1,50 metros da superfície. Além disso, é considerada a quantidade de potássio no solo e que este teor participe de no máximo 5% do potássio na CTC da camada de 0,80 metros, objetivando a não saturação do nutriente no solo, visto que este nutriente ocasiona maiores perdas por lixiviação devido a sua alta mobilidade no solo, quando comparados com os demais nutrientes que constituem o resíduo.

Tais fatores auxiliaram na obtenção de uma equação matemática, cujo objetivo é determinar o volume a ser aplicado em cada solo a partir do teor de potássio no resíduo e a quantidade necessária extraída do nutriente pela cana-de-açúcar.

$$V = \frac{[(0,05 \times CTC - K_{\text{solo}}) \times 3744 + 185]}{K_{\text{vinhaça}}}$$

onde:

- V = volume em m³ de vinhaça a ser aplicado por hectare;
- 0,05 = corresponde a 5% da ocupação de K⁺ na CTC do solo;
- CTC = capacidade de troca catiônica expressa em cmol_c dm⁻³;
- K_{solo} = concentração de potássio no solo em cmol_c dm⁻³ a uma profundidade de 0,80 metros;
- 3744 = constante de transformação dos valores expressos em cmol_c dm⁻³ para kg de K⁺;
- 185 = suposta quantidade em kg ha⁻¹ de K₂O extraído pela cana-de-açúcar por corte;
- K_{vinhaça} = concentração de K₂O na vinhaça expressa em kg de K₂O ha⁻¹

Contudo, ressalta-se que a fórmula apresentada pela CETESB (2006), não considera o teor de argila e matéria orgânica do solo. Adicionando estes fatores à dosagem ideal para solos arenosos pode apresentar alteração, visto que estas são características primordiais para a determinação de critérios para a fertilização do solo e nutrição da cana-de-açúcar em solos arenosos com baixa CTC.

Neste contexto, Lelis Neto (2008) trabalhando com dois tipos de solo um de textura arenosa (Latosolo Vermelho) e o segundo de textura argilosa (Nitossolo), utilizando doses de vinhaça na ordem de 0, 100; 150; 200; 250 e 300 m³ ha⁻¹ do resíduo, relata que a percolação dos nutrientes contidos na vinhaça está atrelada à textura do solo, pois, solos de textura argilosa caracterizam-se, na maioria das vezes, pela presença de maior CTC comparativamente a solos arenosos, isto é proveniente das cargas estabelecidas pelas argilas. Assim, em solos arenosos podem ser recomendadas dosagens menores que para solos argilosos, diminuindo os possíveis riscos de contaminação do solo e lençol freático. No entanto, observa-se na pesquisa que a dosagem de 300 m³ ha⁻¹ não apresentou risco de contaminação para ambos os solos testados até a camada de 0,60 m, não

havendo aumentos significativos dos teores de potássio, descartando a possibilidade de contaminação do lençol freático pela lixiviação do nutriente.

Paulino et al. (2002) atribuindo dosagens de vinhaça à qualidade do caldo e produtividade da cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho, descreve que dosagens acima de $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ proporcionaram desequilíbrio nutricional à cultura. Este desequilíbrio ocasiona a inversão da sacarose, ou seja, a planta eleva os teores de açúcares redutores, acarretando na redução da síntese de sacarose, proporcionando baixa qualidade da matéria prima e rendimento na indústria (ALEXANDER,1973). O mesmo autor estabelece que para o solo estudado a dosagem ideal para obtenção da máxima produtividade sem alteração das características tecnológicas da cana-de-açúcar são 300 e $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, totalizando, respectivamente, uma produtividade de 115 e 118 t ha^{-1} de colmos de cana. No entanto, dosagens excedentes a $400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ reduziram a produtividade e a qualidade do caldo da cultura, de modo que, variações nas dosagens são decorrentes da concentração dos teores de potássio e demais nutrientes constituintes do resíduo.

Medina et al. (2002) em um Latossolo Vermelho, com cultivo de cana-de-açúcar de 3º corte, reafirma a dosagem estabelecida por Paulino et al. (2002), sendo a dosagem de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça detentora da máxima produtividade (cerca de 100 t ha^{-1} de colmos de cana-de-açúcar). Em suma, dosagens acima da proposta ($300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) foram atribuídas à diminuição da produtividade de colmos e qualidade do caldo da cana-de-açúcar (°Brix, Pol., ATR e Fibra).

Já para Có Junior et al. (2008), estabelecendo dosagem de vinhaça a partir da equação estabelecida pela CETESB (2006) em Latossolo Vermelho eutroférico e utilizando a mesma dosagem de potássio na forma mineral (185 Kg ha^{-1} de K_2O), descreve não haver diferença significativa nas duas formas de fornecimento de potássio para a cultura quanto a produtividade de colmos e qualidade do caldo. Assim, pode-se atribuir à vinhaça efeitos fertilizantes, visto que o resíduo é suficiente para suprir a demanda nutricional de potássio exigida pela cultura.

Segundo a CETESB (2006), outros nutrientes como cobre e zinco contidos na vinhaça devem ser monitorados devido à possibilidade de contaminação do solo, visto que a taxa anual máxima aplicada ao solo é de 75

e 140 Kg ha⁻¹. ano (TABELA 04). No entanto, observa-se na Tabela 03 que a vinhaça (melaço, mista ou caldo) possui concentração abaixo das máximas permitidas, favorecendo o emprego do resíduo como fertilizante orgânico, sem possíveis problemas de contaminação do solo e lençol freático, desde que em dosagens pré-estabelecidas. Segundo Raji et al. (1997) a dosagem ideal recomendada para fertilização do solo sem problemas de contaminação varia entre 60 a 250 m³ ha⁻¹ de vinhaça, dependendo do solo a ser aplicado e dos teores nutricionais contidos no resíduo. Por sua vez, a CETESB (2006) determina que sejam utilizados como critérios, a profundidade do solo (mínima de 1,50 metros) e que a participação do potássio seja de, no máximo, 5% da CTC da camada de 0,80 metros. Verifica-se, deste modo, que não há efetivamente estabelecida uma recomendação de dosagem ideal, particularmente para solos arenosos de baixa CTC e fertilidade natural.

Por sua vez, Camilotti et al. (2009), em pesquisa dos efeitos do cádmio, cromo, níquel e chumbo presentes na vinhaça em Latossolo Vermelho distroférico, relatam não haver problemas de toxidez do solo e da planta quando aplicados até o dobro da dosagem de vinhaça necessária para o fornecimento de potássio requerido pela cana-de-açúcar, isto indica que a aplicação de dosagens acima das necessidades nutricionais da cultura não proporcionam problemas de contaminação. Contudo, para atingirem os teores de contaminação de cobre e zinco propostos pela CETESB seriam necessárias a aplicação de 3 a 7 milhões de m³ ha⁻¹.ano de vinhaça. Verifica-se que o volume para a ocorrência de possíveis problemas de toxidez quanto ao acúmulo de íons no solo e contaminação do lençol freático são elevados. Por sua vez, estes valores são presumíveis quando se diz respeito aos tanques de armazenamento (lagoas de sacrifício) e os canais abertos (sem impermeabilização) onde o resíduo percorre para ser utilizado na fertirrigação em áreas adjacentes à indústria (SILVA et al., 2007; GATTO, 2003; HASSUDA, 1999).

Ramalho e Sobrinho (2001), em estudo sobre os efeitos da vinhaça em lagoas de armazenamento e em áreas de cultivo, relatam observar incrementos quanto aos teores de cobre, zinco e manganês na ordem para até 12, 10 e 14 mg dm⁻³, respectivamente, nas lagoas de armazenamento. Estes teores por

sua vez, não foram suficientes para atingirem os níveis críticos de toxidez (TABELA 04) estabelecidos pela CETESB (2006).

TABELA 04: Carga cumulativa máxima permitida de metais pesados no solo estabelecida pela CETESB

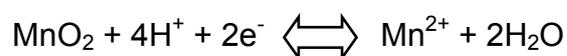
| Metais Pesados | Concentração Máxima Permitida | Taxa anual máxima de aplicação no solo | Carga cumulativa máxima permitida |
|----------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| | mg Kg ⁻¹ | Kg ha ⁻¹ . ano | Kg ha ⁻¹ |
| As | 75 | 2 | 41 |
| Cd | 85 | 1,9 | 39 |
| Cr | 3.000 | 150 | 3.000 |
| Cu | 4.300 | 75 | 1.500 |
| Pb | 840 | 15 | 300 |
| Hg | 57 | 0,85 | 17 |
| Mo | 75 | 0,90 | 18 |
| Ni | 420 | 21 | 420 |
| Si | 100 | 5 | 100 |
| Zn | 7.500 | 140 | 2.800 |

Fonte: adaptado de CETESB (2006)

Segundo Segato et al. (2006) e Malavolta et al. (1997), a necessidade da cana-de-açúcar é de 174 Kg de potássio para cada 100 toneladas de cana-de-açúcar produzidas, o que equivale a uma adubação com vinhaça de caldo na dosagem de até 119 m³ ha⁻¹. Nesta dosagem, com intuito de suprir a demanda de potássio pela cultura, são ofertados enxofre (157 Kg ha⁻¹), cálcio (54,74 Kg ha⁻¹) e magnésio (35 Kg ha⁻¹), ou seja, as quantidades ofertadas estão próximas às necessidades da cultura por estes nutrientes. Quanto à oferta de micronutriente são fornecidos aproximadamente 833 gramas ha⁻¹ de cobre e manganês e 238 gramas ha⁻¹ de zinco, estas quantidades favorecem o aumento da produtividade de colmos da cana-de-açúcar, proporcionando à vinhaça efeito fertilizante quando adicionado ao solo. Segundo Franco et al. (2008), quando aplicadas dosagens de 115 e 230 m³ ha⁻¹ de vinhaça, equivalente a 100 e 200% da necessidade de potássio da cana-de-açúcar, foram observados em Latossolo Vermelho-amarelo, elevações significativas na produtividade da cultura, cuja dosagem de 115 m³ ha⁻¹ do resíduo foi atribuída ao máximo desempenho da cana-de-açúcar com produtividade média de até 126 e 94 t ha⁻¹ de colmos para cana-planta e cana-soca, respectivamente. Do

mesmo modo, Malavolta et al. (2002), utilizando vinhaça de caldo, alcançou produtividades médias de 90 e 98 t ha⁻¹ de colmos, utilizando dosagens respectivamente de 500 e 1.000 m³ ha⁻¹ do resíduo, dosagens elevadas devido à baixa concentração de potássio proveniente da diluição da vinhaça com outras águas residuárias da indústria. Estes resultados são superiores aos obtidos pela testemunha (76 t ha⁻¹ de colmos), cuja adubação foi realizada com fertilizantes químicos nas mesmas concentrações das aplicadas pela vinhaça. Atribuída a este aumento significativo de produtividade da cana-de-açúcar, o autor vincula às quantidades de micronutrientes (ferro, cobre, zinco e manganês) fornecidos pela aplicação de vinhaça. Tasso Jr. et al. (2007), em estudo semelhante, relata que estes aumentos em produtividade não foram refletidos na qualidade tecnológica da cultura como °Brix, Pol., ATR e Fibras.

Sanada et al. (2009); Korndörfer & Anderson, (1997); Demattê (1992); Glória (1992); Rodella & Ferrari, (1977) propõem que estes aumentos de produtividade estão relacionados com elevação do pH e disponibilidade de nutrientes à cana-de-açúcar. Segundo estes autores, mesmo o resíduo possuindo caráter ácido, a reação que ocorre no solo é de oxirredução e ácido/base decorrente da oxidação do carbono contido na vinhaça que, ao reagir, libera NO₃⁻, MnO₂ e Fe(OH)₃ o qual reage com O₂ ou H⁺ como ilustrado abaixo.



Esta reação resulta na neutralização direta da acidez (H⁺), ou indireta por meio de geração de íons oxigênio que se combinam com os íons hidrogênio e formam água, elevando o pH do solo.

De acordo com Camargo et al. (1984), a dinâmica do pH do solo submetido à dose de vinhaça se altera no decorrer do tempo. Nos primeiros 30

dias o pH diminui um pouco (até 0,5 unidades), sendo aos 60 dias o pH eleva-se (a elevação depende da dosagem utilizada e da textura do solo). No período inicial o pH diminui em função do caráter ácido do resíduo. Posteriormente, a ocorrência das reações de oxirredução e ácido/base ocasionam a elevação do pH do solo. A vinhaça promove alteração significativa do pH, alcançando valores superiores a 7 (sete), resultados estes dependentes da dosagem, qualidade do resíduo e textura do solo (Giachini & Ferraz, 2009), cuja maior elevação ocorre em solos arenosos, promovendo alcalinização até a profundidade de 0,60 m (ALBUQUERQUE, 2009; MATTIAZZO-PREZOTTO & GLÓRIA, 1985). Segundo Sanada et al. (2009); Korndörfer & Anderson, (1997); Malavolta (1980) esta correção da acidez proveniente da aplicação de vinhaça, promove a disponibilidade de macronutrientes existentes no solo como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e enxofre, elevando assim os teores disponíveis na solução do solo em profundidade, visto que a aplicação da vinhaça possui ação corretiva de aproximadamente 0,60 m, o que favorece a distribuição do sistema radicular em profundidade, diminuindo a concentração das raízes na camada superficial do solo (0 – 0,20 m).

Brito et al. (2005), trabalhando com três classes texturais diferentes (Neossolo, Argissolo e Espodossolo), descreve que quando aplicadas dosagens de até $700 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça, houve acréscimos nos teores de potássio nos três solos avaliados, sendo que o Neossolo apresentou maiores acréscimos na ordem de $0,57 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, seguido pelo Argissolo ($0,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e Espodossolo ($0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Estes aumentos foram observados de forma gradativa até a profundidade de 0,80 m para os três solos testados, não apresentando concentrações que pudessem proporcionar problemas de contaminação até o lençol freático.

De acordo com Bebé et al. (2007), a aplicação de $640 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça proporcionou aumentos significativos de até quatro vezes a concentração inicial de potássio (testemunha – $31,28 \text{ mg dm}^{-3}$) a uma profundidade de 0,40 m. Estes aumentos também foram observados para os teores de cálcio e magnésio que alcançaram concentrações de até 1,96 e 1,38 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ respectivamente, na profundidade de 0,40 m. Resultados similares em Latossolo foram observados por Paula et al. (1999) quanto aos teores de potássio, cálcio e magnésio na profundidade de até 0,40 m, cuja dosagem

testada de 400 m³ ha⁻¹ de vinhaça proporcionou acréscimos respectivamente de 0,45; 0,23 e 0,10 cmol_c dm⁻³. Estes resultados indicam o potencial do uso da vinhaça na fertilização do solo em profundidade, contribuindo no aumento da concentração de potássio, cálcio e magnésio até a camada de 0,40 m. Tais benefícios são adequados para a fertilização de solos arenosos que se caracterizam pela baixa fertilidade natural em áreas estabelecidas com o sistema de plantio direto com baixa mobilização do solo na camada de 0,20 – 0,40 m (GIACHINI & FERRAZ, 2009; SAMBATTI, 2003; ANGHIONI e SALET, 2000).

Esta fertilização do solo com a utilização de vinhaça gera economia para a produção de cana-de-açúcar. Leite (1999) descreve que o custo por tonelada de cana-de-açúcar produzidos com a aplicação de vinhaça é aproximadamente 6,77% menor comparada à fertilização mineral. Bertoncini (2008) propõe que a economia gerada pela substituição do fertilizante potássico pela aplicação da vinhaça é de aproximadamente US\$ 75 a 100 por hectare (somados os custos de transporte, armazenamento e aplicação do resíduo). Isto indica que, juntamente com os benefícios da fertilização do solo descritos pela aplicação da vinhaça, há a geração de economia pela substituição dos fertilizantes potássicos, tornando o uso do resíduo sustentável para o cultivo da cana-de-açúcar (BERTONCINI, 2008; LEITE, 1999).

Devido a esta geração de economia por parte da utilização da vinhaça, Vasconcelos et al. (2010) observou que em solos de textura média argilosa, a aplicação de dosagens combinadas de torta de filtro (30 t ha⁻¹) e vinhaça (300 m³ ha⁻¹) influenciaram positivamente na fertilidade do solo. Atribuída a esta combinação, verifica-se diminuição da acidez do solo, com redução dos teores de alumínio trocável de 1,35; 0,80 e 0,40 cmol_c dm⁻³ para as respectivas camadas de 0 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m, juntamente com a elevação média do pH de 4,7 para 5,6 até a camada de 0,60 m. Segundo o mesmo autor, foram observados aumentos significativos dos nutrientes cálcio, magnésio e potássio até uma profundidade de 0,60 m, com elevações médias na camada de 0,20 m de 3,00; 1,00 e 1,00 cmol_c dm⁻³, respectivamente, sendo verificadas reduções gradativas ao longo do perfil do solo. Estes resultados demonstram que a interação dos resíduos, torta de filtro e vinhaça, são favoráveis à fertilização e correção do solo, tanto na camada arável (0,20 m)

quanto em profundidade (até 0,60 m). Estas características são essenciais para o estudo de fertilizantes orgânicos em solos arenosos que apresentam baixa fertilidade e elevada acidez ao longo do perfil do solo (ALBUQUERQUE, 2009; SAMBATTI, 2003; ANGHIONI e SALET, 2000; HETHERINGTON et al., 1986)

Sendo assim, dentre os fatores abordados na revisão, percebe-se uma carência de estudos quanto a aplicação de resíduos (torta de filtro e vinhaça) para a fertilização de solos arenosos e seus efeitos, principalmente quando se trata da combinação dos resíduos (VASCONCELOS et al., 2010). Deste modo, o presente estudo pretende suprir esta necessidade, estabelecendo dosagens que possibilitem a fertilização de solos arenosos com torta de filtro, vinhaça e a combinação dos resíduos para obtenção de máxima produtividade, sem prejudicar o meio ambiente, fomentando a utilização do resíduo de forma sustentável para o setor sucroalcooleiro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Maringá (UEM), *campus* Regional de Umuarama (CAU), na área experimental da UEM. Utilizou-se como base experimental um Latossolo Vermelho distrófico psamítico - LVd (EMBRAPA, 2006), sob campo natural, cujos atributos químicos naturais estão descritos na Tabela 05.

Este solo foi selecionado em função da baixa fertilidade e acidez, o que justifica o estudo de fertilizantes e dosagens que resultem em melhor performance para a cultura da cana-de-açúcar.

TABELA 05: Caracterização química e teor de argila da camada de 0 – 0,20 metros de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural, utilizado como base experimental

| pH | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | P | V | m | Argila |
|------------------|---|------------------|------------------|--------------------------------|-----|-------------|-------|--------------------|
| H ₂ O |cmol _c dm ⁻³ | | |mg dm ⁻³ | |%..... | | g kg ⁻¹ |
| 4,1 | 1,3 | 0,66 | 0,23 | 27,37 | 5,5 | 16,22 | 57,52 | 120 |

A montagem do experimento iniciou com o preenchimento de tambores com capacidade de 200 litros (0,85 m X 0,54 m) com o Latossolo Vermelho distrófico psamítico (0 – 0,20 m) que serviu como base experimental.

Após o preenchimento dos tambores, foram aplicados os tratamentos através da utilização de torta de filtro nas dosagens de 0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹ e vinhaça nas dosagens de 0, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹. Além disso, foram utilizadas dosagens combinadas dos dois insumos para cada uma das dosagens utilizadas isoladamente, ou seja, 10 t ha⁻¹ torta de filtro combinadas com: 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça; 20 t ha⁻¹ torta de filtro mais 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹

de vinhaça; 40 t ha⁻¹ de torta de filtro com: 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça, resultando em 16 tratamentos no total, como ilustrados na Tabela 06. Estas dosagens se basearam nos trabalhos obtidos por Sengik et al. (1996) e Donzelli & Penatti (1997), os quais observaram máxima produtividade na faixa de 100 m³ ha⁻¹ de vinhaça e 21 t ha⁻¹ de torta de filtro. O delineamento experimental adotado foi o esquema fatorial (4 x 4) em blocos casualizados com quatro repetições.

TABELA 06: Tratamentos aplicados em Latossolo arenoso com dosagens crescentes de torta de filtro e vinhaça e suas combinações

| TRATAMENTOS | RESÍDUOS | |
|-------------|---------------------------------------|--|
| | TORTA DE FILTRO (t ha ⁻¹) | VINHAÇA (m ³ ha ⁻¹) |
| T1 | 0 | 0 |
| T2 | 10 | 0 |
| T3 | 20 | 0 |
| T4 | 40 | 0 |
| T5 | 0 | 50 |
| T6 | 0 | 100 |
| T7 | 0 | 200 |
| T8 | 10 | 50 |
| T9 | 10 | 100 |
| T10 | 10 | 200 |
| T11 | 20 | 50 |
| T12 | 20 | 100 |
| T13 | 20 | 200 |
| T14 | 40 | 50 |
| T15 | 40 | 100 |
| T16 | 40 | 200 |

A torta de filtro utilizada para a efetivação dos tratamentos foi cedida pela Usina Goioerê, localizada no município de Moreira Sales – Paraná, cuja obtenção foi decorrente da safra agrícola de 2009/2010 (FIGURA 04). Para a estabilização do resíduo, a indústria realizou um processo de amontoa em campo aberto com período de estabilização de 2 – 3 meses (período de fermentação da torta de filtro).



FIGURA 04: Vista geral da amontoa e revolvimento da torta de filtro efetuados pela Usina Goioerê – PR

Amostras da torta de filtro utilizadas no experimento foram analisadas pelo Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Maringá e sua composição química segue descrita na Tabela 07. Percebe-se, na composição química da torta de filtro, elevados teores de cálcio, potássio e magnésio, sendo determinadas baixas concentrações de fósforo comparadas com as médias dos teores encontrados nos resíduos por Malavolta et al. (2002), indicando possivelmente uma dosagem maior a ser aplicada para o fornecimento de fósforo. A torta de filtro na ocasião da instalação do experimento apresentava teor de umidade descrita pela Usina Goioerê em torno de 53% e já se encontrava estabilizada.

Após o preenchimento dos tambores, os tratamentos com torta de filtro foram aplicados de forma manual, incorporando-se o resíduo no solo, simulando os tratos culturais realizados na cultura da cana-de-açúcar cultivada na lavoura.

TABELA 07: Caracterização química da torta de filtro utilizada no experimento obtida pela Usina Goioerê

| ELEMENTOS | Umidade 105° | pH-H ₂ O | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | N total |
|-----------|--------------|---------------------|-------------------------------|------------------|------|------|---------|
|% | | | | | | | |
| MÉDIA | 51 | 5,9 | 0,02 | 1,39 | 6,50 | 1,21 | 0,97 |

A vinhaça empregada nos tratamentos foi coletada no canal de irrigação da Usina Goioerê (FIGURA 05), caracterizada como sendo vinhaça de caldo, com baixa concentração de potássio devido à diluição com outras águas residuárias da indústria (lavagem da cana e dornas). A caracterização química da vinhaça encontra-se descrita na Tabela 08.



FIGURA 05: Local onde foi coleta a vinhaça utilizada no experimento, cedida pela Usina Goioerê: (A) Canal de transporte de vinhaça por gravidade; (B) Poço de sucção para a fertirrigação da vinhaça em área de cana-de-açúcar

TABELA 08: Caracterização química da vinhaça utilizada nos tratamentos do experimento, adquirido da Usina Goioerê

| ELEMENTOS | N TOTAL | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca ₂ O | MgO | Zn | Cu | Mn |
|-------------------------------|---------|-------------------------------|------------------|-------------------|-------|-------|--------|--------|
|Kg.m ⁻³ | | | | | | | | |
| TEOR TOTAL | 0,258 | 0,0525 | 0,63 | 0,467 | 0,189 | 0,001 | 0,0002 | 0,0075 |

Para o suprimento de nitrogênio, foram aplicados, de forma parcelada, 5,5 gramas de sulfato de amônio por tambor (equivalente 100 kg ha⁻¹), 30 e 60 dias após a emergência da cultura (COMISSÃO..., 2004).

Após o preenchimento dos tambores, foi realizado o plantio da cana-de-açúcar, variedade RB 855156. Esta variedade foi escolhida em função da rusticidade e condições de adaptabilidade em solos arenosos com baixa fertilidade natural (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO CARLOS, 2008).

As gemas plantadas foram previamente submetidas a um tratamento térmico (termoterapia – choque térmico) com o objetivo de prevenção ao ataque da bactéria do raquitismo da soqueira da cana-de-açúcar (*Leifsonia xyli subsp. xyli*) (FIGURA 06A e 06B). O plantio foi realizado no dia 07/08/2009, utilizando-se 15 gemas (toletes) por tambor, que foram plantadas a 0,30 m de profundidade (FIGURA 06C). Posteriormente, foi efetuado o fechamento das covas, com uma camada de 0,20 m de solo, em seguida foram adicionados os tratamentos de torta de filtro (0,10 m de solo, tratados com torta de filtro), semelhante ao processo de tratos culturais efetuados no cultivo da cana-de-açúcar (sulcagem, plantio, cobertura de toletes e adubação). Após o fechamento da cova foram adicionados restos culturais da cana-de-açúcar simulando o sistema de plantio direto (FIGURA 06D).

A vinhaça foi aplicada após a emergência plena das plantas (29 dias após o plantio) de forma manual, sendo equivalente o volume de líquido aplicado para todos os tratamentos, independente da dose do resíduo, visto que a quantidade de água poderia alterar os resultados no desenvolvimento da cultura.

O desbaste da cana-de-açúcar foi efetuado aos 60 dias após a emergência (DAE), permanecendo seis plantas de cana-de-açúcar por tambor (FIGURA 06E). Durante o crescimento da cultura, foi necessário o tutoramento, objetivando evitar o tombamento das plantas (FIGURA 06F). Durante a fase de desenvolvimento da cana-de-açúcar, foi procedida a irrigação manual das fases de seca, com o objetivo de evitar a redução do crescimento e desenvolvimento da cultura por estresse hídrico. O monitoramento de formigas cortadeiras (*Atta spp.*) foi avaliado semanalmente, visando evitar o ataque das pragas, sendo necessária a aplicação de inseticida (fipronil) por duas vezes na fase inicial da cultura (brotação).

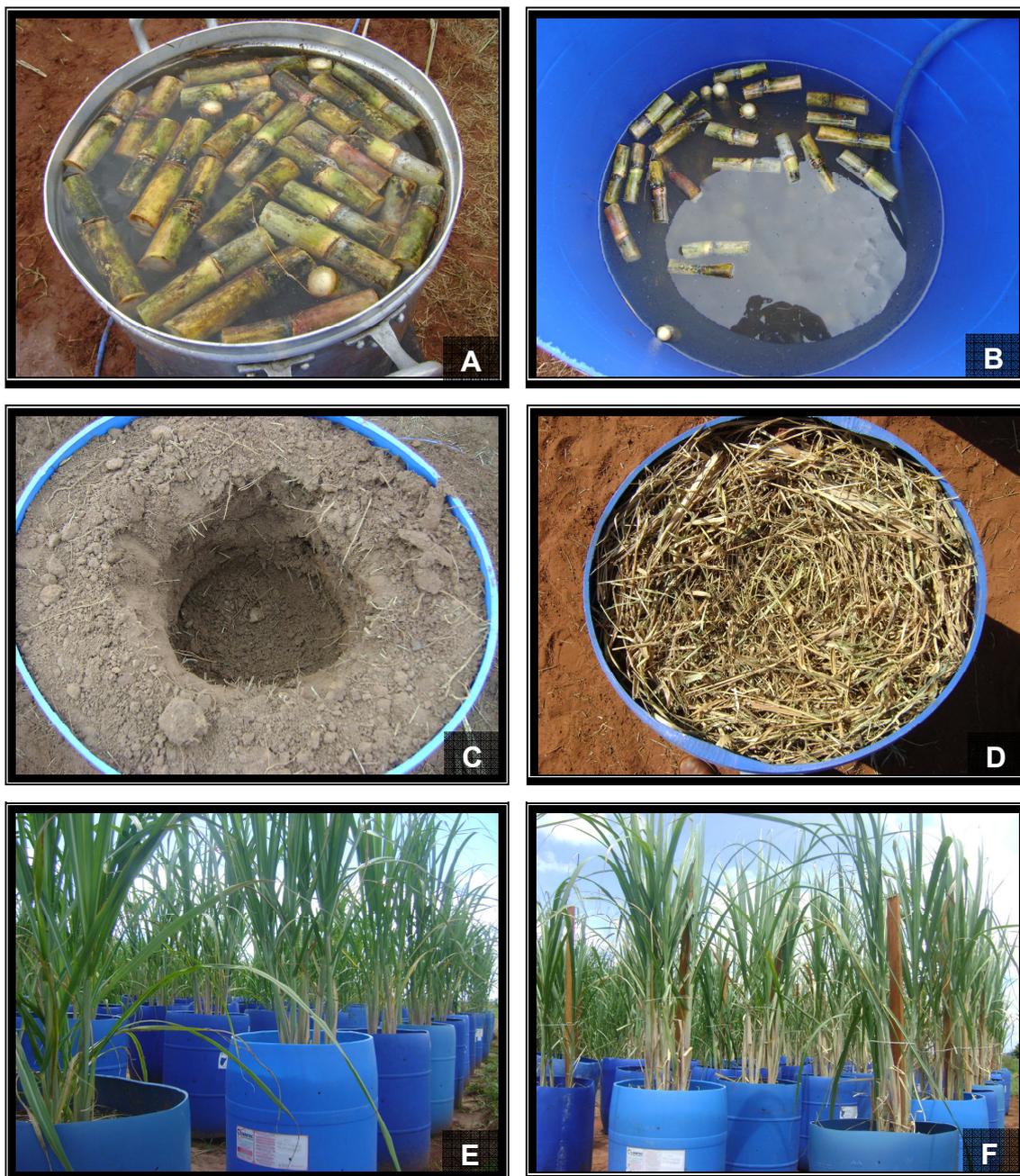


FIGURA 06: Fase de montagem e condução do experimento com cana-de-açúcar, submetido à aplicação de doses crescentes e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo arenoso: (A, B) Termoterapia em água quente e fria – choque térmico; (C) Cova de plantio; (D) Tambores cobertos com palha de cana-de-açúcar após plantio da cultura; (E) Desbaste das plantas; (F) Tutoramento da cana-de-açúcar

A colheita ocorreu aos 360 dias após a emergência (FIGURA 07A e 07B). Foi avaliada a produtividade da cana-de-açúcar (kg planta^{-1}). Os colmos foram transportados até a Usina Sabarálcool para a realização das análises de

qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, as quais foram submetidas à metodologia proposta pela CONSECANA (2003) para a determinação de Pol., °Brix, Fibra e ATR (FIGURA 07C e 7D).



FIGURA 07: Fase de colheita do experimento com cana-de-açúcar aos 360 dias após a emergência em Latossolo arenoso: (A) Cana-de-açúcar com 360 DAE; (B) Fim da colheita do experimento; (C) Transporte da cana-de-açúcar; (D) Laboratório de análises tecnológicas da cana-de-açúcar

Os atributos químicos foram avaliados aos 90, 180 e 360 dias após a emergência, nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60 e 0,80 metros, sendo analisados: pH-H₂O (relação 1:2,5) com eletrodo de vidro, cálcio e magnésio trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹), determinados por espectrofotômetro de absorção atômica; alumínio trocável extraído com KCl 1 mol L⁻¹, e determinado por titulação com NaOH 0,0125 mol L⁻¹ e indicador de azul de bromotimol; o potássio disponível foi extraído pelo método Mehlich-1 e determinado com

fotômetro de chama; o fósforo foi extraído pelo método Mehlich-1, e determinado com colorímetro. Todas essas análises foram efetuadas conforme Tedesco et al. (1995).

Os resultados foram submetidos a análise de regressão ao nível de 5% de probabilidade, empregando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2000). Para obtenção dos tratamentos que resultavam no melhor desenvolvimento da cana-de-açúcar, utilizaram-se as derivadas das equações de regressão obtidas, estabelecendo-se qual a dosagem, condições de solo e de planta mais adequadas para o solo testado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TORTA DE FILTRO

4.1.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES DOSAGENS DE TORTA DE FILTRO

Na primeira avaliação dos atributos químicos do solo, 90 dias após a emergência (90 DAE), percebe-se que a aplicação de torta de filtro aumentou o pH para até 5,4 quando comparado com a testemunha (4,8). Nas avaliações dos 180 e 360 DAE, o pH elevou-se até 5,6. Isto indica o potencial do resíduo em aumentar o pH do solo (FIGURA 08A). Segundo Dee et al. (2003) e Slatter et al. (1991) este efeito de alcalinização do solo é decorrente da descarboxilação do carbono contido na matéria orgânica, proveniente da torta de filtro, resultando no consumo de prótons (H^+) elevando o pH do solo.

Ocorreu também uma diminuição na concentração de alumínio tóxico nas três épocas de avaliação (FIGURA 08B), sendo a redução para 0,66; 0,53 e 0,42 $cmol_c dm^{-3}$ nos teores de alumínio trocável, respectivamente aos 90, 180 e 360 DAE, comparada à testemunha (0,98 $cmol_c dm^{-3}$). Rossetto e Dias (2005) e Arreola-Enriquez et al. (2004), atribuem à redução do alumínio trocável, devido ao efeito quelante dos radicais orgânicos contidos no resíduo sobre o alumínio, indisponibilizando o mesmo na solução do solo.

Em relação aos nutrientes cálcio e magnésio, observou-se que a aplicação de torta de filtro aumentou os teores dos nutrientes no solo para até 1,75 e 0,42 $cmol_c dm^{-3}$ para cálcio e magnésio, respectivamente (FIGURA 08C e 08D). Isto demonstra o efeito fertilizante do resíduo orgânico, indicando a viabilização para solos que apresentam escassez dos nutrientes e baixa CTC, como nos solos arenosos do noroeste paranaense (SAMBATTI, 2003). Estes resultados estão de acordo com Omar (2009), que encontrou um incremento nos teores de cálcio e magnésio em solos arenosos submetidos à aplicação de torta de filtro.

A partir da derivada das equações de regressão obtidas na Figura 08C e 08D, estimou-se a dosagem de torta de filtro para o máximo teor dos nutrientes cálcio e magnésio. A dosagem que proporcionou o melhor incremento de cálcio e magnésio foi de 38 e 36 t ha⁻¹ de torta de filtro, respectivamente (TABELA 09). Prasad (1976), estudando dosagens de torta de filtro, obteve a melhor resposta de aplicação de torta de filtro quando aplicou-se a dosagem de até 20 t ha⁻¹. Esta diferença entre as dosagens não proporciona problemas de contaminação ou toxidez do solo no decorrer do tempo, pois a torta de filtro testada é considerada de má qualidade, devido à presença de baixas concentrações de nutrientes, entre eles o cálcio e o magnésio (TABELA 09).

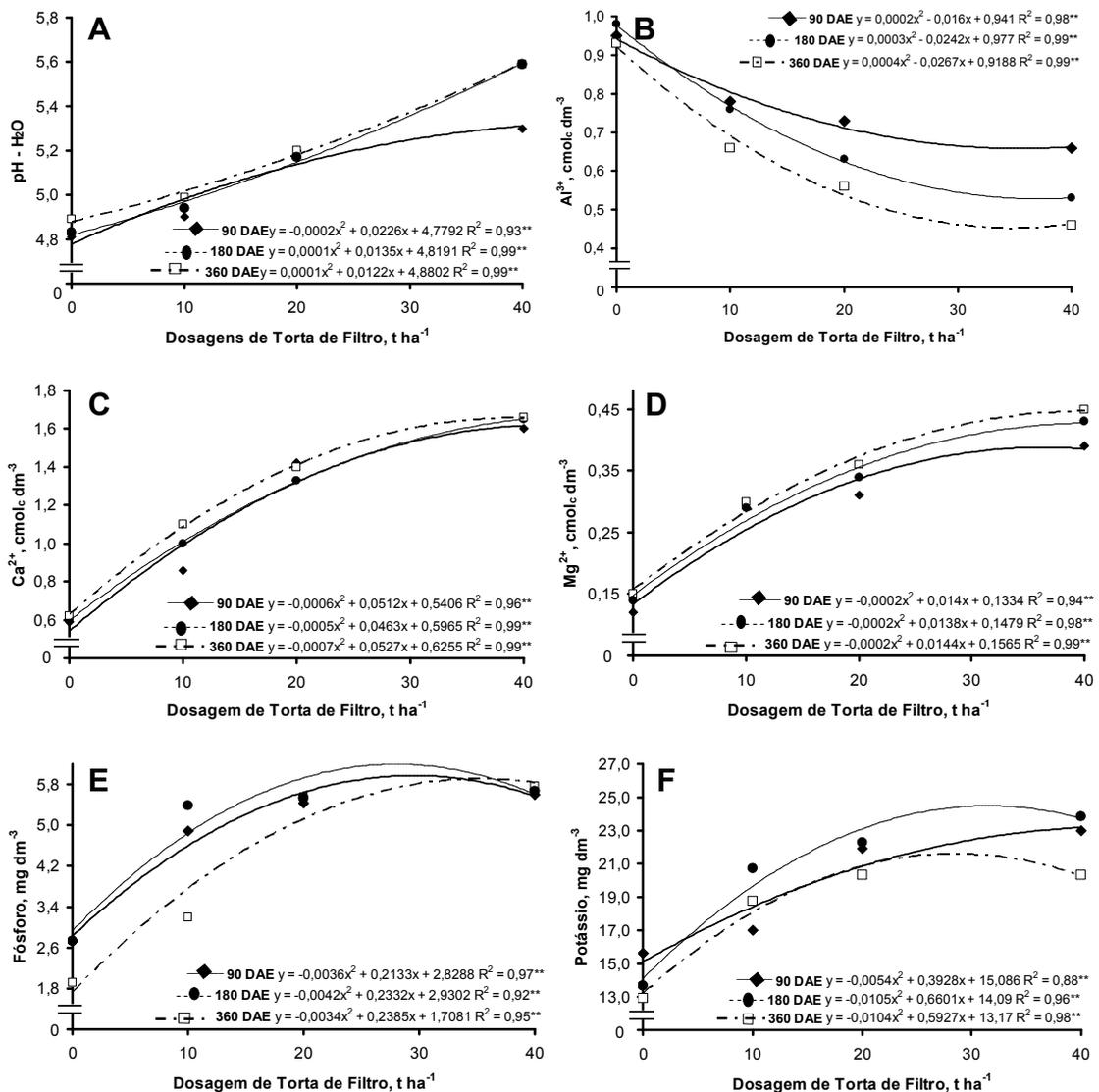
Em relação aos teores de fósforo, observou-se, nas três avaliações (FIGURA 08E), elevado coeficiente de ajuste das equações de regressão ($R^2 > 0,92$), com incremento médio em relação à concentração inicial (testemunha 1,92 mg dm⁻³) para até 2,89; 2,94; 3,85 mg dm⁻³ aos 90, 180 e 360 DAE, respectivamente.

Estes aumentos nos teores de fósforo caracterizam a torta de filtro como potencial fornecedor do nutriente, visto que os aumentos no solo alcançaram ganhos de 3 vezes a concentração inicial do solo testado. Jorge (2009) descreve resultados similares quando o solo foi submetido à aplicação de torta de filtro, sendo o aumento descrito na concentração de fósforo na ordem de 2,5 a 3 vezes os teores iniciais.

A partir das derivadas das equações de regressão descritas na Figura 08E, verifica-se que a dosagem de melhor resposta quanto à elevação dos teores de fósforo foi compreendida de 28 a 35 t ha⁻¹ de torta de filtro, sendo a média para a obtenção de incremento nos teores de fósforo no solo, obtida com 31 t ha⁻¹ do resíduo aplicado (TABELA 09). Tais resultados corroboram com os descritos por Nardin (2007), que atribui à diferença nas dosagens de torta de filtro à variação nos teores de fósforo contidos no resíduo.

Para o nutriente potássio, observam-se aumentos significativos quanto à aplicação de dosagens crescentes de torta de filtro nos teores médios iniciais de potássio do solo estudado (testemunha - 14,07 mg dm⁻³). Os resultados obtidos após a aplicação de torta de filtro nos três períodos de avaliação (90, 180 e 360 DAE) foram respectivamente de 23; 23,85 e 20,33 mg dm⁻³. Estes

aumentos foram, em média, na ordem de 1,7 vezes ao decorrer das avaliações (FIGURA 4F). Tais resultados demonstram a capacidade da torta de filtro na fertilização do solo com o nutriente potássio, o que viabiliza seu uso em solos arenosos com carência do nutriente.



** significativo a 5% de probabilidade

FIGURA 08: Atributos químicos do solo na camada de 0,20 m em três épocas de amostragem: 90, 180 e 360 DAE (A= pH-H₂O, B= Alumínio trocável, C= Cálcio trocável, D= Magnésio trocável, E= Fósforo disponível e F= Potássio disponível) em função de doses de torta de filtro

Arreola-Enriquez et al. (2004), descreve resultados semelhantes quanto ao acréscimo nos teores de potássio, na ordem de 1,5 vezes dos teores iniciais, quando efetuada a aplicação de torta de filtro, mas em solo de textura franco argilo arenoso (380 g kg⁻¹ argila), o qual refletiu em aumento de 40% na produtividade de colmos da cana-de-açúcar.

TABELA 09: Equações de regressão relacionando atributos químicos do solo e doses de torta de filtro em três épocas de amostragem 90, 180 e 360 dias após a emergência

| ATRIBUTOS | ÉPOCA (dias) | EQUAÇÃO | R ² | ¹ P.MÁXIMA |
|------------------|--------------|---|----------------|-----------------------|
| Ca ²⁺ | 90 | Y=-0,0006x ² +0,0512x+0,5406 | 0,96** | - |
| | 180 | Y=-0,0005x ² +0,0463x+0,5965 | 0,99** | - |
| | 360 | Y=-0,0007x ² +0,0527x+0,6255 | 0,99** | 38 |
| | MÉDIA | - | - | 38 |
| Mg ²⁺ | 90 | Y=-0,0002x ² +0,014x+0,1334 | 0,94** | 35 |
| | 180 | Y=-0,0002x ² +0,0138x+0,1479 | 0,98** | 34 |
| | 360 | Y=-0,0002x ² +0,0144x+0,1565 | 0,99** | 38 |
| | MÉDIA | - | - | 36 |
| K ⁺ | 90 | Y=-0,0054x ² +0,3928x+15,086 | 0,88** | 36 |
| | 180 | Y=-0,0105x ² +0,6601x+14,09 | 0,97** | 31 |
| | 360 | Y=-0,0104x ² +0,5927x+13,17 | 0,98** | 28 |
| | MÉDIA | - | - | 32 |
| P | 90 | Y=-0,0036x ² +0,2133x+2,8288 | 0,97** | 30 |
| | 180 | Y=-0,0042x ² +0,2332x+2,9302 | 0,92** | 28 |
| | 360 | Y=-0,0034x ² +0,2385x+1,7081 | 0,95** | 35 |
| | MÉDIA | - | - | 31 |

** significativo a 5% de probabilidade ¹P.MÁXIMA – Ponto de Máxima – t ha⁻¹

Observou-se, pela derivação da regressão descrita na Figura 08F, que a dosagem de torta de filtro que melhor representou os incrementos nos teores de potássio adquiridos pela aplicação do resíduo variou entre 28 a 36 t ha⁻¹ do resíduo, sendo a média de 32 t ha⁻¹ de torta de filtro (TABELA 09). Arreola-Enriquez et al. (2004), estudando a fertilização do solo com aplicação de torta de filtro em solo de textura franco argilo arenoso (380 g kg⁻¹ argila), observou que a melhor dosagem para o cultivo de cana-de-açúcar variou entre 10 e 15 t ha⁻¹ de torta de filtro, dosagem esta inferior à dosagem no presente ensaio. Esta diferença provavelmente ocorreu pela composição química quantitativa do resíduo e pela diferença na textura do solo, visto que solos arenosos possuem

tendência de maiores perdas por lixiviação de potássio (ao longo do tempo), devido à menor capacidade de retenção do nutriente comparado a solos com maiores concentrações de argila, possivelmente sem problemas de contaminação pela baixa concentração apresentada (WERLE et al., 2008).

4.1.2. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM PROFUNDIDADES SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSAGENS DE TORTA DE FILTRO

Foram observadas variações significativas do pH-H₂O do solo até a profundidade de 0,30 m (FIGURA 09), nos três períodos de avaliações efetuados: 90, 180 e 360 DAE. Isto significa que a torta de filtro demonstrou efeito corretivo até a camada de 0,30 m, indicando o potencial do resíduo como fertilizante em profundidade, uma vez que a torta de filtro foi incorporada na camada de 0,10 m. Esta capacidade de correção ao longo do perfil é muito importante em solos submetidos ao sistema de plantio direto com baixa mobilização e em solos arenosos que apresentam problemas mais acentuados de estresse hídrico (SOUZA e LOBATO, 2004).

Verifica-se, na primeira avaliação (90 DAE) na camada de 0 – 0,20 m e de 0,20 – 0,40 m, elevação do pH de 4,8 (testemunha) para 5,4 e 5,2 respectivamente, atribuídas à dosagem máxima de torta de filtro aplicada. Por sua vez, nos períodos de 180 e 360 DAE ocorreu estabilização do pH com valores de 5,6 e 5,3 nas camadas de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, respectivamente (FIGURA 09). Nas camadas abaixo de 0,40 m não foram constatadas diferenças significativas nas alterações do pH. Estes resultados são similares aos de Nardin (2007) que, em pesquisa com dosagens crescentes de torta de filtro, observou aumentos significativos do pH até 5,7, na camada de 0 – 0,40 m.

Quanto aos teores de alumínio trocável (FIGURA 10), verifica-se uma redução na camada de 0 - 0,20 m, cujos valores das amostras aos 90 DAE resultaram em redução para 0,66 cmol_c dm⁻³, sendo que a testemunha apresentava concentrações de 0,95 cmol_c dm⁻³. Reduções significativas nos teores de alumínio trocável também foram observadas nas amostras efetuadas aos 180 e 360 DAE, na profundidade de 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, sendo os

resultados observados para tais camadas, respectivamente de 0,53 e 0,77 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aos 180 DAE e de 0,46 e 0,69 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ aos 360 DAE (FIGURA 10). Isto demonstra o potencial do resíduo em reduzir a toxidez por alumínio até a profundidade de 0,40 m, sendo necessário um período mínimo de 180 DAE para que o efeito quelante dos radicais orgânicos neutralize e/ou complexe o alumínio trocável no solo (DEE et al., 2003).

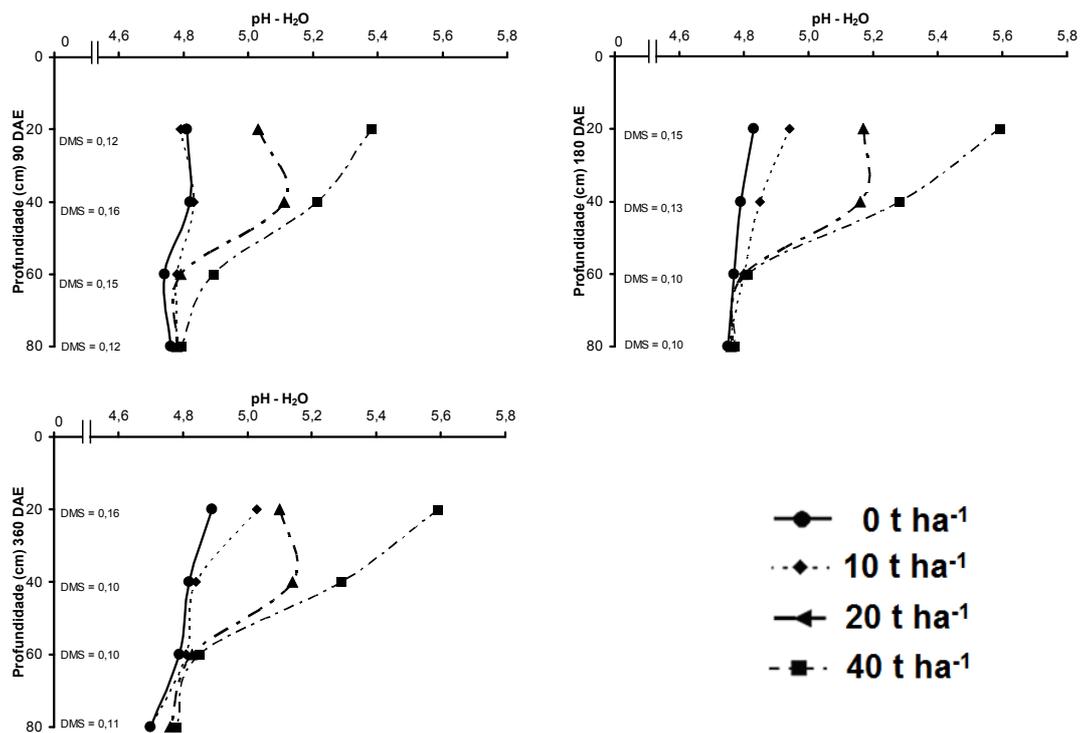


FIGURA 09: Comportamento do pH de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)

Para os nutrientes cálcio e magnésio observa-se uma elevação dos teores até a camada de 0,40 m (FIGURA 11 e 12), demonstrando efeito fertilizante do resíduo em profundidade, cuja importância se faz presente em solos submetidos ao sistema de plantio direto com baixa mobilização e em solos arenosos caracterizados pelos baixos teores de cálcio e magnésio (SOUZA e LOBATO, 2004). Deste modo, benefícios semelhantes são observados pelo uso da torta de filtro e o calcário. No entanto, a aplicação do calcário é superficial em sistema de plantio direto, neutralizando a acidez e fornecendo cálcio e magnésio até no máximo 0,10 m de profundidade. Por sua vez, a torta de filtro apresentou resultados de neutralização da acidez (aumento

do pH e redução do alumínio tóxico) e fornecimento de cálcio e magnésio em profundidade de até 0,40 m, o que favorece seu uso em áreas implantadas com o sistema de plantio direto em solos arenosos de elevada acidez e baixa fertilidade natural (SOUZA e LOBATO, 2004; FRAVET, 2010).

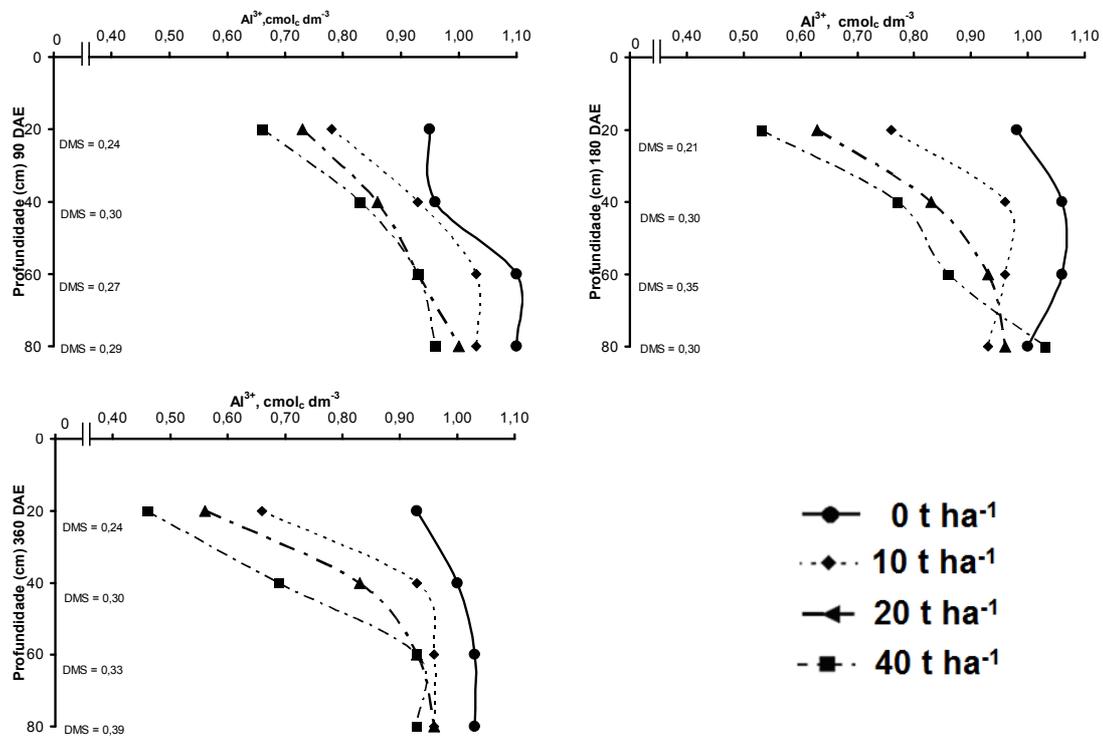


FIGURA 10: Comportamento dos teores de alumínio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)

A concentração de cálcio e magnésio na camada de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m aumentou em relação aos teores iniciais (testemunha – 0,57; 0,61 $cmol_c dm^{-3}$ para cálcio e 0,12 e 0,15 $cmol_c dm^{-3}$ para magnésio). Para os teores de cálcio, observam-se aumentos para até 1,75 e 1,51 $cmol_c dm^{-3}$ nas respectivas camadas de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m (FIGURA 11). Já para o magnésio verificam-se aumentos para até 0,45 $cmol_c dm^{-3}$ na camada de 0,20 m, sendo os aumentos constatados na profundidade de 0,20 – 0,40 m para até 0,38 $cmol_c dm^{-3}$ (FIGURA 12). Isto indica que a torta de filtro auxilia na mobilização do cálcio e magnésio em profundidade, provavelmente devido aos radicais orgânicos ligados ao nutriente, favorecendo a presença do cálcio e magnésio na forma trocável na solução do solo (FRAVET, 2010). Estes resultados se

assemelham com os descritos por Nardin (2009) que conferiu aumentos nos teores de cálcio e magnésio em profundidade de até 0,40 m.

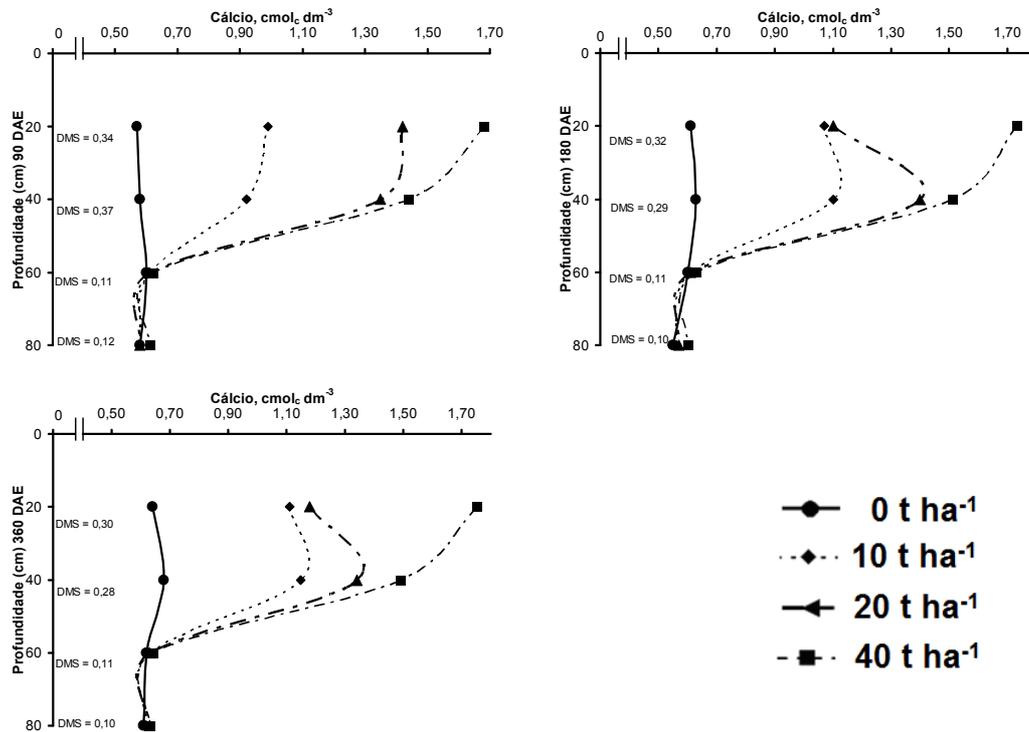


FIGURA 11: Comportamento dos teores de cálcio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)

Já para os teores de fósforo, a elevação dos teores verificou-se nas camadas de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m, na ordem de 2 e 2,2 vezes, respectivamente, comparados à testemunha (2,72 e 2,57 mg dm⁻³) aos 90 DAE. Contudo, verifica-se que a torta de filtro foi disponibilizando o nutriente no decorrer do cultivo, visto que aos 360 DAE a concentração do nutriente na profundidade de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m elevou-se para 3 e 2,8 vezes respectivamente os teores iniciais do solo (FIGURA 13). Isto indica que o resíduo pode fornecer fósforo com menores problemas de adsorção específica. Em solos argilosos com elevada concentração de óxidos de ferro, este efeito pode ser importante, uma vez que é conhecida a alta capacidade de fixação de fósforo em solos com maiores teores de óxidos de ferro (RAIJ, 2007; YAMADA e ABDALLA, 2004; QUAGGIO, 2000; NOVAIS e SMITH, 1999). Estes aumentos na concentração de fósforo disponível até a profundidade de 0,40 m também foram descritos por Nardin (2007), quando utilizada a torta de filtro no sulco do plantio.

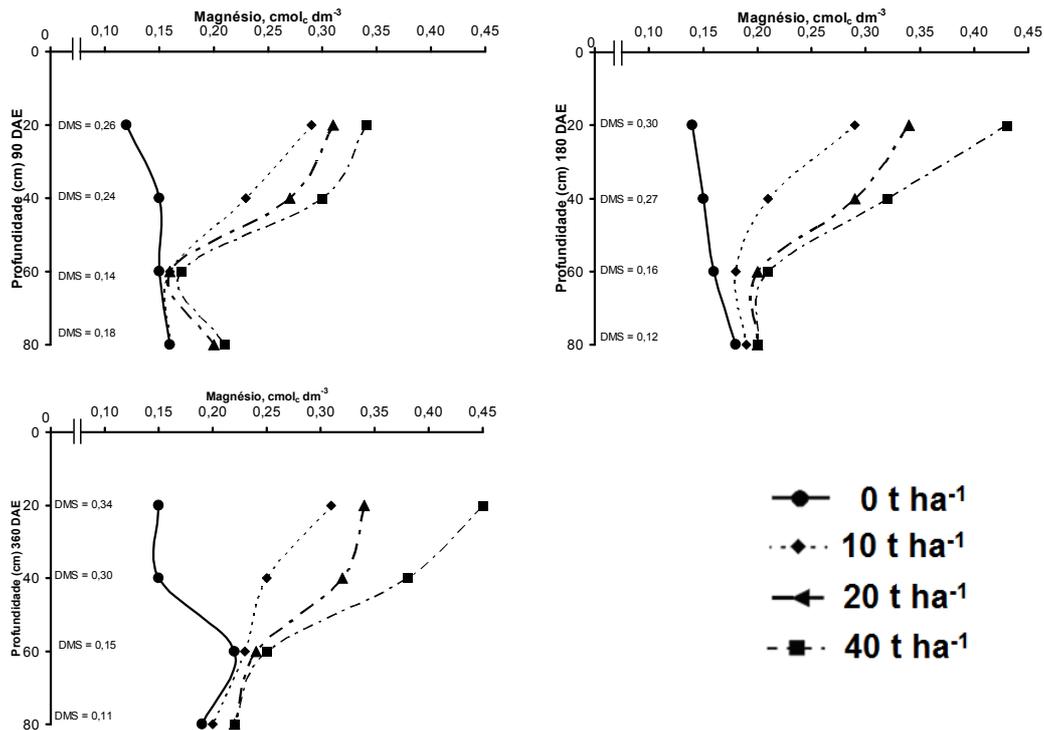


FIGURA 12: Comportamento dos teores de magnésio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)

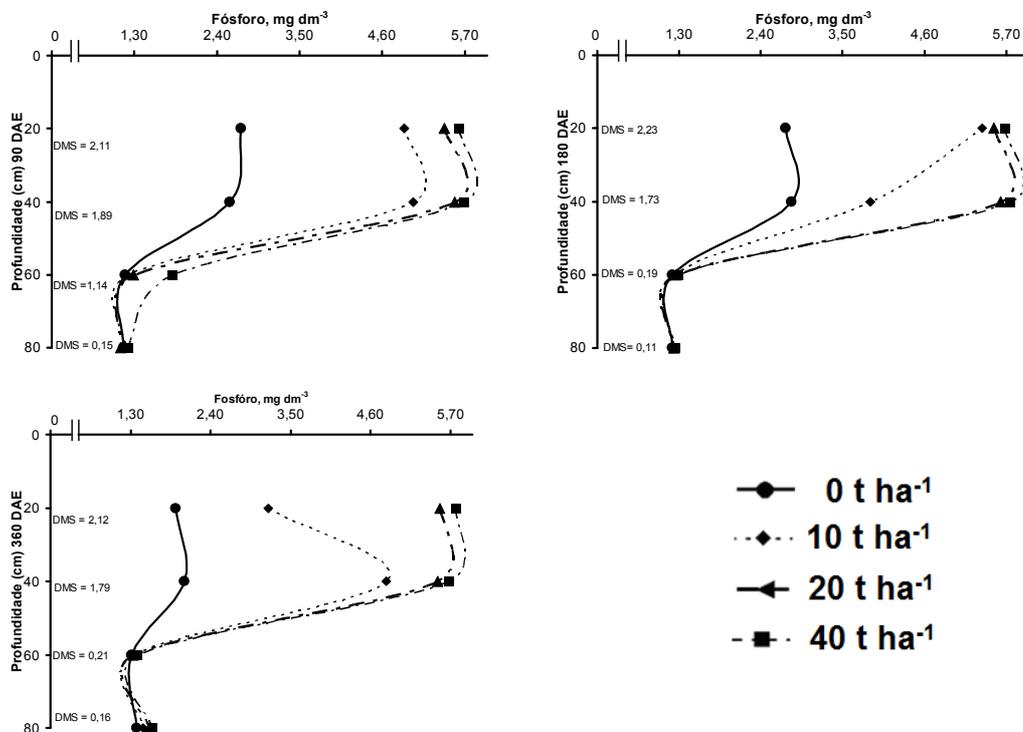


FIGURA 13: Comportamento dos teores de fósforo de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)

Para os teores de potássio em profundidade, verifica-se elevação significativa dos teores até a profundidade de 0 – 0,20 e 0,20 – 40 m nos três períodos de avaliações efetuadas (90, 180 e 360 DAE). Os aumentos observados na camada de 0 – 0,20 foram de 15,64 para 23 mg dm⁻³ (90 DAE); 13,68 até 23,85 mg dm⁻³ (180 DAE); e de 12,90 para 20,33 mg dm⁻³ (360 DAE). Por sua vez, para a camada de 0,20 – 0,40 m foram observados aumentos nas concentrações de potássio no solo para até 23,07 mg dm⁻³, não sendo observados aumentos significativos em profundidades superiores. Almeida Jr. (2010) relata aumentos significativos nos teores de potássio em profundidade, quando aplicada a torta de filtro no sulco de plantio da cana-de-açúcar. Isto indica, que mesmo o resíduo possuindo baixos teores de potássio em sua constituição química, este nutriente é disponibilizado para o solo acarretando no aumento da sua concentração em profundidade, sem possíveis problemas de toxidez.

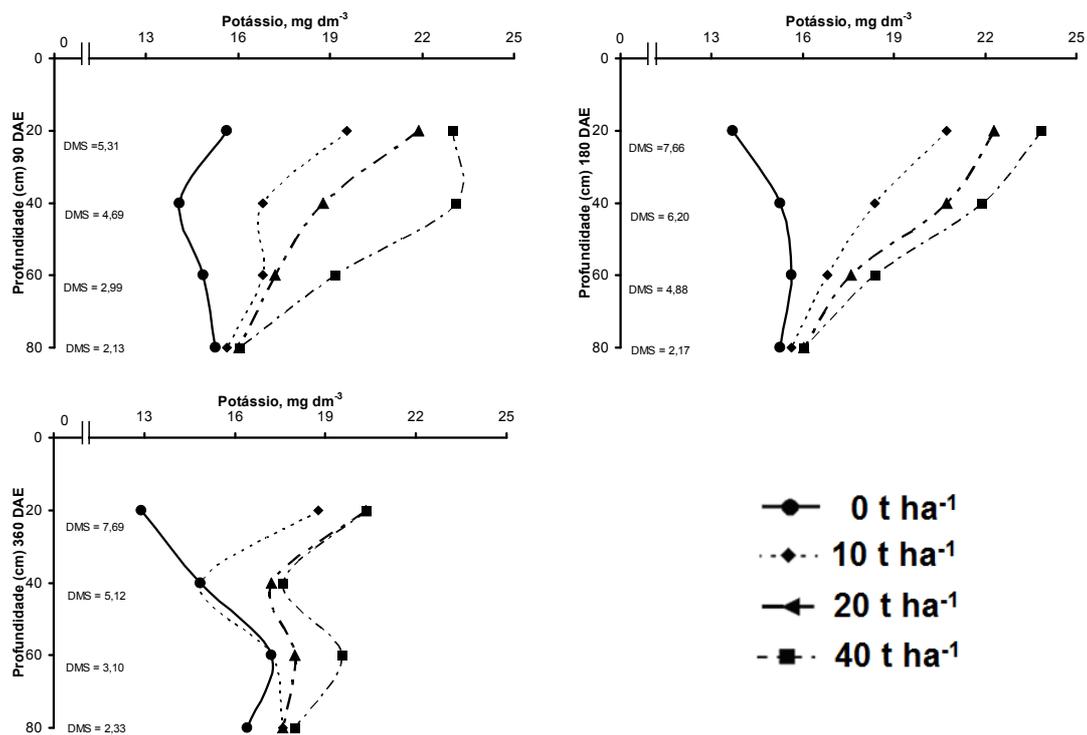
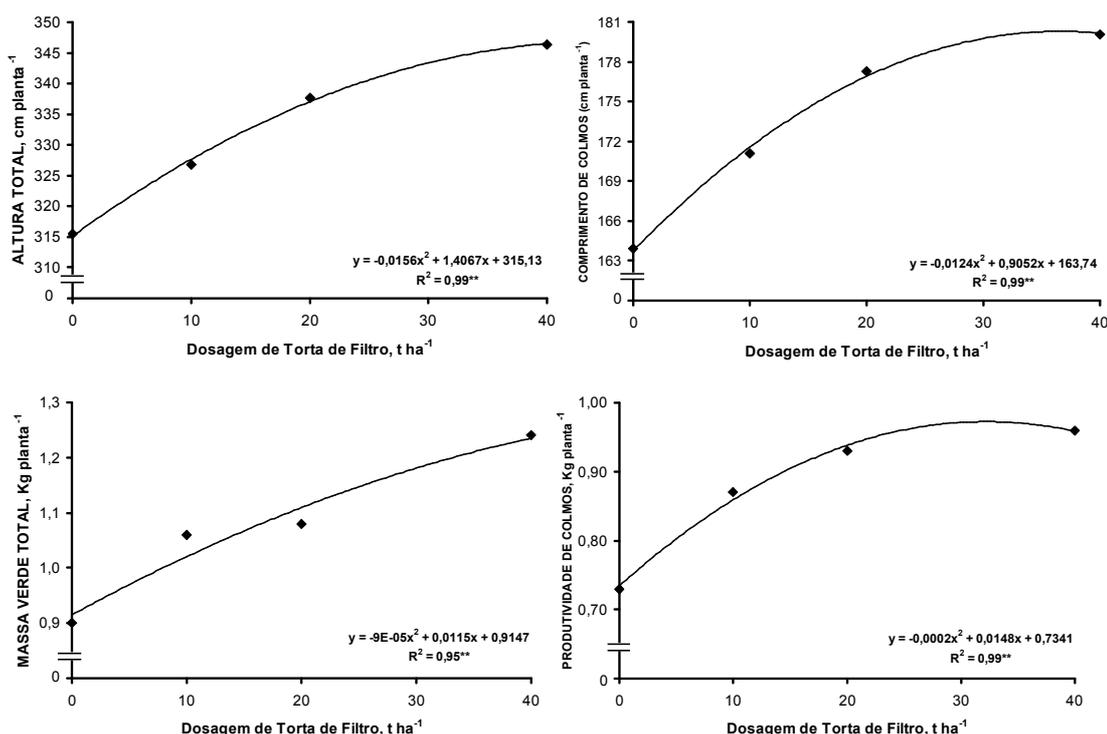


FIGURA 14: Dinâmica dos teores de potássio de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd), submetido à aplicação de doses crescentes de torta de filtro em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)

4.1.3. COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SOLO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSAGENS DE TORTA DE FILTRO

A aplicação de torta de filtro proporcionou aumentos significativos no desenvolvimento da cana-de-açúcar. Observa-se, quanto à altura total (planta com ponteiro) e comprimento de colmos (planta sem ponteiro), incrementos de 30,98 e 16,16 cm. Percebe-se que os parâmetros como massa verde total (planta com ponteiro) e produtividade de colmos (planta sem ponteiro) obtiveram ganhos significativos e elevado coeficiente de ajuste das equações ($R^2 > 0,99$), sendo o incremento obtido pela aplicação da dosagem máxima de torta de filtro de 0,34 e 0,23 kg planta⁻¹, respectivamente, em relação à testemunha – 0,90 e 0,73 Kg planta⁻¹ (FIGURA 15).



** significativo a 5% de probabilidade

FIGURA 15: Componentes de produtividade alcançados com aplicação de doses crescentes de torta de filtro em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural

Quanto a produtividade de colmos, observa-se que o máximo rendimento de colmos foi de 0,96 kg planta⁻¹. Em uma população de planta

ideal (equivalente a 150 mil ha⁻¹) será de 144 t ha⁻¹ de colmo, produtividade satisfatória para cana-de-açúcar de primeiro corte (MOLIN et al., 2004). Resultados similares foram obtidos por Santos et al. (2009), que confere este aumento ao fornecimento de fósforo, cálcio e magnésio oriundo da torta de filtro.

Com base nos dados referentes às doses de torta de filtro aplicadas e aos parâmetros produtivos da cultura, pode-se obter a dosagem ideal, ou seja, a dosagem na qual foi obtida a máxima performance da cana-de-açúcar (TABELA 10). Esta relação é referente à derivação das equações, cujo ponto máximo atribuído ao comprimento de colmo foi de 38 t ha⁻¹, com máxima performance de 180 cm de comprimento de colmo. Já para a produtividade de colmos, foi observado que a dosagem ideal foi de 37 t ha⁻¹, com máximo desempenho da cultura, alcançando valores de 0,91 kg planta⁻¹. Estes resultados estão próximos aos descritos por Nunes Junior. et al (1988) em solos de textura arenosa, o qual obteve melhores resultados de produtividade da cana-de-açúcar na dosagem de 35 t ha⁻¹ em média. Por sua vez, Fravet (2010), avaliando os efeitos da aplicação de torta de filtro em solo com 350 g kg⁻¹ de argila, observou ganhos significativos em produtividade quando utilizado como dosagem de 70 t ha⁻¹. Esta diferença pode estar relacionada com as quantidades nos teores nutricionais de cada resíduo estudado, acarretando diferenças nas dosagens ideais (NARDIN, 2007).

TABELA 10: Equações de regressão e dosagens ideais de torta de filtro atribuídas aos valores de produtividade da cana-de-açúcar, cultivada nova em Latossolo de textura arenosa

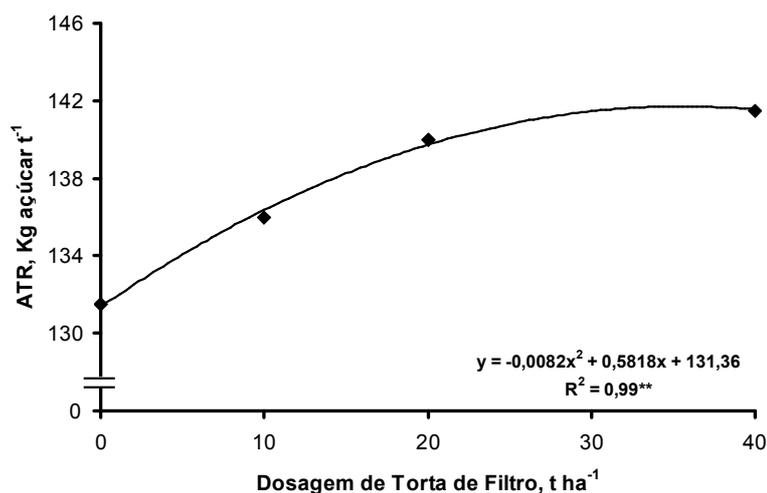
| ATRIBUTOS | Valores de Máxima Eficiência Técnica | |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| | DOSE | ¹ PERFORMANCE |
| ALTURA TOTAL | - | - |
| ² COMP. COLMOS | 38 | 180 cm |
| ³ M. VERDE TOTAL | - | - |
| ⁴ PROD. COLMOS | 37 | 0,91 Kg planta ⁻¹ |
| MÉDIA | 37,5 | - |

1-performance de planta; 2-comprimentos de colmos; 3-massa verde total; 4-produtividade de colmos

4.1.4. QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SOLO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSAGENS DE TORTA DE FILTRO

Os resultados obtidos pela aplicação de torta de filtro (FIGURA 16) expressaram ganhos significativos quanto aos teores de ATR (açúcar total redutor), apresentando elevado ajuste ($R^2 > 0,99$) com a utilização de torta de filtro para a fertilização do solo. Verificam-se incrementos de 10 kg açúcar t^{-1} de cana processada (testemunha 131,5 kg açúcar t^{-1}), saldo que resulta em maior rendimento da cana-de-açúcar ao ser industrializada.

Estes resultados se assemelham aos obtidos por Fravet (2010) e Santos et al. (2009), que relatam a não existência de ganhos em Fibra, Pol. e °Brix. Fravet (2010), por sua vez, descreve que os valores de Fibra, Pol. e °Brix. decrescem em função do aumento das doses de torta de filtro, devido à maior retenção de água no solo propiciada pela torta de filtro, favorecendo com que a cana-de-açúcar prolongue seu ciclo vegetativo, diminuindo seu período de acúmulo de açúcar e maturação, o que contribui para os resultados de aumento nos teores de ATR (açúcar total recuperável).



** significativo a 5% de probabilidade

FIGURA 16: Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar atribuídos à aplicação de torta de filtro em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural.

A partir da derivada da equação observada na Figura 16, verifica-se que a dosagem de 35 t ha⁻¹ de torta de filtro apresentou representatividade quanto ao aumento dos teores de ATR (TABELA 11), cuja máxima performance atribuída pela aplicação desta dosagem foi de 142 kg açúcar t⁻¹. Os resultados demonstram que a aplicação de torta de filtro não alterou a qualidade química da cana-de-açúcar, não havendo, assim, prejuízos quanto à produtividade de açúcar e álcool (CALDEIRA & PACCOLA, 2008).

A falta de resposta quanto às variáveis tecnológicas da cana-de-açúcar (Pol., °Brix, e Fibra) provavelmente está associada ao aumento de produtividade de colmos, visto que o efeito da melhoria da fertilidade do solo com a aplicação de torta de filtro induziu a cana-de-açúcar a um maior desenvolvimento vegetativo e, como consequência, um menor acúmulo de sacarose (maturação), afetando as variáveis Pol., °Brix, e Fibra (OLIVEIRA et al., 2002; JARUSSI, 1998; KORNDÖRFER et al., 1997; PEREIRA et al., 1995; SILVA et al., 1983; ALEXANDER 1973).

TABELA 11: Equações de regressão e dosagens atribuídas à qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa

| ATRIBUTOS | Valores de Máxima Eficiência Técnica | |
|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| | DOSE | ¹ PERFORMANCE |
| ATR (Kg açúcar t ⁻¹) | 35 | 142 |
| MÉDIA | 35 | - |

¹-performance de planta;

4.2. VINHAÇA

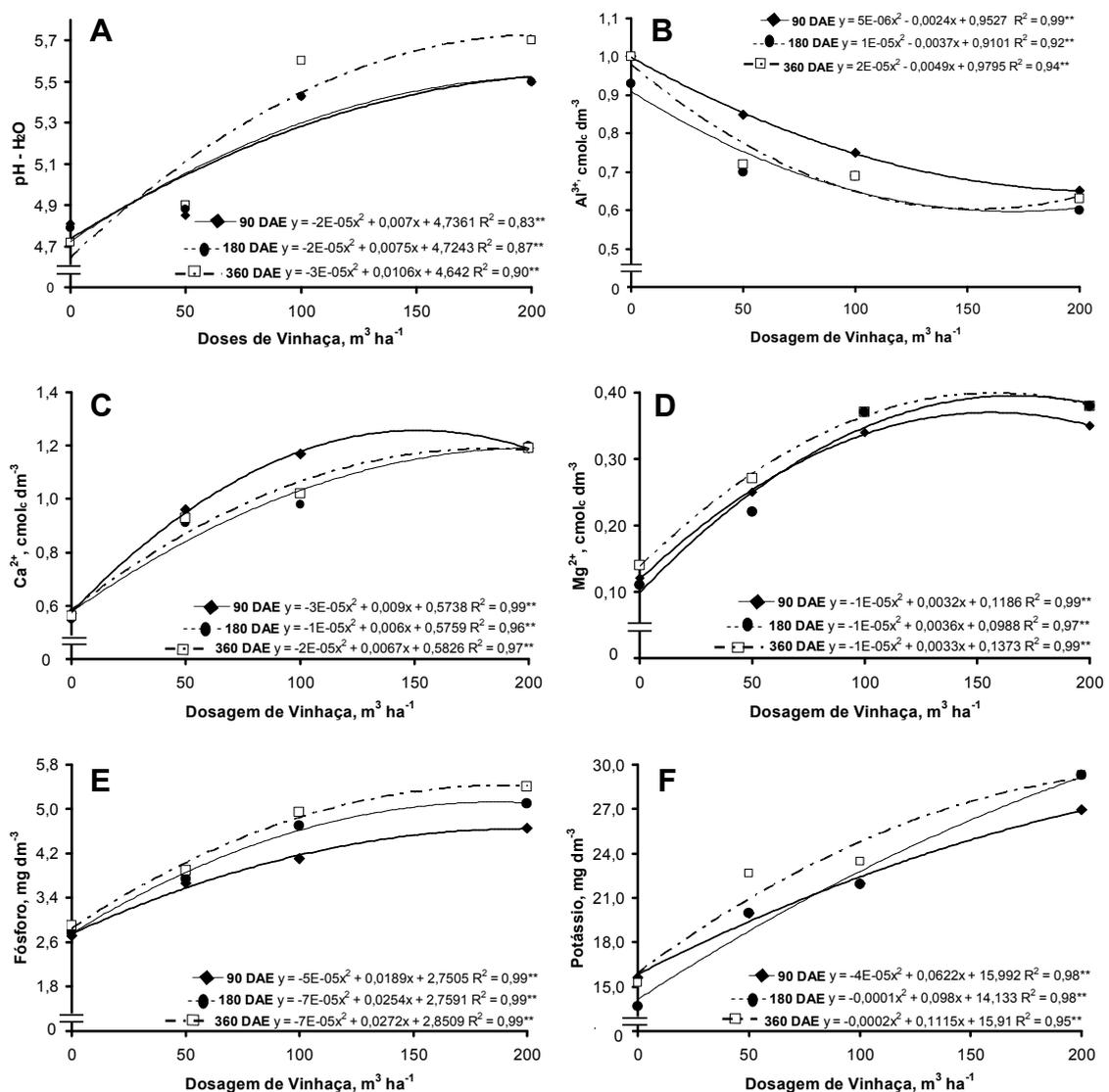
4.2.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SUBMETIDOS À APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES DOSAGENS DE VINHAÇA

A aplicação de dosagens crescentes de vinhaça aumentou o pH-H₂O do solo na camada de 0,20 m nos três períodos de avaliação: 90, 180 e 360 DAE (FIGURA 17A). Nota-se que este aumento na primeira avaliação (90 DAE) foi de 4,8 (testemunha) para 5,5 na dosagem máxima aplicada, resultado que se manteve até a segunda avaliação (180 DAE). Por sua vez, aos 360 DAE, observa-se aumento do pH para 5,7 em relação à testemunha (pH – 4,7). Esta elevação do pH ao longo das avaliações esta atribuída ao processo lento das reações de oxirredução e ácido/base decorrente da oxidação do carbono contido na vinhaça, que, ao reagirem, liberam NO₃⁻, MnO₂ e Fe(OH)₃, os quais ligam-se com O₂ ou H⁺, sendo esta a neutralização direta da acidez (H⁺), ou indireta pela geração de íons oxigênio que se combinam, resultando em água e alcalinizando o solo (GIACHINI & FERRAZ, 2009; SANADA et al., 2009; CAMARGO et al., 1984).

Mattiazzo-Prezotto & Glória (1985) também encontraram elevação do pH de 5,7 para 6,3 em Latossolo submetido à aplicação de vinhaça. A diferença de alcalinização do pH obtida no presente estudo, pode estar relacionada com o poder tampão de cada solo, cuja resistência à variação do pH do solo testado é menor comparativamente ao Latossolo de Mattiazzo-Prezotto & Glória (1985).

Quanto aos teores de alumínio (FIGURA 17B), observa-se diminuição na concentração inicial (testemunha – 1,0 cmol_c dm⁻³) em decorrência da aplicação da vinhaça, com elevado coeficiente de ajuste das equações de regressão ($R^2 > 0,92$). As reduções observadas em relação à testemunha foram de 0,35; 0,40 e 0,37 cmol_c dm⁻³, respectivamente aos 90, 180 e 360 DAE. Esta diminuição nos teores tóxicos de alumínio trocável, bem como a elevação do pH, provavelmente reduz a necessidade de calagem inicial (NC =2,6 t ha⁻¹ de calcário) do solo testado após a aplicação de vinhaça (ANGHINONI e SALET, 2000), indicando o potencial da vinhaça como produto corretivo de acidez do solo (ALBUQUERQUE, 2009; MATTIAZZO-PREZOTTO

& GLÓRIA, 1985). A partir das derivadas das equações de regressão obtidas nas três avaliações, constata-se que a dose média de vinhaça que reduz ao máximo os problemas de acidez, elevação do pH-H₂O e redução de alumínio tóxico foram de 180 e 154 m³ ha⁻¹, respectivamente (TABELA 12), dosagem que se enquadra na faixa de 60 a 250 m³ ha⁻¹ estabelecida por Raij et al. (1997) como sendo recomendada para a fertilização dos solos.



** significativo a 5% de probabilidade

FIGURA 17: Atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em três épocas de amostragem na camada de 0,20 m: 90, 180 e 360 DAE (A= pH-H₂O, B= Alumínio trocável, C= Cálcio trocável, D= Magnésio trocável, E= Fósforo disponível e F= Potássio disponível) em função de doses de vinhaça.

Em relação aos nutrientes cálcio e magnésio (FIGURA 17C e 17D), observou-se elevado ajuste das equações ($R^2 > 0,96$) relacionando dosagens de vinhaça e concentrações dos nutrientes cálcio e magnésio (testemunha – 0,57 e 0,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente). Percebe-se que, atribuída a dosagem máxima do resíduo, houve aumentos nos teores de cálcio e magnésio para até 1,20 e 0,38 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. A partir das derivações das equações determina-se que a dosagem de máxima fertilização do solo foi em média de 158 e 168 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de vinhaça para cálcio e magnésio, respectivamente (TABELA 12). Estes resultados indicam que a aplicação de vinhaça resultou no fornecimento de cálcio e magnésio para o solo, tornando viável sua aplicação em solos arenosos de baixos teores nutricionais e CTC (SOUZA e LOBATO, 2004; SAMBATTI, 2003). Tais resultados corroboram os apresentados por Bebé et al. (2007) e Paula et al. (1999) cuja utilização da vinhaça como fertilizante orgânico proporcionou acréscimos nos teores de cálcio e magnésio, na ordem para até 3,7 e 3,9 vezes, respectivamente, sendo os teores iniciais do solo de 1,10 e 0,32 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para cálcio e magnésio. Tais resultados demonstram a potencialidade do resíduo no fornecimento de cálcio e magnésio, sem possíveis problemas ambientais por lixiviação até o lençol freático (GIACHINI & FERRAZ, 2009; BEBÉ et al., 2007).

Para o nutriente fósforo (FIGURA 17E), a aplicação de vinhaça proporcionou aumento significativo no decorrer das três avaliações efetuadas (90, 180 e 360 DAE), constatando-se aumentos na ordem de 2,0 a 1,7 vezes a concentração inicial de fósforo no solo (testemunha 2,80 mg dm^{-3}). Estes resultados indicam que mesmo a vinhaça apresentando baixos teores de fósforo (0,0525 kg m^3 de fósforo), estes teores estão disponíveis na solução do solo, por apresentarem menores problemas de fixação específica devido ao bloqueio dos sítios de fixação com radicais orgânicos, aumentando, deste modo, a concentração do nutriente no solo testado (YAMADA e ABDALLA, 2004; BEAUCLAIR, 1994). Concluiu-se, pela derivação das regressões obtidas, que a dosagem de máxima fertilização do solo para o aumento dos teores de fósforo variou de 181 a 194 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de vinhaça, atingindo, com estes valores, uma concentração máxima de fósforo de 5,5 mg dm^{-3} . Os presentes resultados corroboram com os obtidos por Pereira et al. (1992) em Latossolo, cujo

aumento nos teores de fósforo alcançaram valores na ordem de 1,7 vezes em relação à testemunha ($1,40 \text{ mg dm}^{-3}$), por sua vez com dosagens de até 3 vezes as estabelecidas para o solo testado, indicando que o resíduo utilizado possui teores de fósforo superiores à utilizada pelo autor.

TABELA 12: Equações de regressão relacionando atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, submetido à aplicação de vinhaça, em três épocas de amostragem 90, 180 e 360 DAE

| ATRIBUTOS | ÉPOCA (dias) | EQUAÇÃO | R ² | ¹ P.MÁXIMA |
|---------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|-----------------------|
| pH-H ₂ O | 90 | $Y = -2E-5x^2 + 0,007x + 4,7361$ | 0,83** | 175 |
| | 180 | $Y = -2E-5x^2 + 0,0075x + 4,7243$ | 0,87** | 187 |
| | 360 | $Y = -3E-5x^2 + 0,0106x + 4,642$ | 0,90** | 177 |
| | ² MÉDIA | - | - | 180 |
| Al ³⁺ | 90 | $Y = 5E-6x^2 + 0,0024x + 0,9527$ | 0,99** | - |
| | 180 | $Y = 1E-5x^2 - 0,0037x + 0,9101$ | 0,92** | 185 |
| | 360 | $Y = 2E-5x^2 - 0,0049x + 0,9795$ | 0,94** | 123 |
| | ² MÉDIA | - | - | 154 |
| Ca ²⁺ | 90 | $Y = -3E-5x^2 + 0,009x + 0,5738$ | 0,99** | 150 |
| | 180 | $Y = -1E-5x^2 + 0,006x + 0,5759$ | 0,96** | - |
| | 360 | $Y = -2E-5x^2 + 0,0067x + 0,5826$ | 0,97** | 167 |
| | ² MÉDIA | - | - | 158 |
| Mg ²⁺ | 90 | $Y = -1E-5x^2 + 0,0032x + 0,1186$ | 0,99** | 160 |
| | 180 | $Y = -1E-5x^2 + 0,0036x + 0,0988$ | 0,97** | 180 |
| | 360 | $Y = -1E-5x^2 + 0,0033x + 0,1373$ | 0,99** | 165 |
| | ² MÉDIA | - | - | 168 |
| P | 90 | $Y = -5E-5x^2 - 0,0189x + 2,7505$ | 0,99** | 189 |
| | 180 | $Y = -7E-5x^2 + 0,0254x + 2,7591$ | 0,99** | 181 |
| | 360 | $Y = -7E-5x^2 + 0,0272x + 2,8509$ | 0,99** | 194 |
| | ² MÉDIA | - | - | 188 |
| K ⁺ | 90 | $Y = -0,0004x^2 + 0,1335x + 15,753$ | 0,99** | 167 |
| | 180 | $Y = -0,0006x^2 + 0,1934x + 13,134$ | 0,98** | 161 |
| | 360 | $Y = -0,0005x^2 + 0,1756x + 15,329$ | 0,99** | 176 |
| | ² MÉDIA | - | - | 168 |

** significativo a 5% de probabilidade ¹P.MÁXIMA – Ponto de Máxima – $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ²MÉDIA – média das dosagens máximas observadas

Quanto ao potássio, nutriente de maior concentração na vinhaça, verifica-se na Figura 17F, aumentos significativos em relação aos teores iniciais do solo (testemunha – $15,64 \text{ mg dm}^{-3}$), com a aplicação de doses crescentes do resíduo. Nota-se na primeira avaliação (90 DAE) elevação de $15,64 \text{ mg dm}^{-3}$

(testemunha) para $26,98 \text{ mg dm}^{-3}$ na dose máxima aplicada, ou seja, acréscimo de 1,7 vezes a concentração inicial do nutriente no solo. Para as avaliações seguintes (180 e 360 DAE) a vinhaça promoveu aumentos na ordem de 2,2 vezes a concentração inicial de potássio no solo. Estes aumentos nos teores de potássio foram apresentados por Brito et al. (2005) e Bebé et al. (2007) os quais propuseram aumentos na ordem de quatro vezes a concentração inicial do solo com a aplicação de vinhaça. Esta variação pode estar relacionada às dosagens superiores utilizadas pelos autores, aproximadamente 3,2 vezes, juntamente com uma baixa concentração de potássio no resíduo, visto que os teores de potássio da vinhaça podem variar em decorrência da diluição do resíduo por águas residuárias da indústria (lavagens de dornas e da cana-de-açúcar) e qualidade da matéria prima. Observa-se na Tabela 12, que a dosagem de vinhaça que possibilita a maior elevação de potássio no solo variou de 161 a $176 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, com média das três avaliações realizadas de $168 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do resíduo, ou seja, para obtenção de aumentos nas concentrações do nutriente no solo foram fornecidos aproximadamente 106 kg de potássio pela aplicação de vinhaça, valores que se assemelham com os recomendados pela COMISSÃO... (2004) para produtividade de colmos acima de 100 t ha^{-1} em solos com baixos níveis de potássio, indicando que a aplicação do resíduo substitui a utilização de fertilizantes minerais potássicos.

4.2.2. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM PROFUNDIDADES, SUBMETIDO À APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE DIFERENTES DOSAGENS DE VINHAÇA

A aplicação de vinhaça resultou em aumento no pH-H₂O do solo até a profundidade de 0,40 m nos três períodos de avaliações 90, 180 e 360 DAE. Esta elevação do pH-H₂O na profundidade de 0 – 0,40 m foi em média de 0,6 unidades no período de 90 e 180 DAE (FIGURA 18). Já para a última avaliação (360 DAE) não foram observadas variações na camada 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, verificando aumentos para até 5,7 em relação à testemunha (pH-H₂O - 4,6). Segundo Segato et al. (2006) e Vitti & Mazza (2002), este pH alcançado (5,7) com a aplicação da vinhaça corresponde ao ideal para o desenvolvimento da cana-de-açúcar que varia de 5,5 a 6,0. Estes resultados demonstram que a

aplicação de vinhaça até $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ é capaz de elevar o pH na camada de 0 – 0,40 m, indicando o potencial da utilização do resíduo como corretivo de acidez em profundidade, principalmente em solos arenosos com problemas de acidez em subsuperfície (SOUZA e LOBATO, 2004).

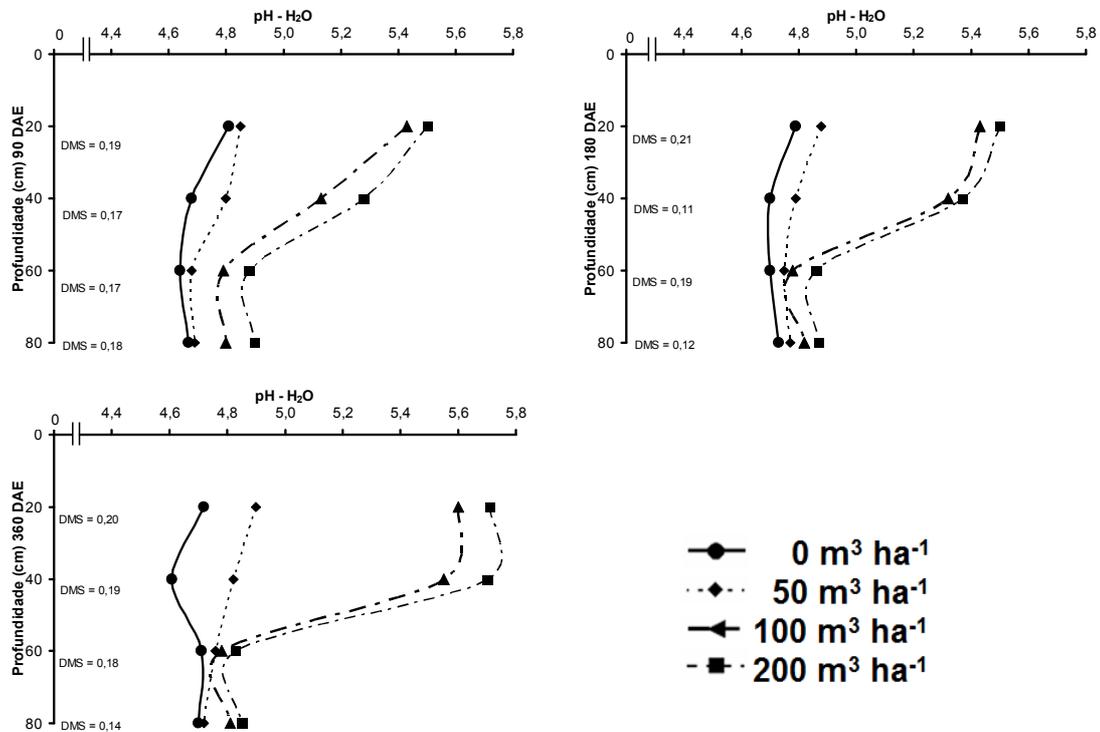


FIGURA 18: Comportamento do pH de um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa em quatro profundidades, submetido à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE).

Em relação à dinâmica do alumínio trocável no perfil do solo, pode-se verificar que a aplicação de vinhaça diminui a concentração de alumínio até a profundidade de 0,40 m, sendo que a maior redução ocorreu com a aplicação da maior dosagem de vinhaça, principalmente na camada de 0 – 0,20 m, atingindo valores próximos a $0,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (FIGURA 19). Na camada de 0,20 – 0,40 m, por sua vez, a redução na concentração de alumínio trocável foi menor, atingindo valores para até $0,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mas demonstrando a capacidade de corrigir a acidez do solo em profundidade, o que pode ser uma vantagem em relação ao calcário devido à sua solubilidade e baixa capacidade de correção ao longo do perfil do solo, especialmente quando aplicados na superfície, como no sistema de plantio direto. Estes resultados evidenciam que a vinhaça contribui na diminuição dos teores de alumínio em profundidade,

indicando que ao serem infiltrados, os radicais orgânicos provenientes da matéria orgânica contida no resíduo, complexa o alumínio diminuindo a sua concentração no solo, efeito este conveniente para solos arenosos, principalmente no sistema de plantio direto com baixa mobilização, que apresentam teores tóxicos de alumínio em profundidade (ALBUQUERQUE, 2009; SALET, 1998; CAMARGO et al., 1984).

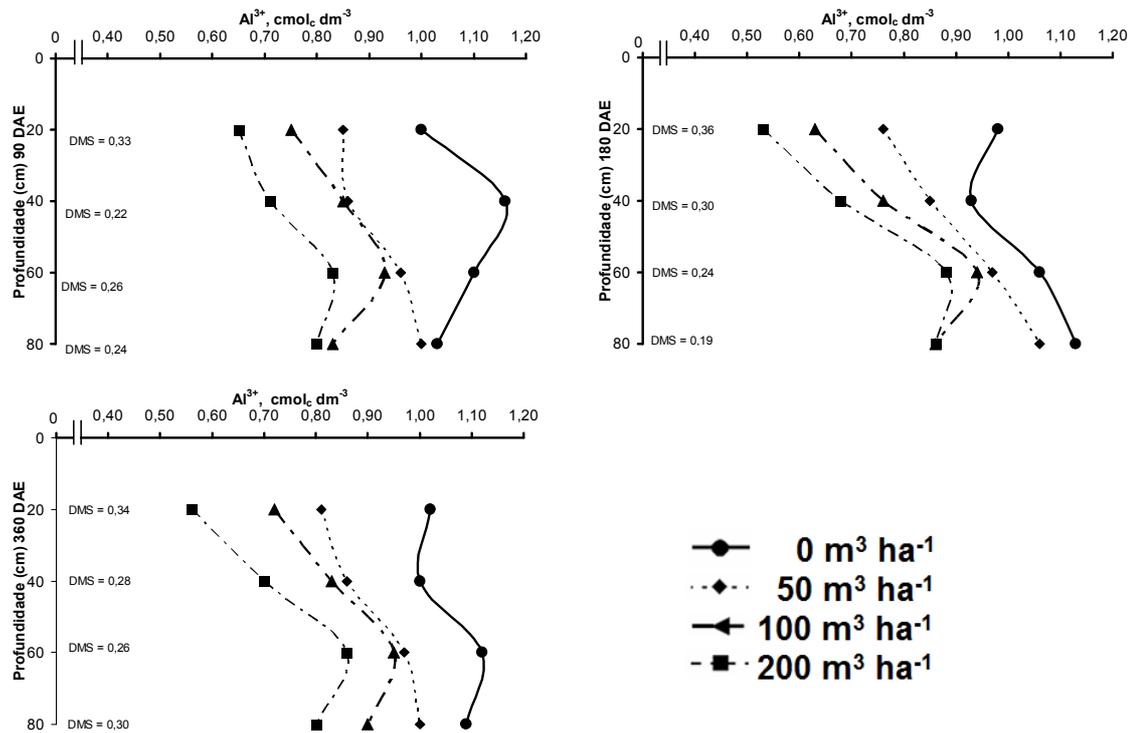


FIGURA 19: Comportamento dos teores de alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em quatro profundidades, submetidos à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE).

Para o nutriente cálcio, percebe-se aumento nos teores do solo até a camada de 0,40 m, o que indica efeito fertilizante com o nutriente em profundidade no solo (FIGURA 20). Estes efeitos são importantes em solos arenosos de baixa fertilidade na camada de 0 – 0,40 m (SAMBATTI, 2003), cujos benefícios comparados com o calcário, diferem-se decorrente de sua baixa mobilidade, pois o corretivo calcário não fornece cálcio em profundidade, o que justifica a recomendação da aplicação de vinhaça no cultivo de cana-de-açúcar.

Observou-se um incremento de cálcio obtido pelo uso de vinhaça na camada de 0 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m de 2 a 2,2 vezes em relação à testemunha

0,55 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nos três períodos de avaliação (90, 180 e 360 DAE). Verifica-se que esta elevação nos teores de cálcio está compreendida entre as dosagens de 100 a 200 $\text{m}^3 \text{ há}^{-1}$ de vinhaça (FIGURA 20), suprindo a necessidade da cultura, visto que foram aplicados, provenientes da vinhaça, até 94 Kg de cálcio, dos quais, segundo Segato et al. (2006), são necessários aproximadamente 87 Kg do nutriente para uma produtividade média de 100 t ha^{-1} de colmos, não sendo preciso, provavelmente, complementação mineral para o solo.

Lelis Neto (2008) descreve resultados semelhantes quanto ao incremento dos teores de cálcio na camada 0 – 0,40 m, utilizando dosagens de até 300 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça. Por sua vez, Paula et al. (1999), utilizando dosagens de até 400 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do resíduo, constata incrementos para até 0,23 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, cuja diferença entre as dosagem esta intimamente ligada às concentrações de cada resíduo aplicado, não observando problemas por contaminação até a dosagem de 640 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do resíduo (BRITO et al., 2005).

Quanto ao magnésio, também pode-se notar um incremento nos teores do nutriente até a camada de 0,40 m, indicando que o resíduo proporciona fertilização do solo em profundidade. Os teores médios alcançados pela aplicação da maior dosagem de vinhaça foram de 2,7 e 3 vezes os teores iniciais do solo (testemunha – 0,12 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), respectivamente para a camada de 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m (FIGURA 21).

Neste contexto, nota-se que as dosagens aplicadas de vinhaça supriram a necessidade da cana-de-açúcar quanto ao nutriente (200 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), sendo aplicados aproximadamente 38 Kg de magnésio provenientes do resíduo, aproximando-se das quantidades necessárias estabelecidas por Segato et al. (2006), o qual descreve que são necessários cerca de 49 Kg de magnésio para uma produtividade satisfatória de 100 t ha^{-1} de colmos. Estes resultados demonstram que a vinhaça foi suficiente para suprir as necessidades exigidas de magnésio para a cana-de-açúcar, não necessitando de aplicações de fertilizantes minerais. Paula et al. (1999), estudando dosagens de vinhaça, obteve a melhor resposta quanto ao aumento nos teores de magnésio na dosagem de 400 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do resíduo, porém em solos argilosos.

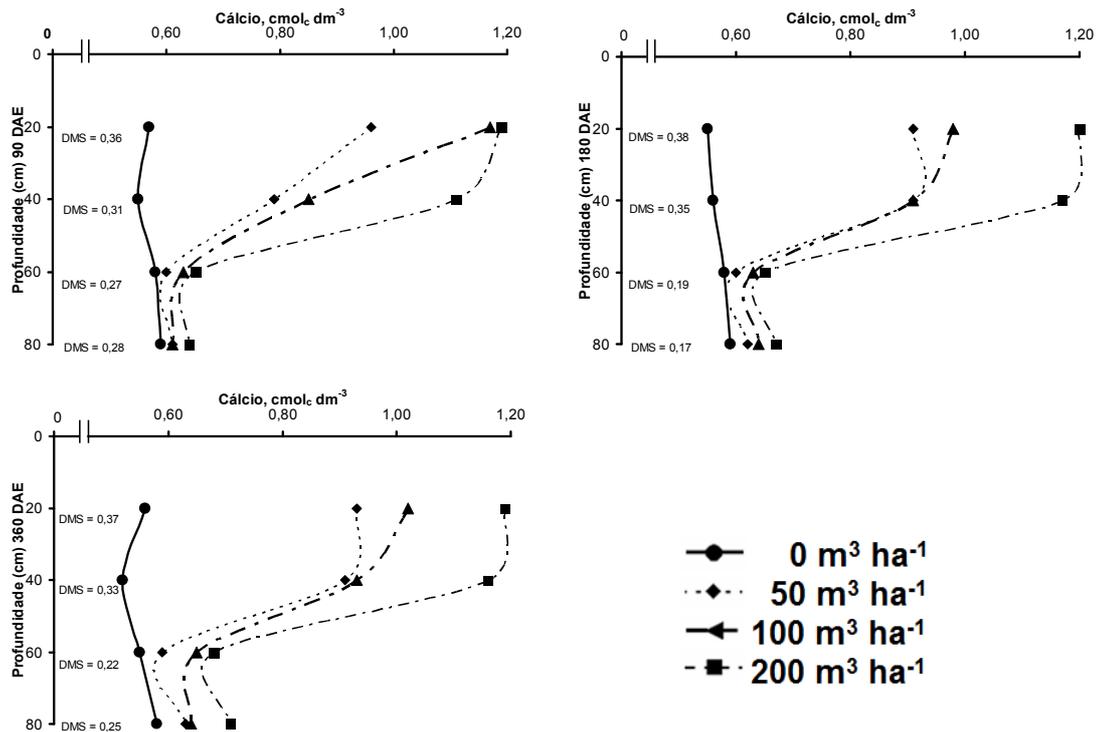


FIGURA 20: Comportamento dos teores de cálcio em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em três épocas de amostragem, submetidos à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE)

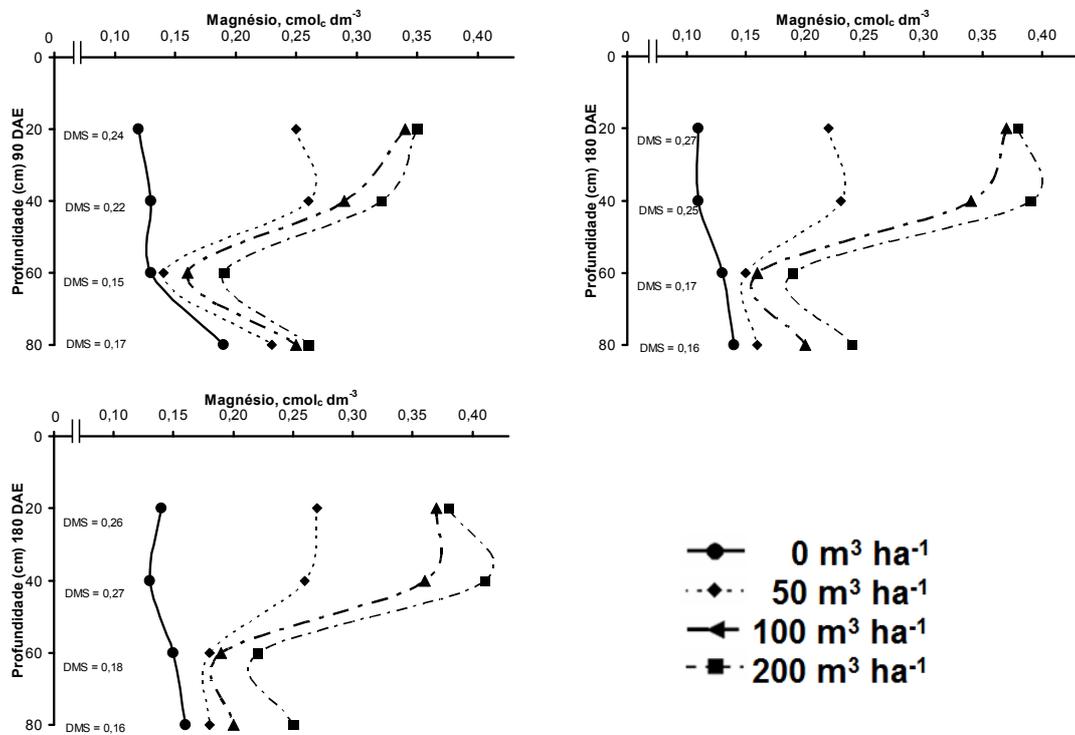


FIGURA 21: Comportamento dos teores de magnésio submetidos à aplicação de vinhaça em Latossolo de textura arenosa, em quatro profundidades e em três épocas de amostragem.

Quanto ao comportamento dos teores de potássio, verifica-se aumento de concentração em profundidade (FIGURA 22), cujos ganhos aos 90 DAE foram observados até a camada de 0,40 m com elevação de 23,46 mg dm⁻³ em relação à testemunha (14,86 mg dm⁻³). Para as avaliações efetuadas aos 180 e 360 DAE, verificaram-se aumentos significativos até a profundidade de 0,60 m, cujos aumentos observados aos 180 DAE foram de 28,54 e 22,29 mg dm⁻³, respectivamente para 0,20 – 0,40 m e de 0,40 – 0,60 m. Já as elevações constadas aos 360 DAE foram de 30,11 e 28,93 mg dm⁻³ respectivamente para as referidas camadas (FIGURA 22). Estes resultados estão de acordo com Lelis Neto (2008), que observou aumentos significativos nos teores de potássio em solo arenoso até a camada de 0,60 m, indicando o efeito fertilizante da vinhaça em profundidade no solo.

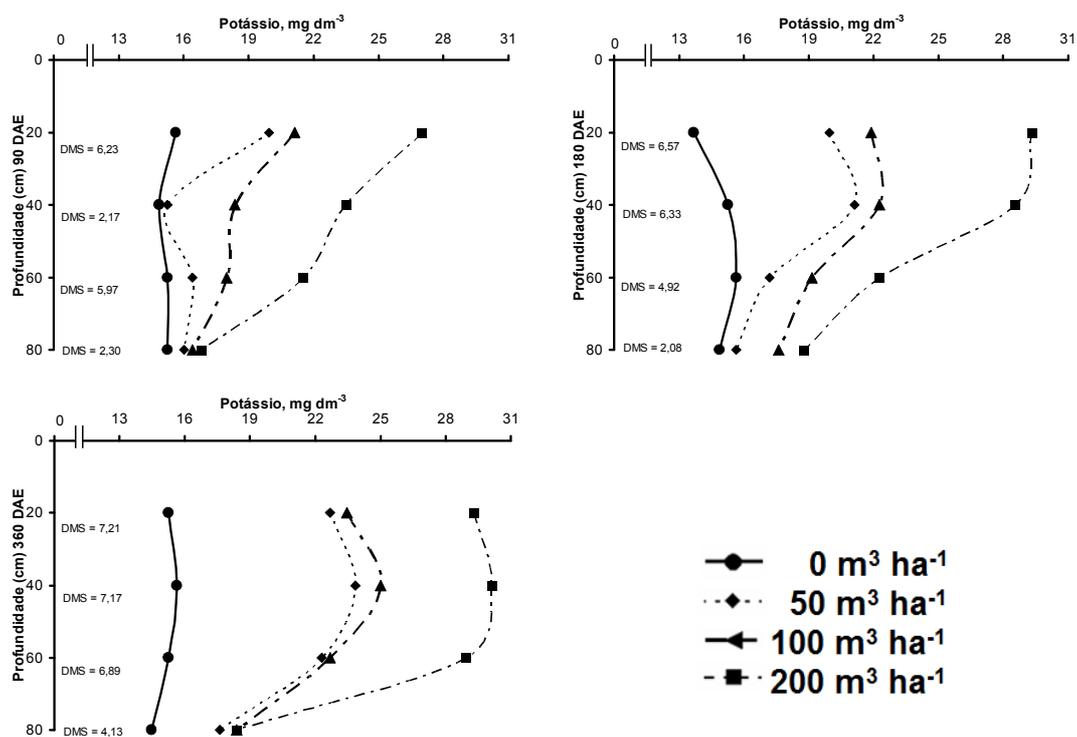


FIGURA 22: Comportamento dos teores de potássio em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, em quatro profundidades, submetidos à aplicação de vinhaça em três épocas de amostragem (90, 180 e 360 DAE).

Em relação aos aumentos nos teores de potássio em profundidade, observa-se aumento até a camada de 0,60 m, na dosagem de 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça (FIGURA 22). Este incremento é 2 vezes menor que os descritos por

Bebé et al. (2007), Brito et al. (2005), Paula et al. (1999), e Pereira et al. (1992) demonstrando que para solos arenosos não é necessária a utilização de dosagens elevadas para a fertilização do solo.

Por outro lado, utilizando-se a fórmula elaborada pela CETESB (CETESB, 2006) para estabelecer a dosagem máxima permitida para utilização no solo, constata-se que a dosagem de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ é 48% menor que a dosagem máxima recomendada nessas condições ($417 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Deste modo, pode-se inferir que a dosagem utilizada de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça aplicada para a fertilização do solo testado em profundidade não deverá ocasionar problemas de contaminação do solo e do lençol freático, porque é duas vezes inferior ao máximo recomendado pela CETESB.

4.2.3. COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADOS EM SOLO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSAGENS DE VINHAÇA

Foram observados aumentos significativos e elevado ajuste das equações ($R^2 > 0,96$) no desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar atribuídos à aplicação de vinhaça (FIGURA 23). Destaca-se que os parâmetros de desenvolvimento da planta como a altura total (planta com ponteiro) e comprimento de colmos (planta sem ponteiro) obtiveram aumentos para até 10,1 e 4,92 cm. Estes aumentos de altura total e comprimento de colmos possuem correlação positiva com a produtividade, ou seja, plantas de cana-de-açúcar que apresentam um aumento dos seus componentes de desenvolvimento refletem em uma maior produtividade de massa por colmo (BARBOSA et al., 2000; MIOCQUE, 1999). Já para os parâmetros de massa verde total (planta com ponteiro) e produtividade de colmos (planta sem ponteiro), observam-se aumentos significativos de 1,30 e 1,04 Kg planta⁻¹, respectivamente, comparados às testemunhas (0,90 e 0,73 Kg planta⁻¹), atribuída a dosagem máxima de vinhaça aplicada.

A partir dos resultados obtidos, extrapola-se que a produtividade de colmos média alcançada (TCH – toneladas de colmos por hectare) em uma população de planta ideal (equivalente a 150 mil plantas ha⁻¹) será de 156 t ha⁻¹ de colmo, indicando satisfatória produtividade obtida para cana-de-açúcar de

primeiro corte (MOLIN et al., 2004). Estes ganhos em produtividade são reflexos da fertilização ocasionada pela aplicação de vinhaça no solo com aumentos nos teores de potássio, cálcio, magnésio e contribuições quanto à diminuição da acidez do solo (FRANCO et al., 2008 e PAULINO et al., 2002), demonstrando, desta maneira, que a aplicação do resíduo em solos arenosos no cultivo de cana-de-açúcar proporciona relação positiva quanto ao aumento de produtividade da cultura.

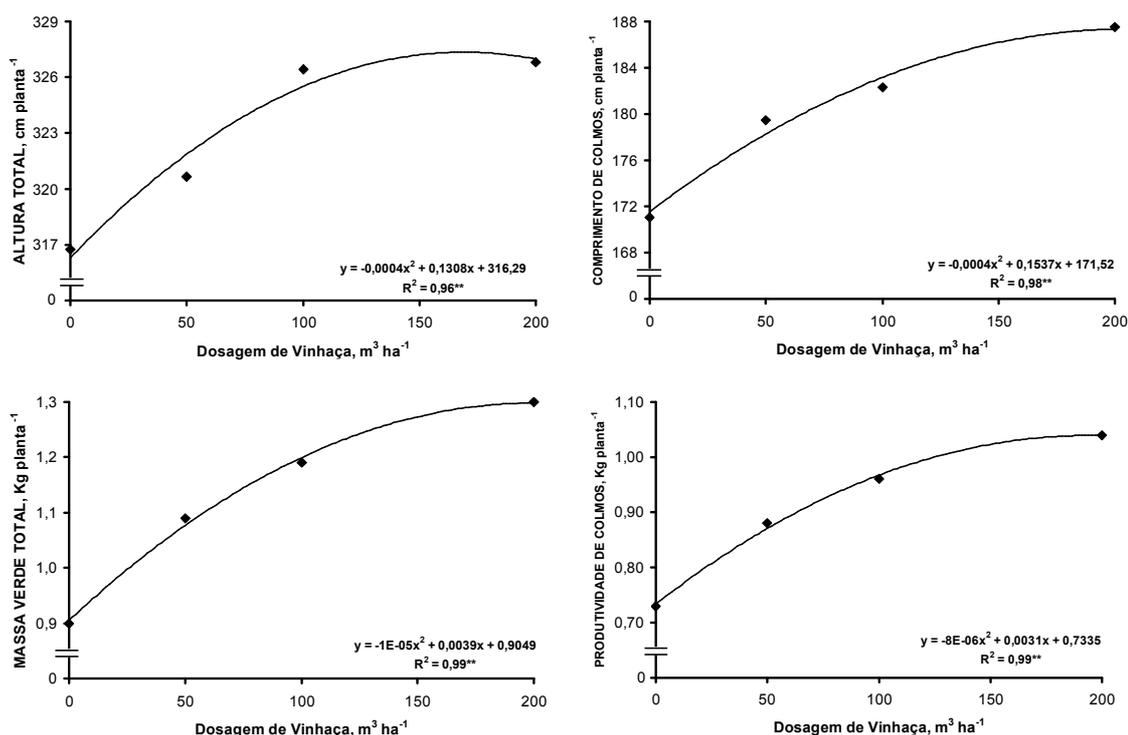


FIGURA 23: Componentes de produtividade alcançados com aplicação de dosagens crescentes de vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural.

A partir da derivada das equações obtidas na Figura 23, estabelece a dosagem de melhor performance da resposta aos aumentos dos parâmetros de produtividade (TABELA 13). Verifica-se que, visando a obtenção de máximo desempenho da cultura da cana-de-açúcar para os parâmetros de altura total (planta com ponteiro) e comprimento de colmos (planta sem ponteiro), a dosagem ideal variou entre 162 a 192 m³ ha⁻¹, respectivamente, com máxima performance alcançada de 327 cm de altura total e 186 cm de comprimento de colmos (TABELA 13). Já para os aumentos estabelecidos para massa verde total (planta com ponteiro) e produtividade de colmos (planta sem ponteiro)

verifica-se mínima diferença entre as dosagens, variando de 195 a 194 m³ ha⁻¹, respectivamente, cuja média das dosagens obtida em relação aos parâmetros de produtividade foi de 186 m³ ha⁻¹ de vinhaça, com desempenho máximo atingido de 1,28 e 1,33 Kg planta⁻¹ (TABELA 13).

Estas dosagens atribuídas ao máximo desenvolvimento da cana-de-açúcar são semelhantes, em média, às descritas no presente estudo quanto aos resultados dos atributos químicos na camada arável (0 – 0,20 m) e em profundidade (em média até a camada de 0,40 m) que obtiveram, em geral, respostas positivas quando aplicados 178 m³ ha⁻¹ do resíduo, indicando assim que os aumentos da fertilidade do solo atribuídos à aplicação de vinhaça refletiram na melhor performance atingida pela cultura da cana-de-açúcar. Paulino et al. (2002) em Latossolo, estudando dosagens de vinhaça, descreve resultados similares aos obtidos no presente estudo, alcançando, por sua vez, máxima produtividade (118 t ha⁻¹ de colmos) com a aplicação de 300 m³ ha⁻¹ de vinhaça, porém em solos argilosos, indicando que para solos arenosos não são necessárias dosagens acima de 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça para uma melhor performance da cana-de-açúcar.

TABELA 13: Equações de regressão e dosagem de vinhaça, atribuídas aos máximos parâmetros atingidos de produtividade da cana-de-açúcar e cultivada em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, submetido à aplicação de vinhaça

| ATRIBUTOS | EQUAÇÃO | R ² | ¹ Valores de MET | |
|-----------------------------|---|----------------|-----------------------------|------------------------------|
| | | | DOSE | ² PERFORMANCE |
| ALTURA TOTAL | Y = -0,0004x ² +0,130x+316,2 | 0,96** | 162 | 327 cm |
| ³ COMP. COLMOS | Y = -0,0004x ² +0,1537x+171,52 | 0,98** | 192 | 186 cm |
| ⁴ M. VERDE TOTAL | Y = -1E-5x ² +0,0039x+0,9049 | 0,99** | 195 | 1,28 Kg planta ⁻¹ |
| ⁵ PROD. COLMOS | Y = -8E-6x ² +0,0031x+0,7335 | 0,99** | 194 | 1,33 Kg planta ⁻¹ |
| MÉDIA | - | - | 186 | - |

** significativo a 5% de probabilidade, 1- Valores de máxima eficiência técnica; 2-performance de planta; 3-comprimentos de colmos; 4-massa verde total; 5-produtividade de colmos

4.2.4. QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SOLO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE DIFERENTES DOSAGENS DE VINHAÇA

Quanto à aplicação de vinhaça na melhoria da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, foram observados aumentos significativos quanto aos teores de ATR (FIGURA 24) comparados à testemunha (131,50 Kg açúcar t⁻¹), cujo aumento foi de até 141,50 Kg açúcar t⁻¹ de cana-de-açúcar, indicando elevações significativas das concentrações de açúcares totais da cultura (sacarose, glicose e frutose), provavelmente associadas às elevações dos parâmetros produtivos provenientes da ascensão da fertilidade do solo (FELIPE, 2008). Estes resultados estão de acordo com Tasso Jr. et al. (2007), que observou ganhos no ATR da cana-de-açúcar de 142,70 Kg açúcar t⁻¹.

Atribuídos aos ganhos de ATR, observa-se que a dosagem média aplicada para o aumento dos teores foi de até 160 m³ ha⁻¹ de vinhaça (TABELA 14). Esta dosagem se enquadra dentro do intervalo descrito por Tasso Jr. et al. (2007), que obteve incremento entre as dosagens de 117 e 234 m³ ha⁻¹ do resíduo.

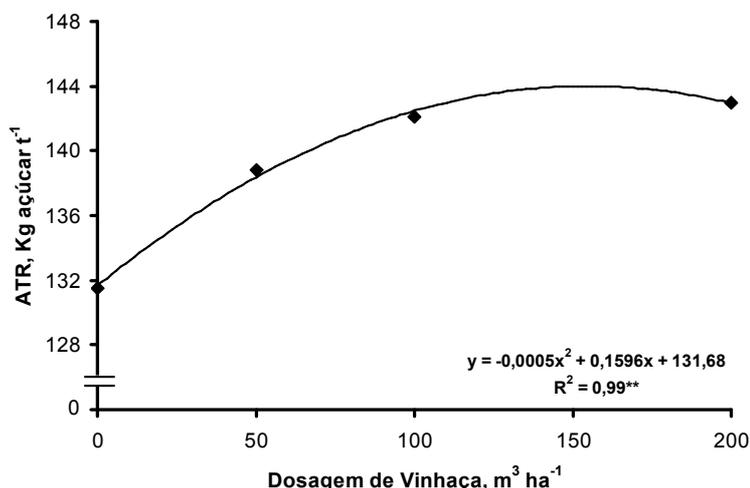


FIGURA 24: Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar atribuída à aplicação de vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, sob campo natural.

TABELA 14: Equações de regressão e valores de máxima eficiência técnica para a cana-de-açúcar cultivada em Latossolo Vermelho distrófico psamítico (LVd) de textura arenosa, submetidos à aplicação de vinhaça

| ATRIBUTOS | EQUAÇÃO | R ² | ¹ Valores de MET | |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | | | DOSE | ² PERFORMANCE |
| % °Brix | $Y = -9E-5x^2 + 0,022x + 19,803$ | 0,91 ^{N.S.} | - | - |
| ATR (Kg açúcar t ⁻¹) | $Y = -0,0005x^2 + 0,1596x + 131,68$ | 0,99 ^{**} | 160 | 144 |
| % Pol. | $Y = -0,0001x^2 + 0,031x + 12,967$ | 0,99 ^{N.S.} | - | - |
| Fibra | $Y = -9E-5x^2 + 0,03x + 14,398$ | 0,99 ^{N.S.} | - | - |
| MÉDIA | - | - | 160 | - |

** significativo a 5% de probabilidade, 1- Valores de máxima eficiência técnica; 2-performance de planta

Por sua vez, não foram observados ganhos significativos para as variáveis: °Brix, %Pol. (teor de sacarose) e Fibra. Estes resultados podem estar relacionados à variedade da cana-de-açúcar escolhida, que, perante a sua rusticidade, não atingiu ganhos significativos com a elevação dos teores de cálcio, magnésio, potássio e diminuição da acidez do solo pela elevação do pH e diminuição nos teores de alumínio tóxico (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO CARLOS, 2008). Estes resultados estão de acordo com diversos autores, que descrevem não relatarem ganhos nos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar quando fertilizada com vinhaça (FRANCO et al., 2008; LELIS NETO, 2008; CÓ JUNIOR et al., 2008; GATTO, 2003; PAULINO et al., 2002; MEDINA et al., 2002).

Ripoli & Ripoli (2004) refere-se à falta de resposta das variáveis tecnológicas (Pol., °Brix, e Fibra) quando fertilizadas pela aplicação de vinhaça, possivelmente atrelada aos aumentos dos parâmetros produtivos (altura total, comprimento de colmos, massa verde total e produtividade de colmos) decorrente da ascensão da fertilidade do solo, o que favorece o desenvolvimento vegetativo, resultando em menores acúmulos de sacarose.

4.3. APLICAÇÃO DE DOSAGENS COMBINADAS DE TORTA DE FILTRO E VINHAÇA

Não foram observadas variações significativas quanto aos atributos químicos do solo na camada de 0 – 0,20 m quando submetido a doses combinadas de torta de filtro e vinhaça, nos três períodos de avaliação efetuados (90, 180 e 360 DAE). Verificou-se, aos 90 DAE, que os atributos químicos do solo como pH-H₂O, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, P e K⁺ não sofreram alterações significativas quando aplicadas doses combinadas de torta de filtro e vinhaça. No entanto, para os tratamentos com doses isoladas dos resíduos, observa-se significância quanto aos atributos químicos do solo ao nível de 1% de probabilidade (TABELA 15). Estes resultados demonstram não haver interação entre a soma dos fatores atribuídos à aplicação isolada da torta de filtro e da vinhaça.

Nota-se, na Tabela 15, que os valores de pH-H₂O e alumínio trocável (90 DAE) assemelham-se quando aplicadas doses de torta de filtro ou vinhaça, alcançando valores, respectivamente, de até 5,4 e 0,66 cmol_c dm⁻³, indicando assim efeito corretivo dos resíduos quando aplicados no solo. Este efeito refere-se à matéria orgânica contida nos resíduos que neutralizam o alumínio tóxico e os íons H⁺ responsáveis pela acidez do solo (VASCONCELOS et al., 2010).

Para os teores de cálcio, magnésio e fósforo no solo, a torta de filtro foi responsável por maiores ganhos na concentração destes nutrientes no solo quando comparada com a aplicação de vinhaça (TABELA 15), fato este explicado, segundo Durigan et al (2010) pelas maiores quantidades destes nutrientes contidas na torta de filtro, favorecendo a concentração no solo.

Por sua vez, a vinhaça caracterizou-se pelo aumento da concentração de potássio no solo, atingindo valores de até 27,00 cmol_c dm⁻³ (TABELA 15). Estes resultados estão vinculados à maior demanda da cultura por este nutriente, ligada ao metabolismo da cultura para concentração e acúmulo do açúcar (ALEXANDER, 1973; PEREIRA et al., 2002).

TABELA 15: Atributos químicos do solo da camada de 0 – 0,20 m em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico aos 90 DAE

| Tratamento | pH | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | P | K ⁺ |
|------------------------------|------|---|------------------|------------------|--------------------------------|----------------|
| | |cmol _c dm ⁻³ | | |mg dm ⁻³ | |
| Torta (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 5,1 | 1,00 | 0,57 | 0,12 | 2,72 | 15,60 |
| 10 | 5,1 | 0,78 | 0,86 | 0,29 | 4,89 | 17,00 |
| 20 | 5,3 | 0,73 | 1,42 | 0,31 | 5,43 | 21,89 |
| 40 | 5,4 | 0,66 | 1,60 | 0,42 | 5,61 | 23,00 |
| Bianca (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 5,0 | 1,00 | 0,57 | 0,12 | 2,72 | 15,60 |
| 50 | 5,0 | 0,85 | 0,96 | 0,25 | 3,66 | 19,90 |
| 100 | 5,3 | 0,75 | 1,17 | 0,34 | 4,11 | 21,10 |
| 200 | 5,5 | 0,65 | 1,19 | 0,35 | 4,66 | 27,00 |
| C.V. (%) | 4,5 | 11,9 | 4,4 | 6,4 | 3,1 | 1,7 |
| Teste F | | | | | | |
| Torta (T) | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| Vinhaça (V) | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| Interação TXV | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

R.L = Regressão Linear; R.Q. = Regressão Quadrática.

*, ** e n.s. = significativo a 5%; 1% e não significativo, respectivamente.

Nas avaliações realizadas aos 180 e 360 DAE, verifica-se quanto ao pH-H₂O e os teores de alumínio trocável, significância ao nível de 5% de probabilidade na camada de 0 – 0,20 m, referentes aos tratamentos com aplicações isoladas de torta de filtro e vinhaça, sendo os valores máximos de 5,6 e 0,53 cmol_c dm⁻³ respectivamente para pH e alumínio (FIGURA 16 e 17). Não se percebe diferença na alcalinização do solo atribuída à aplicação de torta de filtro ou vinhaça no solo testado. Provavelmente estes resultados estão atrelados aos teores de matéria orgânica dos resíduos que auxiliam na neutralização do alumínio tóxico e no aumento do pH pelo consumo de íons H⁺, propiciando assim a correção da acidez do solo (SANADA et al., 2009; DEE et al., 2003; DEMATTÊ, 1992).

Nota-se, nas avaliações dos 180 e 360 DAE, que a torta de filtro contribuiu de forma efetiva para a elevação das concentrações de cálcio, magnésio e fósforo no solo, atingindo valores respectivamente de 1,65; 0,43 cmol_c dm⁻³ e 5,67 mg dm⁻³ (FIGURA 16 e 17). Contudo, quanto aos teores de potássio observa-se que a vinhaça contribuiu no aumento da concentração inicial dos teores do nutriente atingindo valores de 29,33 mg dm⁻³. Tais resultados demonstram que a fertilização do solo com a aplicação de torta de

filtro ou vinhaça auxilia no aumento da fertilidade do solo e na diminuição da acidez (GRILO et al., 2010; FRANCO et al., 2008; BEBE et al., 2007; PAULINO et al., 2002).

TABELA 16: Atributos químicos do solo da camada de 0 – 0,20 m, em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo vermelho distrófico psamítico aos 180 DAE

| Tratamento | pH | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | P | K ⁺ |
|-------------------------------|------|---|------------------|------------------|------------------------------|----------------|
| | |cmol _c dm ⁻³ | | |mg dm ⁻³ | |
| Torta (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 4,8 | 0,98 | 0,55 | 0,11 | 2,80 | 14,01 |
| 10 | 4,9 | 0,76 | 1,00 | 0,29 | 5,38 | 20,72 |
| 20 | 5,1 | 0,63 | 1,33 | 0,34 | 5,53 | 22,29 |
| 40 | 5,6 | 0,53 | 1,65 | 0,43 | 5,67 | 23,85 |
| Vinhaça (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 4,8 | 0,98 | 0,55 | 0,11 | 2,80 | 14,01 |
| 50 | 4,9 | 0,76 | 0,91 | 0,22 | 3,75 | 19,94 |
| 100 | 5,4 | 0,63 | 0,98 | 0,37 | 4,70 | 21,90 |
| 200 | 5,4 | 0,53 | 1,20 | 0,38 | 5,10 | 29,33 |
| C.V. (%) | 4,9 | 12,4 | 4,9 | 6,8 | 3,9 | 2,1 |
| Teste F | | | | | | |
| Torta (T) | * | * | ** | ** | ** | ** |
| Vinhaça (V) | * | * | ** | ** | ** | ** |
| Interação TXV | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

R.L = Regressão Linear; R.Q. = Regressão Quadrática.

*, ** e n.s. = significativo a 5%; 1% e não significativo, respectivamente.

TABELA 17: Atributos químicos do solo da camada de 0 – 0,20 m em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico aos 360 DAE

| Tratamento | pH | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | P | K ⁺ |
|------------------------------|------|---|------------------|------------------|------------------------------|----------------|
| | |cmol _c dm ⁻³ | | |mg dm ⁻³ | |
| Torta (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 4,7 | 1,02 | 0,56 | 0,14 | 2,90 | 15,25 |
| 10 | 4,9 | 0,66 | 1,10 | 0,30 | 3,19 | 18,77 |
| 20 | 5,2 | 0,56 | 1,40 | 0,36 | 5,55 | 20,33 |
| 40 | 5,6 | 0,46 | 1,66 | 0,45 | 5,77 | 20,33 |
| Bianca (t ha ⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 4,7 | 1,02 | 0,56 | 0,14 | 2,90 | 15,25 |
| 50 | 4,9 | 0,81 | 0,93 | 0,27 | 3,90 | 22,68 |
| 100 | 5,3 | 0,72 | 1,02 | 0,37 | 4,95 | 22,46 |
| 200 | 5,5 | 0,56 | 1,19 | 0,38 | 5,40 | 29,33 |
| C.V. (%) | 5,1 | 10,3 | 5,3 | 6,5 | 4,1 | 1,9 |
| Teste F | | | | | | |
| Torta (T) | * | * | ** | ** | ** | ** |
| Vinhaça (V) | * | * | ** | ** | ** | ** |
| Interação TXV | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

R.L = Regressão Linear; R.Q. = Regressão Quadrática.

*, ** e n.s. = significativo a 5%; 1% e não significativo, respectivamente.

Atribuída ao aumento da fertilidade do solo, pelo uso dos resíduos, observa-se ganhos na produtividade da cultura, bem como na qualidade tecnológica (ATR). Verifica-se que o fornecimento de potássio oriundo da aplicação da vinhaça favoreceu a produtividade da cana-de-açúcar obtendo valores de 156,0 t ha⁻¹ na dose máxima aplicada do resíduo (TABELA 18). Contudo, para a dose máxima de torta de filtro constatam-se valores de até 144,0 t ha⁻¹. Estes resultados indicam que a cultura da cana-de-açúcar é responsiva à adubação potássica, apresentando ganhos em produtividade quando fornecido o nutriente fertilizado com vinhaça (GATO, 2003; MEDINA et al., 2002)

TABELA 18: Produtividade e teores de ATR, em função de doses isoladas e combinadas de torta de filtro e vinhaça em Latossolo Vermelho distrófico psamítico

| Tratamento | Produtividadet ha ⁻¹ | ATRkg açúcar t..... |
|------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Torta (t ha⁻¹) | | |
| 0 | 135,0 | 131,5 |
| 10 | 130,5 | 136,0 |
| 20 | 139,5 | 140,0 |
| 40 | 144,0 | 141,5 |
| Vinhaça (t ha⁻¹) | | |
| 0 | 135,0 | 131,5 |
| 50 | 132,0 | 138,8 |
| 100 | 144,0 | 142,1 |
| 200 | 156,0 | 143,0 |
| C.V. (%) | 7,8 | 1,6 |
| Teste F | | |
| Torta (T) | ** | ** |
| Vinhaça (V) | ** | ** |
| Interação T*V | n.s. | n.s. |

R.L = Regressão Linear; R.Q. = Regressão Quadrática.

*, ** e n.s. = significativo a 5%; 1% e não significativo, respectivamente.

Tais resultados refletiram na qualidade tecnológica da cultura, sendo conferida à aplicação de vinhaça, ganhos de ATR com valores de 143,0 kg açúcar t⁻¹ na dose máxima aplicada. Já para a torta de filtro observam-se ganhos de 141,5 kg açúcar t⁻¹ na dose máxima estudada (TABELA 18).

Tais resultados demonstram que a aplicação de vinhaça favoreceu a concentração de açúcares totais na cana-de-açúcar (sacarose, frutose e

glicose), indicando melhoria na qualidade da matéria-prima ao ser fertilizada com o resíduo (FELIPE, 2008; TASSO Jr. et al., 2007).

5. CONCLUSÕES

a-) A produtividade da cultura, atingiu maior rendimento de 144 t ha^{-1} de colmo de cana-de-açúcar com a aplicação de $37,5 \text{ t ha}^{-1}$ de torta de filtro.

b-) A aplicação média de $186 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça possibilitou o melhor desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, com maior rendimento de produtividade de 156 t ha^{-1} de colmo.

c-) A torta de filtro proporcionou elevação da fertilidade do solo até a camada de 0,40 m.

d-) A aplicação de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça apresentou elevação na concentração de potássio até a camada de 0,60 m.

e-) Os teores de ATR da cana-de-açúcar foram superiores quando aplicados até $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, comparados com a aplicação de 20 t ha^{-1} de torta de filtro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JÚNIOR, C. H. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Ciência do Solo**, v. 4, p. 391-470, 2005.

ALBUQUERQUE, C. De olho na vinhaça: pesquisa observa ação da vinhaça em diferentes tipos de solo. **Revista Canamix**, p. 82-83, jul. 2009.

ALCOPAR – **Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://www.alcopar.com.br>>. Acesso em nov. 2010.

ALEXANDER, A. G. Sugar cane physiology: a comprehensive study of the Saccharum source-sink system. Amsterdam: **Elsevier**, 1973. 752 p.

ALMEIDA JÚNIOR, A. B. de. **Adubação orgânica em cana-de-açúcar: efeitos no solo e na planta**. 2010. 58 f. Dissertação (Mestrado – Área de concentração: Ciência do Solo) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. **Características dos aspectos e impactos econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro**. Paulista. IN: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, v. 46, 2008, Rio Branco. Anais...Rio Branco, 2008. 21 p.

AMBIENTEBRASIL. **Aptidão do solo paranaense**. Disponível em: <<http://ambientebrasil.com.br/>>. Acesso em: nov. 2010.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema de plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p. 41–59. (Boletim Técnico, 04).

ARREOLA-ENRIQUEZ, J.; PALMA-LÓPEZ, D. J.; SALGADO-GARCÍA, S.; CAMACHO-CHIU, W.; OBRADOR-OLÁN, J. J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J. F.; PASTRANA-APONTE, L. Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. **Terra Latinoamericana**, Universidad Autónoma Chapingo - México, v. 22, n. 3, p. 351-357, 2004.

BARBOSA, G. V. S.; SOUZA, A. J. R.; ROCHA, A. M. C.; RIBEIRO, G. A. G.; FERREIRA, L. J. C.; SOARES, L.; CRUZ, M. M.; SILVA, W. C. M. **Novas variedades RB de cana-de-açúcar para alagoas**. Maceió: UFAL, Programa de Melhoramento Genético de cana-de-açúcar, 2000. 16 p.

BAYER, C.; MIEINICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica: In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (editores.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo nos ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Geneses, p. 27-40, 1999.

BEAUCLAIR, E. G. F. **Produtividade de cana-de-açúcar em função de alguns macronutrientes presentes no caldo e no solo**. 1994. 97f. Tese (Doutorado em solos e Nutrição de plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

BEBÉ, F. V. **Avaliação de solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça e alterações na qualidade do efluente drenado**. 2007. 39.f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Agrícola – Água e Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

BERTONCINI, E. I. Workshop: Aspectos ambientais da cadeia do etanol e da cana-de-açúcar. **Geração de resíduos da indústria da cana-de-açúcar**. Projeto Diretrizes de Políticas Públicas para a Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo - Programa de Pesquisa em Políticas Públicas (PPPP). Piracicaba, 2008. 12 p.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio não lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Suplemento, p.52-56, 2005.

CALDEIRA, D. S. A.; PACCOLA, A. A. Influência do manejo da palhada na fertilidade de um solo cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 23, n. 1, p.18-31, 2008.

CAMARGO, O. A. de et al. Alterações de características químicas de um latossolo roxo distrófico incubado com resíduos da indústria álcool-açucareiro. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 1, p. 125-139, 1984.

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

CETESB. Vinhaça – Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola. São Paulo, **Norma Técnica P4.231**; 2006, 12 p.

CIB - CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Guia da cana-de-açúcar - avanço científico beneficia o país**. São Paulo: CIB, 2009. 20 p.

CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M. O.; TASSO JÚNIOR, L. C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 196-203, 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, janeiro/2011**. Brasília: Conab, 2011. 19 p.

CONSECANA. **Manual de instruções**. 4 ed. Piracicaba: Opinião, 2003. 116p.

CORTEZ, L. A. B. **A expansão da produção de álcool como programa de desenvolvimento nacional. Apresentado no âmbito do “Projeto Etanol”**, Brasília, CGEE/Nipe, p. 3-17, 2007.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press., 1981. 126 p.

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**, v. 37, p. 47-54, 2003.

DELGADO, A. A.; CÉSAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Piracicaba, Departamento de Tecnologia Rural. ESALQ/USP, 1990. 452 p.

DEMATTÊ, J. L. I. **O uso agrônômico de resíduos x fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar**. In: DECHEN, A. R.; BOARETTO, A. E. & VERDADE, F. C. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. Anais. Campinas, Fundação Cargill, p. 213-251, 1992.

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

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

DURIGAN, M. R.; ALVES, M. C.; SILVA Jr., G. L. da; MARCHINI, D. de C.; SOUTO FILHO, S. N.; MIRANDA, L. P. M. de; ARRUDA, O. G. de. Propriedades químicas de um Latossolo tratado com resíduos da usina canavieira, cultivado com cana-de-açúcar. In: FERTBIO, 2010, Guarapari – ES. **Fertbio 2010**. Vitória – ES 2010. 4 p.

EMBRAPA. – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FAAIJ, A.; DOMAC, J. “Emerging international bio-energy markets and opportunities for socio-economic development. **Energy for Sustainable Development**, v. 10, n. 1. p. 7-19, 2006.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA. 45., 200, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, p. 255-258, 2000.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum L.*) submetida a diferentes épocas de plantio e à N adubação mineral.** 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado – Área de Concentração Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2008.

FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região noroeste do Paraná. **Revista Unimar**, Maringá, v.19, n.3, p.853-861, 1997.

FIXEN, P. E. **Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes.** In: SIMPOSIO FERTILIDAD 2009, n. 126, 2009, Rosário/Argentina. Informações Agronômicas. Rosário, p. 8-14, 2009.

FRANCO, A.; MARQUES, M. O.; MELO, W. J. de. Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: nitrogen contents in soil and plant. **Revista Scientia Agricola.**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 408-414, 2008.

FRAVET, P. R. F. de; 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. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010.

FURTADO, CELSO. **Formação econômica do Brasil:** edição comemorativa 50 anos, org. Rosa Freire d'Aguiar Furtado. São Paulo: Companhia das Letras, 2009. 17 p.

GATTO, R. H. **Lodo de esgoto e vinhaça como fonte de cálcio, magnésio e potássio para a cultura da cana-de-açúcar.** 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar – revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 7, n. 15, 2009. 5 p.

Gloeden, E.; Cunha, R. C. A.; Fraccaroli, M. J. B.; Cleary, R. W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science Technology**, v.24, n.11, p.147-157, 1991.

GLÓRIA, N.A. Uso agronômico de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. 22, Piracicaba, 1992. **Anais...** Campinas, Fundação Cargill, p.195-212, 1992.

GRILLO, J. F.; NEITZKE, D. F.; SANTOS, M. Z. dos; GENERO, A. D.; NEVES, R. S.; NEITZKE, B. C. Estudo comparativo entre a eficiência de diferentes formas de adubação na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). In: FERTBIO, 2010, Guarapari – ES. **Fertbio 2010**. Vitória – ES 2010. 4 p.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça da cana no Aquífero Bauru**. 1999. Tese (Mestrado). [s.d.]. Instituto de Geociência – USP. São Paulo–SP, 1999.

HETHERINGTON, S. J., ASHER, C. J., BLAMEY, F.P.C. Tolerance of sugarcane to Al in soil and solution culture. St. Lucia. Australian: **Society of Sugarcane Technologists**, p. 63-68, 1986.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília: câmara dos deputados, coordenação de publicações, p.5-12, 2004.

JARUSSI, R. O. **Efeito da adubação com termofosfato Yoorin na produção agrícola, absorção de P e qualidade do caldo da cana soca**. Universidade Federal de Uberlândia, 1998. 31 p.

JORGE, R. A. B. **Torta de filtro e turfa na mitigação de solo**. JOSEPH JUNIOR, H. **Flex fuel technology in Brazil**. São Paulo: Anfavea, Energy and Environment Division, 2007. 21 p.

KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana planta a diferentes fontes de fósforo. **Boletim Técnico Copersucar**, v. 45, p. 31-37, 1989.

KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à adubação fosfatada. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.102, 7 p., 2003.

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

LEITE, Gil de F. **Avaliação econômica da adubação com vinhaça e da adubação mineral de soqueiras de cana-de-açúcar na usina Monte Alegre Ltda.**-Monte Belo - MG. Rev. Universidade de Alfenas, Alfenas, v. 5, p. 181-189, 1999.

LELIS NETO, J. A. **Monitoramento de componentes químicos da vinhaça aplicados em diferentes tipos de solo**. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

LUZ, P. H. de C. Novas tecnologias no uso da vinhaça e alguns aspectos legais. In: Simpósio de Tecnologia de Produção de cana-de-açúcar, 2, 2005, Pirassununga. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, p. 1-53, 2005.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. da. Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.525-532, 2003.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafós, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos & adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E. & GLÓRIA, N.A. Efeito da vinhaça na acidez do solo. **STAB**, v.4, p.35-40, 1985.

MEDINA, C. de C.; NEVES, C. S. V. J.; FOSNSECA, I. C. de B.; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 179-184, 2002.

MELLIS, E. V. ; QUAGGIO, J. A. . **Micronutrientes em cana-de-açúcar: a fome oculta dos canaviais 2009** (Artigo técnico-científico). Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/MicroNutricana.htm>>. Acesso em: 4 out. 2010.

MIOCQUE, J. Avaliação de crescimento e de produtividade de matéria verde da cana-de-açúcar na região de Araraquara-SP. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.17, p. 45-50, 1999.

MORGADO, I. F. et al. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 709-712, 2000.

MOLIN, J. P.; FONTANA, G.; GUIMARÃES, R. V.; CABRERA, F. R.; COSTA, M. B. Elaboração de mapas de produtividade de cana-de-açúcar em corte manual com queima previa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba-SP. **CONBAP**. Piracicaba-SP, 2004. 7 p.

MONTEIRO, J. M.; VEIGA, L. B. E.; COUTINHO, H. L. C. **Indicadores de desenvolvimento sustentável para avaliação de impactos associados à expansão da cana-de-açúcar para a produção de biocombustíveis: uma análise baseada nos indicadores de desenvolvimento sustentável da União Européia**. In: MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JUNIOR, A.; COUTINHO, S. M. V. Governança ambiental e indicadores de sustentabilidade: resultados do II workshop internacional de pesquisa de indicadores de sustentabilidade – WIPIS 2008. São Carlos: EESC/USP, 2008. 250 p.

NARDIN, R. R. **Torta de filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas**. 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado - Área de Concentração em Tecnologia de Produção Agrícola) - Instituto Agrônômico, Campinas, 2007.

NOLLA, A.; PALMA, I. P.; SANDER, G.; VOLK, L. B. S.; SILVA, T. R. B. Desenvolvimento de milho submetido à aplicação de calcário e silicato de cálcio em um Argissolo arenoso do noroeste paranaense. **Revista cultivando o saber**, v. 2, p. 154-162, 2009.

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

NUNES JR., 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. Boletim Técnico Copersucar 41/88. São Paulo. p 3-12. 1988.

NUNES JUNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. **Revista Idea News**, ano 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa-MG, v. 26, p. 505-519, 2002.

OMAR, Y. S. M. **Effects of sugar cane filter cake compost on selected characteristics of bris soil and growth of maize**. 2009. 25f. Thesis (Master of Science) - Universiti Putra Malaysia, Malaysia, 2009.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Planalsucar, 1983. 369 p.

PAULA, M. B.; HOLANDA, F. S. R.; MESQUITA, H. A.; CARVALHO, V. D. de. Uso da vinhaça no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1217-1222, 1999.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C. de C.; ROBAINA, C. R. P.; LAURANI, R. A. Produções agrícola e industrial de cana-de-açúcar submetida a doses de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 145 – 150, 2002.

PENATTI, C. P; DONZELLI, J.L. **Uso da torta de filtro em cana-de-açúcar**. Piracicaba, 7 p. 1991.

PEREIRA, J. P. ALVARENGA, E. M.; TOSTES, J. R. P.; FONTES, L. E. F. Efeito da adição de diferentes dosagens de vinhaça a um latossolo vermelho-amarelo distrófico na germinação e vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 14, n. 2, p. 147-150, 1992.

PEREIRA, Jr.; 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-DF, v.30, n.1, p. 43-48, 1995.

PIACENTE, F. J. **Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental: o caso das usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 2005. 181f.. Dissertação (Mestrado – Desenvolvimento Econômico) – UNICAMP, Campinas, 2005.

PRASAD, M. Response of sugarcane to filter press mud and N, P and K fertilizers. I. Effect on sugarcane yield and sucrose content. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 539-543, 1976.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: IAC, 2000. 111 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: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAMALHO, J. F. G. P.; SOBRINHO, N. M. B. do A. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Revista Floresta e Ambiente**, V. 8, n.1, p.120 - 129, 2001.

RIVERA-PINEDA, P. A. **Características químicas do solo e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar, em resposta a aplicação de corretivos e fertilizantes**. 1994. 72f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1994.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

RODELLA, A. A.; SILVA, L. C. F. da; FILHO, J. O. Effects of filter cake application on sugar cane yield. **Turrialba**, v. 40, n. 3, p. 323 – 362, 1990.

RODELLA, A. A.; FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos da sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar, **Brasil Açucareiro**, v.90, p. 380-387, 1977.

ROSSETO, R; DIAS, F. L. F. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões**. Encarte do Informações Agrônomicas, n. 110, junho de 2005. 6 p.

SALET, R. L. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto**. Porto Alegre, 1998. 109p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

- SAMBATTI, J. A.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S.; TORMENA, C. A. Estimativa da acidez potencial pelo método do pH SMP em solos da formação Caiuá: noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.2, p.257-264, 2003.
- SANADA, C. T. N. et al. Utilization of soybean vinasse for a-galactosidade production, **Elsevier** (Food Research International), n. 42, p. 476-483, 2009.
- SANTOS, D. H. dos. **Adubação fosfatada no plantio da cana-de-açúcar a partir de torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. 2009. 36 f. Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Produção Vegetal) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2009.
- SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org). **Atualização da produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba/SP: Editora Livro Ceres, 2006. 415 p.
- SENGIK, E.; CANO, M.A.O.; SILVA, C. C.; RIBEIRO, A. C. Efeitos da vinhaça sobre o crescimento do sorgo granífero. In.: Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias. **Anuário CCA** 1995/1996, p. 163-166. 1996.
- SILVA, G. M. de A. Influencia da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 317-332.
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.
- SLATTERY, W. J.; RIDLEY, A. M.; WINDSOR, S. M. Ash alkalinity of animal and plant products. **Australian journal of Experimental Agriculture**, v. 31, p. 321 – 324. 1991.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO; E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- STAUT, L. A. **Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar**, 2006. Disponível:<http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/CanaSolo/index.htm>. Acesso em: 7/2/2011
- TASSO JÚNIOR, L. C. et al. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 276-283, 2007.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

UDOP – União dos produtores de Bioenergia. **Subprodutos da cana se tornaram fonte de receita.** Disponível em:<<http://www.udop.com.br>>. Acesso em: abr. 2010.

UNICA - **União das Indústrias de Cana-de-açúcar.** Disponível em: <<http://www.unica.com.br/> > acesso em: nov. 2010.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Departamento de Tecnologia. **Termo de referência para o workshop tecnológico - Vinhaça.** Jaboticabal, p. 1-14, 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. Centro de ciências agrárias. Departamento de biotecnologia vegetal. Programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar. **Variedade RB.** São Carlos, 2008. 31 p.

USGS - **Serviço Geológico dos Estados Unidos.** Disponível em:<<http://www.usgs.gov>>. Acesso em: abr. 2010.

VAN RAIJ, B. Uso do gesso na agricultura. In: **Informações Agronômicas.** IPNI. n. 117, p 13-15, 2007.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, A. J. N.; OLIVEIRA, V. S.; SILVA, Y. J. A. B. Limites de consistência e propriedades químicas de um latossolo amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa-MG, vol.34, p. 639-648, 2010.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar.** Encarte Informações Agronômicas, n. 97, 2002. 16 p.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 32, p. 2297-2305, 2008.

YAMADA, T., ABDALLA, S.R.S. **Fósforo na agricultura brasileira.** Piracicaba, Potafos, 2004. 726p.

ZORATTO, A. C. **Principais impactos da cana-de-açúcar.** In: II Fórum Ambiental da Alta Paulista, 2006. ANAP, Tupã, p 1-18, 2006.