



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR, COM A CONSERVAÇÃO DO
PALHIÇO E APLICAÇÕES DE TORTA DE FILTRO E VINHAÇA**

GILBERTO LEITE DA SILVA JR.

Ilha Solteira – SP

Agosto - 2011

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR, COM A CONSERVAÇÃO DO
PALHIÇO E APLICAÇÕES DE TORTA DE FILTRO E VINHAÇA**

GILBERTO LEITE DA SILVA JR.

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marlene Cristina Alves

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia – UNESP, Campus de Ilha,
para a obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção.

Ilha Solteira – SP

Agosto - 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

S586a

Silva Junior, Gilberto Leite da.

Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar, com a conservação do palhizo e aplicações de torta de filtro e vinhaça / Gilberto Leite da Silva Junior. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2011
58 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2011

Orientador: Marlene Cristina Alves

Inclui bibliografia

1. Qualidade físico-química do solo. 2. Matéria orgânica. 3. Subprodutos.
4. Cana-de-açúcar. 5. Solos-Manejo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR, COM A CONSERVAÇÃO DO PALHIÇO E APLICAÇÕES DE TORTA DE FILTRO E VINHAÇA

AUTOR: GILBERTO LEITE DA SILVA JUNIOR

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JOLIMAR ANTONIO SCHIAVO
Departamento de Solos / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Data da realização: 12 de agosto de 2011.

OFEREÇO

À família, amigos e companheiros de trabalho, que sempre me ampararam e incentivaram no cumprimento dos meus objetivos.

DEDICO

Aos meus pais, Gilberto e Celeste, pela dedicação, apoio e incentivo, a Elaine pela compreensão e apoio e a minha noiva Fernanda, pelo amor, carinho e força.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pela oportunidade de crescimento, aprendizagem e evolução durante os anos de Faculdade e por chegar até aqui.

À minha família. Aos meus pais, Gilberto Leite da Silva e Celeste Dinis Dias, por todo apoio, dedicação, confiança, pelos ensinamentos e pelo carinho em todos os momentos dessa trajetória.

À Elaine, pela dedicação e compreensão. Aos meus irmãos Matheus, Luana, Priscila e Tatiana, pelo carinho, companheirismo e incentivo.

À minha noiva Fernanda, por todo carinho, amor e afeto nos momentos difíceis.

Aos meus sogros, Leonilda Garcia dos Santos e José Carlos Garcia dos Santos, pela confiança e incentivo, e as minhas cunhadas, Juliana e Ana Paula, também pela confiança e carinho.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, que possibilitou a realização desse trabalho e concretização de um objetivo.

À Professora Dra. Marlene Cristina Alves, pela paciência, exemplo de profissional, apoio, orientação na condução deste trabalho e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao professor Dr. Marcelo Andreotti pelo apoio e experiências nos trabalhos de campo.

Aos companheiros do laboratório de física do solo, em especial os funcionários: Sr. Valdivino dos Santos e Jean Fernando dos Santos Sousa, pelo auxílio na coleta dos dados e companheirismo.

Aos meus amigos e companheiros de curso: Sebastião, Otton, Leandro Rebuá, José Alexandre, Flávio Dalchiavon, Stefan e Mariana Durigan, pelo apoio no desenvolvimento do trabalho e pelos momentos de descontração.

À todos aqueles que me apoiaram no decorrer deste curso, que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho.

À Pioneiros Bioenergia S/A e Usina Da Mata pela oportunidade da realização do trabalho e ampliação dos conhecimentos técnicos.

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR, COM A CONSERVAÇÃO DO PALHIÇO E APLICAÇÕES DE TORTA DE FILTRO E VINHAÇA

Autor: Gilberto Leite da Silva Júnior

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marlene Cristina Alves

RESUMO

Com o aumento das áreas onde o canavial é colhido sem a queima prévia, novos estudos se fazem necessários para medir as alterações que poderão ocorrer no ambiente de adoção dessa prática, associando a decomposição do palhiço da cana-de-açúcar juntamente com o uso de subprodutos agroindustriais. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do uso ou não de vinhaça, palhiço e torta de filtro sobre indicadores da qualidade física e química de um Latossolo Vermelho, cultivado com cana-de-açúcar, no município de Sud Mennucci, SP. Para isso foram testados cinco tratamentos: solo descoberto e sem aplicação de resíduos (sem preservação do palhiço); solo com preservação do palhiço e sem aplicação de resíduos (vinhaça e torta de filtro); solo com preservação do palhiço e aplicação de vinhaça; solo com preservação do palhiço e aplicação de torta de filtro; solo com preservação do palhiço e aplicações de vinhaça e torta de filtro. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com cinco repetições. Foram avaliados os atributos físicos: porosidade do solo; granulometria, densidade do solo; distribuição e estabilidade dos agregados em água e, químicos: pH, fósforo, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio e, calculadas a soma de bases e saturação por bases, nas camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Os resultados foram analisados efetuando-se a variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram avaliadas também a biometria e qualidade tecnológica pré-colheita da cultura da cana soca. A aplicação de vinhaça e torta de filtro sobre o palhiço, em primeira soca, não influenciou nos atributos físicos do solo e nem o comprimento, número e massa de colmos e qualidade tecnológica dos mesmos; a qualidade química do solo em estudo foi influenciada pela aplicação da vinhaça e torta de filtro sobre o palhiço, melhorando apenas os teores de fósforo e potássio; incrementos nos teores de fósforo e potássio foram verificados até a camada de 0,20 m de solo; a presença ou ausência de palhiço não influenciou os atributos químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar em primeira soca. Não houve efeito do uso ou não da vinhaça e/ou torta de filtro combinadas com a presença ou ausência do palhiço nos atributos físicos do solo em cana soca (1º ciclo).

Palavras-chave: Qualidade físico-química do solo. Matéria orgânica. Subprodutos. *Saccharum*. Manejo do solo.

**PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF A RED LATOSOL
CULTIVATED WITH SUGAR CANE, WITH THE STRAW CONSERVATION
AND APPLICATIONS OF FILTER CAKE AND VINASSE**

Author: Gilberto Leite da Silva Júnior

Adviser: Prof^a. Dr^a. Marlene Cristina Alves

SUMMARY

The increase of the areas where sugarcane is harvested without prior burning further studies are needed to measure the changes that can occur due to the adoption of these practices involving straw sugar cane decomposition and the use of agroindustrial subproducts. The aim of this work was to evaluate the physical and chemical influence of using vinasse, straw and filter cake on the chemical quality of a Red Latosol (Oxisol) cultivated with sugar cane, located at Sud Mennucci city, São Paulo, Brazil. Five treatments were tested: bare soil without waste application and preservation of straw; soil and straw preservation without waste application (vinasse and filter cake); soil and straw preservation with vinasse application; soil with straw preservation and filter cake application; soil and straw preservation with vinasse and filter cake application. Randomized blocks, with five replications, were used as experimental design. The physical and chemical attributes were evaluated and submitted to ANOVA and Tukey test at 5% probability. The physical attributes were: soil porosity, particle size distribution, soil bulk density, distribution and aggregate stability in water, and chemical were: pH, P, organic matter, cation exchange capacity, K, Ca, Mg, H+Al, Al, sum of bases and bases saturation in the layers from 0 to 0.10 m; 0.10 to 0.20 and 0.20 to 0.40 m. Were also evaluated biometrics technology and quality pre-harvest sugar cane second cutting. The application of vinasse and filter cake on straw, about the second cutting, did not influence the physical attributes of the soil or the length, number and mass of stems and technological quality of the same, the quality of soil under study was influenced by the application vinasse and filter cake on straw, just improving the levels of phosphorus and potassium increases in phosphorus and potassium were found to 0.20 m depth of soil, the presence or absence straw did not influence the chemical attributes soil cultivated with sugar cane in second cutting. There was no effect on whether or not the vinasse and/or filter cake combined with the presence or absence of straw in the physical attributes of soil in sugar cane second cutting (1st cycle).

Key words: Physical and chemical soil quality. Organic matter. Subproducts. *Saccharum*.
Soil management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Fazenda Alvorada e delimitação do talhão onde foi realizado o experimento.	20
Figura 2 - Mapa de caracterização dos talhões de cana-de-açúcar da Fazenda Alvorada, localizada no município de Sud Mennucci, SP.	21
Figura 3 - Precipitação pluvial e temperaturas registradas durante o período de condução do experimento.	21
Figura 4 - Croqui da área experimental ilustrando a disposição das parcelas e tratamentos.	24
Figura 5 - Detalhe da área experimental em julho de 2009.....	25
Figura 6 - Detalhe da parcela com a remoção do palhiço, em julho de 2009.	25
Figura 7 - Detalhe do material utilizado na aplicação da torta-de-filtro nas parcelas.	26
Figura 8 - Detalhe da aplicação da torta-de-filtro na parcela.	28
Figura 9 - Detalhe da cobertura da parcela após a aplicação da torta-de-filtro.....	28
Figura 10 - Detalhe da aplicação de vinhaça na parcela.	29
Figura 11 - Detalhe da vista da cobertura vegetal da parcela após a aplicação da vinhaça.	29
Figura 12 - Detalhe do mini infiltrômetro de disco.	31
Figura 13 - Detalhe da amostragem de solo com auxílio do trado de rosca.	32
Figura 14 - Detalhe da pesagem dos feixes com os colmos.....	33
Figura 15 - Detalhe da coleta de colmos para avaliação da biometria e análise tecnológica.	34
Figura 16 - Detalhe da contagem e identificação dos feixes de colmos de cada parcela.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição do tamanho de partículas do Latossolo Vermelho distrófico estudado, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, município de Sud Menucci, SP.....	22
Tabela 2 - Características químicas do solo antes da implantação do experimento no ano de 2008.....	23
Tabela 3 - Caracterização química da vinhaça utilizada no experimento.....	26
Tabela 4 - Caracterização química da torta de filtro utilizada no experimento.....	27
Tabela 5 - Valores médios para a macroporosidade ($m^3 m^{-3}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e camadas de solo estudadas, Sud Menucci, SP, 2010.....	36
Tabela 6- Valores médios para a microporosidade ($m^3 m^{-3}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e camadas de solo estudadas, Sud Mennucci, SP, 2010.	37
Tabela 7 - Valores médios para a porosidade total ($m^3 m^{-3}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e camadas de solo estudadas, Sud Mennucci, SP, 2010.	38
Tabela 8 - Valores médios para a densidade do solo ($kg dm^{-3}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e nas camadas de solo estudadas, Sud Mennucci, SP, 2010.	39
Tabela 9 - Valores médios da porcentagem de estabilidade de agregados com diâmetros iniciais entre 6-4; 4-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; <0,25 mm e diâmetro médio ponderado DMP (mm), teste F, coeficiente e de variação (CV) e DMS, para os tratamentos estudados, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 m, Sud Mennucci, 2010.....	40
Tabela 10 - Valores médios de taxa constante de infiltração de água no solo ($cm h^{-1}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos estudados.	42
Tabela 11- Atributos químicos do solo: pH, teores de fósforo (P), matéria orgânica (MO), valores de capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al) e valores de soma de bases (SB), em função dos tratamentos nas camadas de solo de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Sud Mennucci, 2010.	45
Tabela 12- Características biométricas e tecnológicas da cana soca (1º ciclo) em função dos tratamentos. Sud Mennucci, SP, 2010.	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2.1 Manejo do solo cultivado com cana-de-açúcar.....	14
2.2 Influência do uso de resíduos agroindustriais no solo e produtividade da cultura da cana-de-açúcar	16
2.3 Influência da colheita mecanizada da cultura da cana-de-açúcar sobre os atributos físicos e químicos do solo e produtividade de colmos.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Localização e características da área experimental.....	20
3.2 Delineamento experimental e tratamentos	23
3.3 Análises do solo	30
3.3.1 Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total.....	30
3.3.2 Densidade do Solo.....	30
3.3.3 Estabilidade de agregados.....	30
3.3.4 Infiltração de água no solo.....	30
3.3.5 Análise química do solo	31
3.4. Análise das plantas.....	32
3.4.1 Número de perfilhos.....	32
3.4.2 Diâmetro médio dos colmos	32
3.4.3 Comprimento de colmos.....	33
3.4.4 Massa dos colmos	33
3.4.5 Análises tecnológicas	33
3.5 Análise estatística.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Atributos físicos	35
4.2 Atributos químicos.....	42
4.3 Características biométricas e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	46
5. CONCLUSÕES	50
6. REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola e econômico brasileiro e possui um futuro promissor no cenário mundial.

A Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2011) estimou, para a safra 2010/2011, uma área de 8.033 mil hectares de cana-de-açúcar colhida destinada à atividade sucroalcooleira, um aumento de 8,40% em relação à safra anterior. A previsão do total de cana que foi moída na safra 2010/2011 foi de 624.991 mil toneladas, com incremento de 3,40% em relação à safra 2009/2010 ou 20.477 mil toneladas a mais para a moagem nesta safra.

Com isso e devido à valorização do açúcar e do álcool, a cultura passou a ser mais rentável que outras, principalmente em relação à pecuária (cerca de 10% mais rentável), o que levou muitos pecuaristas da região noroeste do estado de São Paulo a substituir suas pastagens pela cana-de-açúcar (ROCHA, 2008).

Para a região Centro-Sul, que inclui os Estados da região Sudeste, Sul e Centro-Oeste, cuja participação está próxima de 90 % do total nacional, a previsão indica aumento de 42,8% na área de produção. A previsão é que do total de cana moída na safra 2010/2011, 46,2% serão destinadas a produção de açúcar, o que deve gerar 38.675,5 mil toneladas do produto, e 53,8% serão destinadas à produção de etanol, gerando um volume total de 27.669 milhões de litros (CONAB, 2011).

A expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, principalmente na região Centro-Sul, ocasionada pela saturação da cultura nas áreas tradicionais de cultivo e pelo aumento da demanda de etanol e açúcar no mercado nacional e internacional, vem sendo acompanhada pela intensa mecanização, principalmente pelas operações de colheita. Assim como em outras culturas, essa intensificação está associada à utilização de máquinas que exercem grandes pressões sobre o solo, podendo promover impactos diversos ao ambiente de produção, destacando o processo de compactação do solo (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1996).

A mecanização da colheita representa uma importante forma de se reduzir o custo de produção agrícola das usinas de cana-de-açúcar; entretanto, isso só é viável se estudos prévios de sustentabilidade da estrutura do solo dos diversos ambientes onde a cana-de-açúcar estiver implantada forem implementados, monitorando os possíveis impactos que as colhedoras podem causar ao solo.

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar intensificou-se na década de 80 como alternativa de substituição parcial da colheita manual, ainda queimando-se o canavial. Posteriormente, com leis da eliminação gradual da queima, a mecanização do corte tornou-se o uma tendência irreversível devido à inviabilidade do corte manual da cana crua. Portanto, a colheita mecanizada de cana crua, além dos inegáveis benefícios ecológicos, pode trazer resultados positivos também na produtividade da cana-de-açúcar. A interação entre os fatores químicos do solo (fertilidade), os físicos (disponibilidade de água, compactação, etc) e biológicos (atividade microbiana) em parte justifica o do sucesso da cana crua (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

Por outro lado a expansão de áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil tem gerado a cada ano várias discussões que busquem equilíbrio, ou seja, um balanço sustentável entre o homem e o ambiente, pois a cana é considerada uma monocultura e há certo preconceito pelo fato de que a agroindústria canavieira gera a cada ano grande quantidade de resíduos. Devido esse entrave busca-se cada vez mais minimizar os impactos ocasionados pela cultura, principalmente pelo reaproveitamento de seus resíduos.

Com o aumento das áreas onde o canavial é colhido sem a queima prévia, novos estudos se fazem necessários para medir as alterações que poderão ocorrer no ambiente de adoção deste sistema de produção, associando a decomposição do palhiço da cana-de-açúcar juntamente com o uso de subprodutos agroindustriais.

Surge, portanto, a necessidade de avaliações mais detalhadas da aplicação dos subprodutos agroindustriais (vinhaça e torta de filtro) sobre o palhiço mantido na cobertura do solo. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do uso ou não de vinhaça, palhiço e torta de filtro sobre os atributos físico e químico de um Latossolo Vermelho, cultivado com cana-de-açúcar, no município de Sud Mennucci, SP.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manejo do solo cultivado com cana-de-açúcar

Os Latossolos pertencem a uma classe de solos de suma importância, tendo em vista o seu potencial de produção e a extensão de áreas que ocupam no Brasil. Estabelecer sistemas de manejo que objetivem a sustentabilidade desses solos (SECCO et al., 2005), evitando a degradação de terras produtivas e avançando em aspectos específicos de qualidade dos solos são demandas que se relacionam com o aumento do conhecimento sobre a diferenciação de atributos dos solos nos seus respectivos ambientes naturais (GOMES et al., 2004).

Os Latossolos de textura média a grossa com elevados teores de areia assemelham-se aos Neossolos Quartzarênicos, sendo muito susceptíveis à erosão, requerendo tratos preservacionistas e manejo cuidadoso. Sistemas que preconizem a cobertura do solo e que melhorem os teores de matéria orgânica e o conseqüente aumento da retenção de água no solo devem ser adotados (SOUZA; LOBATO, 2004).

No noroeste do Estado de São Paulo os Latossolos são, na sua maioria, de textura média e, sendo esta região de expansão da cultura da cana-de-açúcar, tornam-se necessários estudos que venham contribuir para a geração de tecnologias adequadas para o manejo sustentável desses solos.

Rosseto et al. (2008) mencionaram que dessa forma as práticas conservacionistas e de baixo impacto ambiental estão sendo valorizadas na cultura da cana-de-açúcar não apenas pela maior consciência ambiental, mas também pelo alto custo dos insumos agrícolas. O setor sempre buscou eficiência e, atualmente, a racionalização do uso de fertilizantes e o uso de resíduos da própria agroindústria têm sido prioritários no manejo da cultura.

De acordo com Maule et al. (2001), é possível explorar ao máximo o local de produção e promover o melhor rendimento da cultura e conseqüentemente maior lucratividade ou competitividade para as agroindústrias.

A produção com tecnologia avançada e as características climáticas e de solo ideais para o plantio dessa cultura fazem com que o custo brasileiro de produção seja o menor (cerca de 50%) em relação aos seus concorrentes (NAPOLEÃO, 2007). Nos cenários atuais de necessidade de produção de energia limpa e redução da dependência do petróleo e de aumento da demanda por alimentos, o açúcar e o etanol produzidos a partir da cana-

de-açúcar têm obtido grande destaque no cenário econômico mundial (MAGALHÃES, 2010).

No manejo do solo cultivado com cana-de-açúcar, o uso de resíduos é uma prática que tem se mostrado viável. A utilização de resíduos na indústria sucroalcooleira é uma necessidade não só do ponto de vista ambiental, mas também uma forma de evitar desperdício de um material que pode vir a gerar lucros. Os subprodutos gerados na industrialização podem ser utilizados dentro de uma mesma cadeia de produção ou podem ser destinados aos cultivos de outras plantas. Dentre esses subprodutos, destacam-se a vinhaça, a torta de filtro, o bagaço e as cinzas provenientes da queima do bagaço em caldeiras (MAGALHÃES, 2010).

A vinhaça, também conhecida como vinhoto, é o principal subproduto da agroindústria canavieira. É um resíduo resultante da destilação do caldo de cana-de-açúcar no processo de fabricação de álcool, também pode originar-se como subproduto da produção de açúcar sendo eliminada no processo de cristalização do caldo da cana. No geral a vinhaça é rica em matéria orgânica e possui baixa concentração de nutrientes minerais como potássio, cálcio e enxofre, e possui uma concentração hidrogeniônica (pH) variando entre 3,7 e 5,0 (LUDOVICE, 1996). Para cada litro de álcool produzido em uma destilaria são gerados em média, entre 10 e 15 litros de vinhaça. Uma aparente solução para o descarte racional da vinhaça é o que atualmente chama-se de fertirrigação, ou seja, a utilização desse produto rico em matéria orgânica aplicada *in natura* em áreas de plantio e soca de cana.

Outro resíduo de grande importância é a torta de filtro, considerado um subproduto da agroindústria canavieira, obtido nos filtros rotativos após extração da sacarose residual da borra. Sua composição é variável, em função da variedade da cana, tipo de solo, maturação da cana, processo de clarificação do caldo e outros (ALMEIDA, 1994). Durante o processo de clarificação do caldo, a adição de produtos que auxiliam na floculação das impurezas pode aumentar o teor de alguns nutrientes, principalmente fósforo e cálcio na torta. Cerca de 30% do conteúdo total de fósforo aparece na forma orgânica e o nitrogênio predomina na forma protéica, propiciando lenta liberação desses elementos e conseqüentemente alto aproveitamento pelas plantas. Conforme Nardin (2007), a torta de filtro possui também altos valores de matéria orgânica e isso traz grandes benefícios ao solo e a cana-de-açúcar.

Também de grande importância tanto do ponto de vista da conservação do solo quanto para a melhoria de sua fertilidade, tem-se o palhiço (ou palha) que fica sobre o solo

após a operação da colheita mecanizada. Segundo Oliveira et al. (1999), com a colheita mecanizada o palhiço, formado pela folha seca, ponteiros e folhas verdes, pode permanecer depositados no solo e agir de maneira positiva na proteção, conservação e recuperação do solo. A palha resultante da colheita mecanizada da cana crua amortece a gota de chuva, reduzindo a erosão laminar e em sulcos (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

Na colheita da cana-de-açúcar, sem queima, uma cobertura de palhiço (palhada) de 10 a 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de material seco permanece na superfície do solo, o que corresponde de 40 a 100 kg ha⁻¹ de nutrientes (VITTI et al., 2008). Em áreas de reforma do canavial, nessas condições, a quantidade de resíduos orgânicos é ainda maior, uma vez que, além do palhiço, existirão a parte aérea e o sistema radicular da soqueira velha dessecada, aumentando a quantidade de matéria orgânica e de nutrientes no solo (LUCA et al., 2008).

De acordo com Rossetto et al. (2008), adições de matéria orgânica e nutrientes pela manutenção do palhiço e do uso de resíduos, como torta de filtro e vinhaça, são alguns dos fatores que tornam o ambiente de produção mais favorável à cultura, proporcionando aumento médio de 10 a 15% na produtividade por interferir diretamente nos atributos químicos e físicos do solo. Os materiais orgânicos fornecem nutrientes e, principalmente, condicionam o solo, melhorando sua capacidade de retenção de água e suas características estruturais, inclusive favorecendo a absorção dos nutrientes minerais aplicados (RAIJ et al., 1996).

2.2 Influência do uso de resíduos agroindustriais no solo e produtividade da cultura da cana-de-açúcar

Dentre os subprodutos gerados na industrialização da cana, destacam-se a vinhaça e a torta de filtro. Apesar de seus valores nutricionais serem conhecidos desde a década de 1950, sua utilização teve início apenas na década de 1970 e se intensificou em 1999, quando a mudança cambial e a elevação dos preços dos fertilizantes químicos encareceram a adubação e a questão ambiental ganhou mais espaço.

Orlando Filho et al., (1983) afirmaram que a utilização de resíduos da indústria, como a vinhaça e a torta de filtro, é rotina em muitas regiões canavieiras do país, com aumentos notórios na produção da cana-de-açúcar. A utilização de resíduos no solo deve ser conduzida no sentido de não só eliminar a sua nocividade, mas também tornar atraente o seu uso quer como fonte de nutrientes à cultura, quer como condicionadores do solo (GLÓRIA, 1992).

A preservação do palhiço e adição de vinhaça podem ser estratégias importantes, pois, além do efeito direto da preservação da matéria orgânica na forma de resíduos vegetais no solo, é possível identificar alguns benefícios ambientais e econômicos, tais como: a diminuição dos custos de renovação do canavial, decorrente de sua maior longevidade; a disposição de resíduos poluentes; a reciclagem de nutrientes, a diminuição da emissão de gases, fuligem e a redução de perdas de nutrientes, perdas estas atribuídas à queima do palhiço da cana-de-açúcar (CORTEZ et al., 1992).

Nas décadas de 50 e 60, o setor açucareiro apresentou grande avanço, estimulando práticas culturais que facilitassem o manejo e reduzissem o uso de mão-de-obra. O uso da vinhaça, como fonte de nutrientes, matéria orgânica e água, foi uma das grandes revoluções no manejo da cultura, pois esta se constitui no principal efluente das destilarias de álcool, (RESENDE et al., 2006).

A vinhaça (vinhoto, restilo ou calda da destilaria) é resultante da produção de álcool, após a fermentação do mosto e a destilação do vinho. Trata-se de um material com cerca de 2 a 6% de constituintes sólidos, onde se destaca a matéria orgânica, em maior quantidade. Em termos minerais apresenta quantidade apreciável de potássio e médios de cálcio e magnésio (ROSSETTO, 1987).

Silva et al. (2007) afirmaram que a aplicação de vinhaça pode melhorar a qualidade das características do solo como: elevação do pH; aumento da disponibilidade de alguns íons; aumento da capacidade de troca catiônica (CTC); aumento da capacidade de retenção de água e melhoria da estrutura física do solo. A vinhaça deve ser vista, também, como agente do aumento da população e atividade microbiana no solo.

A capacidade de reter maiores quantidades de água pode se tornar fator fundamental no desenvolvimento da cana-de-açúcar. Duruoha et al. (2001), demonstram que o maior teor de água aumentou o desenvolvimento radicular, principalmente o comprimento das raízes, na camada superior do solo, quando comparou-se um solo a 70% e a 100% da capacidade de campo, em solos arenosos. Contudo, em solos argilosos a mesma resposta não foi constatada.

Para atender o aumento da demanda por álcool e açúcar, mais áreas são plantadas e, conseqüentemente maiores volumes de resíduos (como a torta de filtro) são gerados. Estes podem ser utilizados na agricultura como fonte de nutrientes, reduzindo a contaminação ambiental e os custos com adubação. Segundo Alvarenga e Queiroz (2008), a torta de filtro e a vinhaça podem substituir adubos químicos e acarretar uma diminuição dos custos em torno de US\$ 60 por hectare. Cada tonelada de cana moída gera em torno de 40 kg de torta

de filtro (KORNDÖRFER, 2003) que é resultante da mistura do processo de clarificação do açúcar (lodo de decantação) com o bagaço moído.

Segundo Anjos et al., (2007), constataram que é viável a substituição da adubação química pela orgânica sem perdas na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos de colmos e de açúcar mascavo artesanal.

A adição da torta de filtro em conjunto com a vinhaça sobre o palhiço torna-se uma estratégia viável e benéfica para a recuperação, manutenção e aumento da qualidade química e físicas do solo que está sendo cultivado.

2.3 Influência da colheita mecanizada da cultura da cana-de-açúcar sobre os atributos físicos e químicos do solo e produtividade de colmos

A colheita mecanizada da cana, sem a queima prévia, resulta numa maior quantidade de matéria orgânica no solo, que pode contribuir para uma menor perda de água do solo, aumentar a reciclagem de nutrientes e elevar a quantidade de microorganismos existentes no solo (SEGATO et al., 2006).

A cana-de-açúcar é estabelecida em sulcos assim, tratores e colhedoras, quando da colheita mecanizada, trafegam freqüentemente na entrelinha da cultura. A pressão exercida pelas máquinas e implementos sobre o solo pode causar a compactação do mesmo. Como consequência, há alteração na densidade do solo decorrente da modificação da estrutura o que afeta as propriedades físico-hídricas fundamentais, como porosidade de aeração, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração, resultando, em última instância, no declínio da produtividade da lavoura (KLEIN; LIBARDI, 2002).

Segundo Milne e Haynes (2004), a incorporação de matéria orgânica, pode aumentar a porosidade do solo, ao mesmo tempo em que reduz a densidade e dissipam a energia de cargas aplicadas.

O manejo de colheita com queima, comumente utilizado para eliminar o grande volume de matéria seca no dossel da planta está sendo substituído pelo manejo de cana crua, caracterizado pelo uso de máquinas para realizar a colheita, o que evita a contaminação do ambiente e de centros urbanos e ainda traz maior eficiência e velocidade na operação (CARVALHO et al., 2011) .

Entretanto, observa-se uma intensa degradação da qualidade física do solo considerando-se que o tráfego desses equipamentos de forma repetitiva, induz a mudanças no comportamento das partículas dos agregados do solo, ocasionando a deterioração de sua

estrutura provocando, assim, o processo de compactação do solo (IAIA et al., 2006), fenômeno que se agrava quando o solo é trabalhado com um conteúdo de água elevado, inadequado para as atividades agrícolas (SILVA; CABEDA, 2006).

Segundo Carvalho et al. (2011), o palhiço encontrado na superfície resultou em aumento no teor de matéria orgânica, na formação, agregação e estabilidade de poros, diminuindo a porosidade total e consecutivo aumento na densidade do solo, principalmente na profundidade de 0,20-0,40 m.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área experimental

O trabalho foi realizado na Fazenda Alvorada (Figuras 1 e 2), localizada no município de Sud Mennucci, noroeste do estado de São Paulo, em uma área experimental da Usina Pioneiros Bioenergia S/A com latitude de 20°41'27" Sul e a uma longitude de 50°55'26" oeste, estando a uma altitude de 386 metros. O clima da região, classificado de acordo com o Sistema Internacional de Köppen, é o tropical úmido Aw, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (CENTURION, 1982).

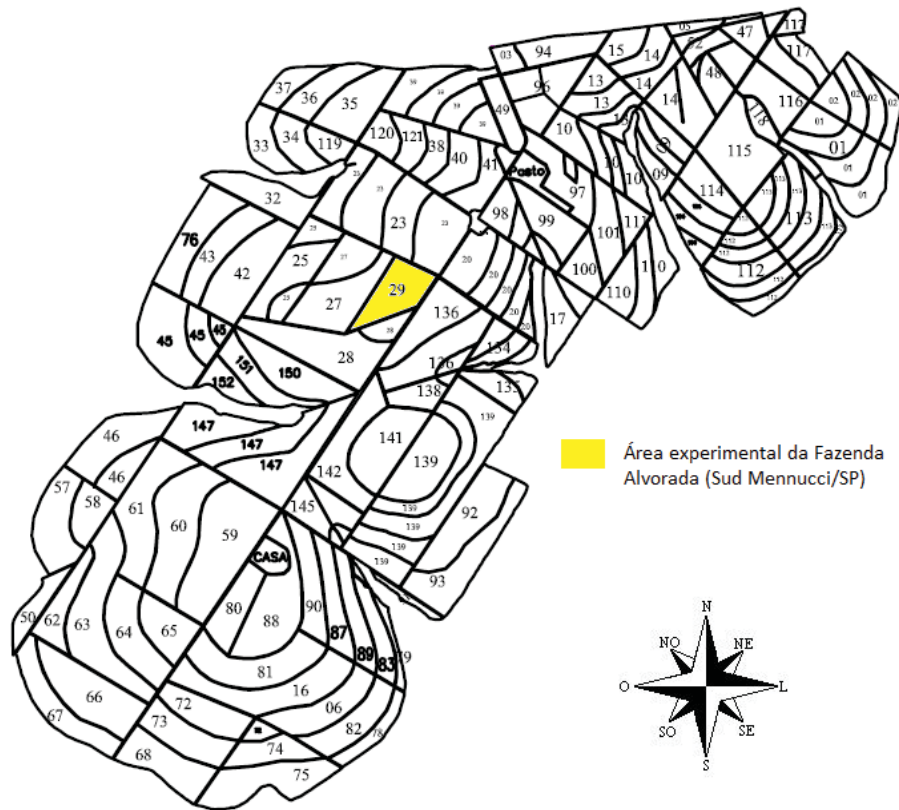
Na Figura 3 encontram-se os dados de temperatura média e precipitação registrados no período de condução do experimento, no ano de 2009 e 2010. As temperaturas médias da região variam entre 20,5° C em julho e 26,2° C em fevereiro e, as precipitações médias mensais variam de 20 mm em agosto a 254 mm em janeiro (MACHADO et al., 2007). Apresenta médias anuais de temperatura, precipitação pluvial e umidade relativa de: 24,5 °C; 1.232 mm e 64,8 %, respectivamente (HERNANDEZ et al., 1995).

Figura 1 - Localização da Fazenda Alvorada e delimitação do talhão onde foi realizado o experimento.



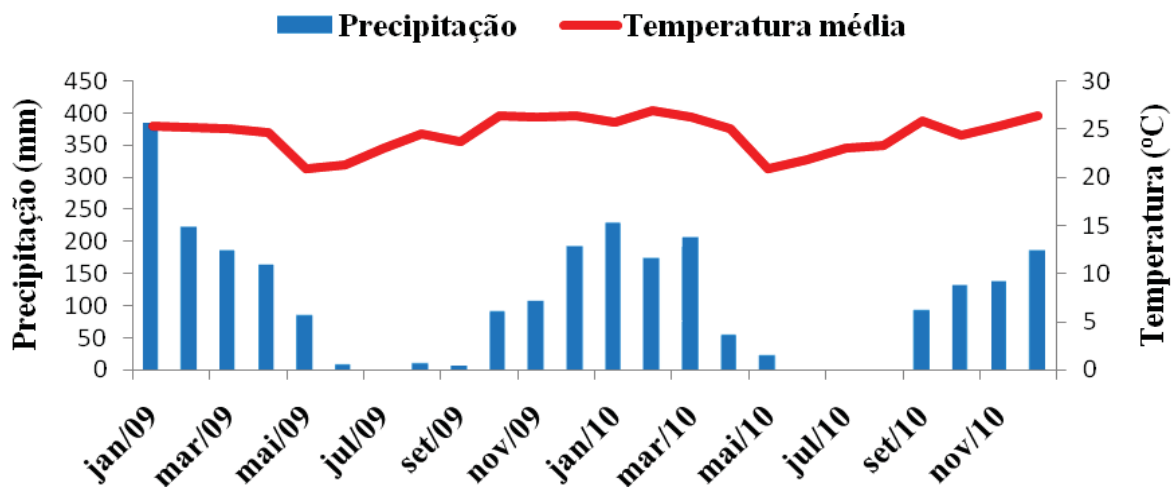
Fonte: <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=w1>

Figura 2 - Mapa de caracterização dos talhões de cana-de-açúcar da Fazenda Alvorada, localizada no município de Sud Mennucci, SP.



Fonte: Usina Pioneiros (2011).

Figura 3 - Precipitação pluvial e temperaturas registradas durante o período de condução do experimento.



Fonte: Silva Junior (2011).

O solo da área em estudo é um Latossolo Vermelho distrófico, muito profundo, textura Areia Franca na camada superficial (Tabela 1) (OLIVEIRA et al., 1999) e apresenta um histórico de 27 anos de exploração com cana-de-açúcar, onde a associação de queima do canavial antes da colheita, intenso revolvimento do solo na reforma do canavial mais elevado fluxo de máquinas agrícolas vêm proporcionando um histórico da baixa produtividade nos talhões cultivados. Na Tabela 2 Consta a caracterização química do solo antes da implantação do experimento.

Em outubro de 2007 foi realizado o preparo do solo na área e o plantio da espécie *Crotalaria spectabilis* como adubo verde. O processo de preparo do solo foi conduzido com duas gradagens aradora para incorporar os restos da cultura anterior (área com alta infestação de plantas daninhas), uma gradagem intermediária e uma niveladora, semeadura da leguminosa e, por fim, a incorporação da semente com a grade niveladora. Para realizar o plantio da cana-de-açúcar, foi passado o rolo-faca para efetuar a quebra e o corte da leguminosa, uma gradagem intermediária e gradagem niveladora, preparando o terreno para a sulcação.

Tabela 1 - Distribuição do tamanho de partículas do Latossolo Vermelho distrófico estudado, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, município de Sud Menucci, SP.

Blocos	Argila	Areia	Silte
	-----(g kg^{-1})-----		
Camada 0 - 0,10 m			
B1	111	847	42
B2	112	849	39
B3	96	863	41
B4	102	857	41
B5	92	866	42
Camada 0,10 - 0,20 m			
B1	115	843	42
B2	119	841	40
B3	99	860	41
B4	100	860	40
B5	93	865	42
Camada 0,20 - 0,40 m			
B1	132	825	43
B2	135	824	41
B3	131	830	39
B4	147	814	39
B5	120	843	37

Tabela 2 - Características químicas do solo antes da implantação do experimento no ano de 2008.

Camada (m)	pH*	S mgdm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	P** mgdm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al	S.B.	CTC	V %	m
0-0,20	5,7	3,9	10,4	6,2	1,0	13	3	12	0	17,0	29,0	58,6	0
0,20-0,40	5,0	5,8	7,8	3,9	0,8	10	2	15	0	12,8	27,8	46,0	0

* em CaCl₂; ** resina

A variedade de cana-de-açúcar utilizada na área experimental foi a RB 855035, considerada precoce e rústica, apresentando bom desenvolvimento em solos com ambientes desfavoráveis. No plantio semi-mecanizado da área experimental, realizado em abril de 2008, foi feita a correção do solo utilizando 2,24 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 1 t ha⁻¹ de gesso e 0,49 t ha⁻¹ de fosfato em área total. Na adubação de plantio foram aplicados 40 t ha⁻¹ de torta de filtro na abertura do sulco e 598 kg ha⁻¹ da fórmula 00-20-20 + 0,2% B + 0,3% Cu + 0,3% Zn da fórmula, aplicados no fundo do sulco. A colheita foi realizada entre junho e julho de 2009, sendo utilizado o método de colheita mecanizada sem a queima prévia do canavial.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Para a implantação do experimento em cana soca, utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, composto por cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas (Figura 4). Cada parcela foi formada por seis linhas de plantio, com espaçamento de 1,40 m entre linhas e com comprimento de 10 m, apresentando dimensões de 8,4 m x 10 m, totalizando 84 m²/parcela. As parcelas foram separadas com espaçamentos laterais de duas linhas de plantio (2,80 m) e 2 m de intervalo frontal, para evitar a possível contaminação entre as parcelas durante as aplicações dos resíduos.

Os tratamentos foram constituídos por:

T- solo descoberto e sem aplicação de resíduos (sem preservação do palhicho);

P- solo com preservação do palhicho e sem aplicação de resíduos (vinhaça e torta de filtro);

PV- solo com preservação do palhicho e aplicação de vinhaça;

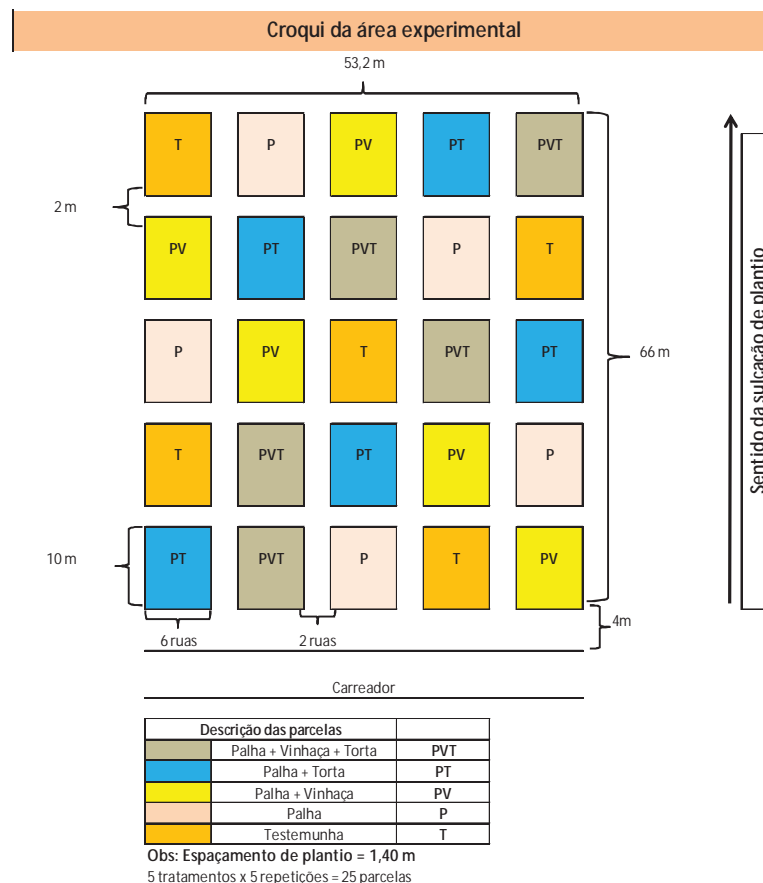
PT- solo com preservação do palhicho e aplicação de torta de filtro;

PVT- solo com preservação do palhicho e aplicações de vinhaça e torta de filtro.

O experimento foi implantado após a colheita mecanizada da cana planta, onde a implantação dos tratamentos na primeira soca foi realizada da seguinte maneira: duas aplicações de vinhaça nos tratamentos PV e PVT, sendo a primeira aplicação aos 30 após a colheita e a segunda aos 90 dias após a colheita da área, com a dose de $130 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça por aplicação totalizando $260 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sendo que as doses foi baseada nas recomendações da CETESB. No tratamento PVT a aplicação da vinhaça foi feita após a aplicação da torta de filtro. Em relação à torta de filtro, foi realizada apenas uma aplicação nos tratamentos PT e PVT, com a dose de 20 t ha^{-1} aos 20 dias após a colheita da área experimental.

A vinhaça foi aplicada em toda a área das parcelas nos tratamentos PV e PVT utilizando-se um tanque Jacto de 2000 L, acoplado a um trator Massey Ferguson® 275. A torta de filtro foi aplicada manualmente, a lança, nas entre linhas das parcelas nos tratamentos PT e PVT. Na Figura 5 consta o detalhe da área experimental na implantação da pesquisa e na Figura 6 fica ilustrado a parcela com a remoção do palhicho.

Figura 4 - Croqui da área experimental ilustrando a disposição das parcelas e tratamentos.



Fonte: Silva Junior (2009).

Figura 5 - Detalhe da área experimental em julho de 2009.



Fonte: Silva Junior (2009).

Figura 6 - Detalhe da parcela com a remoção do palhicho, em julho de 2009.



Fonte: Silva Junior (2009).

Nas Tabelas 3 e 4 tem-se os resultados da caracterização química da vinhaça e da torta de filtro utilizadas e, nas Figuras 7 a 11 detalhes da torta de filtro utilizada, forma de aplicação da torta, da vinhaça e vista da superfície após a aplicação dos subprodutos agroindustriais.

Tabela 3 - Caracterização química da vinhaça utilizada no experimento.

Características químicas	Tanque 01		Tanque 02		Médias
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1,20	1,20	1,30	1,40	1,27
Dureza Total (mg L^{-1})	0,00	0,00	2.020,00	2.000,00	1.005,00
Nitrogênio Amônio (mg L^{-1})	11,00	10,50	34,50	33,20	22,30
Nitrogênio Nitrato (mg L^{-1})	90,00	88,20	230,00	228,10	159,07
Nitrogênio Nitrito (mg L^{-1})	8,00	8,01	26,00	24,12	16,53
pH	4,20	4,10	4,40	4,30	4,25
Sódio (mg L^{-1})	42,00	42,13	200,00	196,11	120,06
Sulfato (mg L^{-1})	1.121,00	1.074,00	2.300,00	2.306,50	1.700,37
D.B.O. (mg L^{-1})	13.450,00	13.565,00	26.500,00	25.987,00	19.875,50
D.Q.O. (mg L^{-1})	27.350,00	27.330,00	53.000,00	52.000,00	39.920,00
Potássio (mg L^{-1})	1.935,00	1.893,00	3.643,00	3.625,36	2.774,09
Nitrogênio de Kjeldahl (mg L^{-1})	207,00	206,10	430,00	422,00	316,27
Fosfato (mg L^{-1})	62,00	61,20	95,00	96,32	78,63
Resíduo Não Filtrável Total (mgL^{-1})	13.000,00	1.338,00	18.000	18.350,00	12.672,00
Cálcio (mg L^{-1})	515,00	516,00	649,00	650,23	582,56
Magnésio (mg L^{-1})	263,00	263,20	361,00	365,10	313,07

Figura 7 - Detalhe do material utilizado na aplicação da torta-de-filtro nas parcelas.



Fonte: Silva Junior (2009).

Tabela 4 - Caracterização química da torta de filtro utilizada no experimento.

Características químicas	Amostra 01		Amostra 02		Amostra 03	
	umidade natural	base seca (110 °C)	umidade natural	base seca (110 °C)	umidade natural	base seca (110 °C)
pH em CaCl ₂ 0,01M	6,4	–	6,5	–	6,8	–
Densidade (kg dm ⁻³)	0,72	–	0,83	–	0,62	–
Umidade perdida a 60 - 65 °C (%)	50,84	–	46,78	–	48,38	–
Umidade perdida entre 65 e 110°C (%)	0,59	–	0,61	–	0,69	–
Umidade total (%)	51,43	0,00	47,39	0,00	49,07	0,00
Inertes	0,00	–	0,00	–	0,00	–
Matéria orgânica total (combustão) (%)	9,78	20,14	8,54	16,23	9,13	17,93
Matéria orgânica compostável (%)	9,50	19,56	8,00	15,21	8,31	16,32
Matéria org. resistente à compostagem (%)	0,28	0,58	0,54	1,03	0,82	1,61
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	5,43	11,18	4,75	9,03	5,07	9,95
Carbono orgânico (%)	5,28	10,87	4,75	8,46	4,62	9,07
Resíduo mineral total (%)	38,79	79,86	44,07	83,77	41,80	82,07
Resíduo mineral insolúvel (%)	35,29	72,66	40,30	76,60	38,30	75,20
Resíduo mineral solúvel (%)	3,50	7,21	3,77	7,17	3,50	6,87
Nitrogênio total (%)	0,21	0,43	0,37	0,70	0,39	0,77
Fósforo (P ₂ O ₅) total (%)	0,32	0,66	0,28	0,53	0,27	0,53
Potássio (K ₂ O) total (%)	0,04	0,08	0,03	0,06	0,03	0,06
Cálcio (Ca) total (%)	0,54	1,11	0,49	0,93	0,50	0,98
Magnésio (Mg) total (%)	0,06	0,12	0,06	0,11	0,06	0,12
Enxofre (S) total (%)	0,04	0,08	0,03	0,06	0,03	0,06
Relação C/N (C total e N total)	26/1	26/1	13/1	13/1	13/1	13/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	26/1	26/1	12/1	12/1	12/1	12/1
Cobre (Cu) total (mg kg ⁻¹)	10	21	7	13	8	16
Manganês (Mn) total (mg kg ⁻¹)	217	447	195	371	206	404
Zinco (Zn) total (mg kg ⁻¹)	48	99	37	70	41	81
Ferro (Fe) total (mg kg ⁻¹)	6.596	13.578	7.226	13.735	6.718	13.191
Boro (B) total (mg kg ⁻¹)	1	2	1	2	1	2
Sódio (Na) total (mg kg ⁻¹)	73	150	79	150	77	151

Figura 8 - Detalhe da aplicação da torta-de-filtro na parcela.



Fonte: Silva Junior (2009).

Figura 9 - Detalhe da cobertura da parcela após a aplicação da torta-de-filtro.



Fonte: Silva Junior (2009).

Figura 10 - Detalhe da aplicação de vinhaça na parcela.



Fonte: Silva Junior (2009).

Figura 11 - Detalhe da vista da cobertura vegetal da parcela após a aplicação da vinhaça.



Fonte: Silva Junior (2009).

3.3 Análises do solo

3.3.1 Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade total

Foram coletadas amostras, na entrelinha, em três pontos por parcela, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, para as análises físicas do solo, em fevereiro de 2010.

O método empregado para a determinação destes atributos foi o do “anel volumétrico” para a porosidade total; o da “mesa de tensão” para a microporosidade, sendo as amostras indeformadas saturadas e colocadas sobre a mesa de tensão, onde foram submetidas a uma tensão de 6 kPa, e posteriormente pesadas e colocadas em estufa a 105°C até atingir massa constante; e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA, 1997).

3.3.2 Densidade do Solo

As mesmas amostras utilizadas para a determinação da porosidade do solo permitiram a determinação da densidade do solo, pelo método do “anel volumétrico” (EMBRAPA, 1997).

3.3.3 Estabilidade de agregados

Foram coletadas, na entrelinha, amostras em três pontos por parcela nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Para avaliação da estabilidade de agregados utilizou-se metodologia de Angers e Mehuys (2000) e, os resultados foram representados pela porcentagem de distribuição do tamanho de agregados e pelo diâmetro médio ponderado (DMP). As classes de diâmetro de agregados estudadas foram as compreendidas entre os diâmetros de 6-4 mm; 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm, 0,5-0,25 mm e <0,25 mm.

3.3.4 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo foi avaliada na entelinha da cultura empregando-se a metodologia de Zhang (1997), onde se utilizou um mini infiltrômetro de disco. Foram avaliados três pontos por parcela. O infiltrômetro (Figura 12) foi colocado sobre o solo, sob uma camada fina de areia para garantir bom contato hidráulico entre o disco e o solo. As leituras foram realizadas de 30 em 30 segundos, até obter infiltração constante, sendo o mini infiltrômetro ajustado para uma sucção h_0 igual a 2 cm.

O processo de infiltração a partir do infiltrômetro de disco, para qualquer tempo de infiltração, é descrito por um modelo proposto por Zhang (1997):

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t}$$

Onde, C_1 (cm s^{-1}) e C_2 ($\text{cm s}^{-0,5}$) são parâmetros relacionados à condutividade hidráulica $K(h_0)$ do solo e à sortividade $S(h_0)$, e I é a infiltração acumulada (cm).

Figura 12 - Detalhe do mini infiltrômetro de disco.



Fonte: Silva Junior (2009).

3.3.5 Análise química do solo

As amostras foram obtidas com o auxílio de trado de rosca (Figura 13) nas mesmas camadas de solo e datas em que foram coletadas as amostras para análise física do solo. Foram coletadas amostras compostas advindas de cinco amostras simples por parcela, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, para a caracterização dos atributos químicos do solo. As análises químicas do solo tiveram como base a metodologia descrita por Raij e Quaggio (1983) em que foram avaliados os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio pelo método de extração com resina trocadora de íons. O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método colorimétrico e o pH, em cloreto de cálcio, além da acidez

potencial (hidrogênio + alumínio) a pH 7,0. A partir desses resultados, foram calculadas as somas de bases ($SB = Ca + Mg + K$), capacidade de troca catiônica ($CTC = SB + (H + Al)$) e saturação por bases ($V\% = (100 \times SB) / CTC$).

Figura 13 - Detalhe da amostragem de solo com auxílio do trado de rosca.



Fonte: Silva Junior (2009).

3.4. Análise das plantas

3.4.1 Número de perfilhos

Realizou-se a quantificação do número de perfilhos no dia 15/08/2010, pela contagem direta dos mesmos em 1,0 metro na área central das quatro linhas de cana correspondente a área útil da parcela.

3.4.2 Diâmetro médio dos colmos

Para a avaliação do diâmetro médio de colmos foram coletados os dados no dia 15/08/2010. Foram cortados todos os colmos presentes em 1,0 metro na área central das quatro linhas de cana correspondente a área útil da parcela. Com auxílio do paquímetro, foram medidos os diâmetros de cinco colmos coletados aleatoriamente no montante cortado em cada parcela, no quarto entrenó da região basal quinto entrenó da região apical e posteriormente, feito o cálculo da média de diâmetro médio para cada parcela.

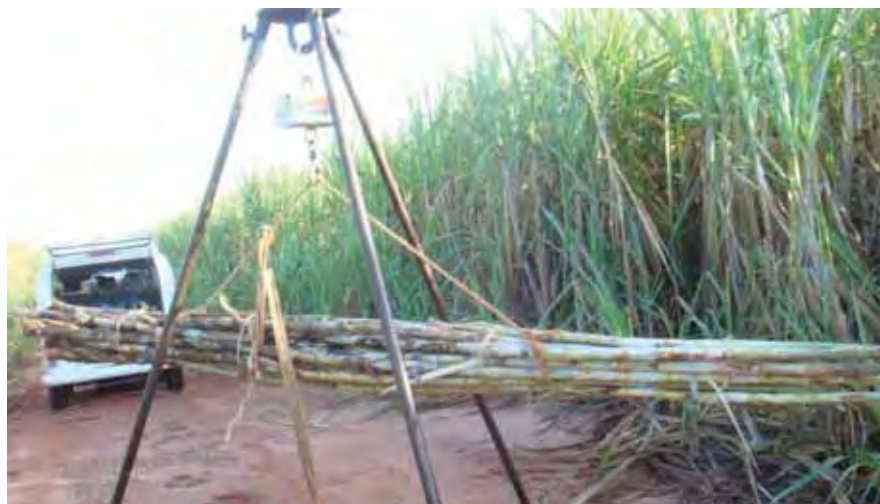
3.4.3 Comprimento de colmos

As avaliações da altura de colmos foram realizadas na mesma época que foram coletadas as amostras para o diâmetro de colmos. Com o auxílio de trena, foram medidos os comprimentos médios dos cinco colmos coletados aleatoriamente no montante cortados em cada parcela, obtidos entre o ponto de corte e o ponto de quebra do palmito e posteriormente, feito o cálculo da média de comprimentos de colmos para cada parcela.

3.4.4 Massa dos colmos

Foram cortados todos os colmos presentes em 1,0 metro na área central das quatro linhas de cana correspondente a área útil da parcela, então, o feixe foi amarrado identificado e obtida sua massa numa balança (Figura 14).

Figura 14 - Detalhe da pesagem dos feixes com os colmos.



Fonte: Silva Junior (2009).

3.4.5 Análises tecnológicas

Em cada amostragem, os mesmos feixes retirados para biometria foram encaminhados ao laboratório para avaliar a qualidade da cana-de-açúcar. Foram analisados a percentagem de sólidos solúveis no caldo (Brix % caldo), percentagem aparente de sacarose no caldo (Pol % caldo), Pureza (%), percentagem aparente de sacarose na cana (Pol % cana), percentagem de açúcares redutores no caldo (AR % caldo), percentagem de açúcares redutores na cana (AR % cana), percentagem de fibra na cana (Fibra % cana) e açúcares totais recuperáveis (ATR kg t⁻¹). Após enfeixamento e identificação (Figuras 15 e

16) as amostras foram enviadas ao Laboratório da Pioneiros Bioenergia S/A. As análises seguiram a metodologia descrita pela Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool- CONSECANA (1999).

Figura 15 - Detalhe da coleta de colmos para avaliação da biometria e análise tecnológica.



Fonte: Silva Junior (2009).

Figura 16 - Detalhe da contagem e identificação dos feixes de colmos de cada parcela.



Fonte: Silva Junior (2009).

3.5 Análise estatística

Os dados foram analisados realizando-se a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Foi utilizado o programa de análise estatística SAS (1990).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios referentes a macroporosidade do solo estudado. Observou-se que o teste F não foi significativo, nas camadas de 0-0,10 e 0,20-0,40 m, entretanto houve significância na camada de 0,10-0,20 m. Verificou-se que os resultados para macroporosidade, em todos os tratamentos e camadas analisadas, estão abaixo do valor considerado crítico, citados por Vomocil e Flocker (1961), Greenland (1981) e Argenton et al., (2005) que consideram o valor superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ como não limitante ao desenvolvimento normal do sistema radicular da maioria das culturas.

Na camada de 0,10-0,20 m, verificou-se que os tratamentos T, P, PV e PT não diferiram estatisticamente entre si. Entretanto, a macroporosidade para o solo com o tratamento PVT foi menor do que no tratamento PT. Provavelmente este comportamento ocorreu devido a entrada do trator para a aplicação da vinhaça e o pisoteio das pessoas para a aplicação da torta de filtro.

Os resultados da macroporosidade na camada de 0-0,40 m (Tabela 5) indicam que o solo está compactado, efeito do histórico de 27 anos de uso do solo com cana-de-açúcar, intenso preparo do solo e queimada no momento da colheita da cultura.

A compactação do solo pelo uso de práticas inadequadas de manejo resulta diretamente em aumento na densidade do solo (D_s) e, por consequência, em alterações detrimenais em outras propriedades físicas, tais como: a porosidade do solo, a retenção de água, a aeração e a resistência do solo à penetração das raízes (LETEY, 1985). Outros autores argumentam que, nestes sistemas, a compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas resulta em maiores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração e em menores valores de macroporosidade (MARIA et al., 1999; WATANABE et al., 2002), com impactos negativos na produtividade das culturas.

Tabela 5 - Valores médios para a macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e camadas de solo estudadas, Sud Menucci, SP, 2010.

Tratamentos	Camadas de solo (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
T	0,072	0,076 a b	0,080
P	0,068	0,064 a b	0,072
PV	0,076	0,064 a b	0,064
PT	0,064	0,084 a	0,070
PVT	0,058	0,058 b	0,058
F	1,69 ^{ns}	3,30*	1,3 ^{ns}
CV (%)	17,75	18,76	23,71
DMS - 5%	0,023	0,025	0,031

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns: não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); * significativo a 5%. T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhiço; PV - Palhiço+Vinhaça; PT - Palhiço+Torta de filtro e PVT - Palhiço+Torta de filtro+Vinhaça.

Na Tabela 6, constam os resultados médios referentes a microporosidade nas camadas estudadas. Observa-se que o teste F não foi significativo em todas as camadas de solo avaliadas.

O monocultivo e intenso tráfego de maquinários pesados, provavelmente resultaram na degradação do solo, sendo assim a microporosidade é pouco afetada, pois nesta condição a macroporosidade é mais alterada. Alves (2001) mencionou que quando ocorre a degradação da estrutura do solo, o efeito imediato é o aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade.

Andrioli (1986), Casagrande e Dias (1999) e Camilotti et al. (2006), verificaram resultados semelhantes, já que a aplicação de material orgânico no solo não alterou estatisticamente a porosidade, macroporosidade e microporosidade, em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar.

Tabela 6- Valores médios para a microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e camadas de solo estudadas, Sud Mennucci, SP, 2010.

Tratamentos	Camadas de solo (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
T	0,236	0,228	0,236
P	0,230	0,230	0,242
PV	0,220	0,224	0,246
PT	0,228	0,224	0,242
PVT	0,228	0,232	0,254
F	1,38 ^{ns}	0,384 ^{ns}	0,76 ^{ns}
CV (%)	4,78	5,67	6,95
DMS - 5%	0,021	0,025	0,032

ns: não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhiço; PV - Palhiço+Vinhaça; PT - Palhiço+Torta de filtro e PVT - Palhiço+Torta de filtro+Vinhaça.

Os tratamentos utilizados, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, quando observados os resultados de porosidade total (Tabela 7) não apresentaram significância. Contudo, na camada de 0-0,10 m houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que T, P, PV e PT não diferiram entre si, enquanto que o PVT foi menor do que no tratamento e que o resultado encontrado em PVT foi menor do que no tratamento T (Tabela 7). Este comportamento provavelmente também seja efeito da entrada do trator na parcela para a aplicação da vinhaça, reforçando a hipótese levantada para a diminuição da macroporosidade encontrada para o mesmo tratamento.

Os resultados de porosidade total assemelham-se aos verificados por Pires et al., (2008), em que não houve diferença com a aplicação de torta de filtro, em relação a adubação mineral para os valores de porosidade total e densidade do solo.

As variáveis porosidade total (Tabela 7) e densidade do solo (Tabela 8) apresentaram CV baixos (<5%), em todas as camadas analisadas. Souza et al., (2006) e Ramirez-López et al., (2008) também constataram CV baixos para estas variáveis.

Tabela 7 - Valores médios para a porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e camadas de solo estudadas, Sud Mennucci, SP, 2010.

Tratamentos	Camadas de solo (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
T	0,310 a	0,306	0,318
P	0,292 a b	0,292	0,316
PV	0,298 a b	0,290	0,310
PT	0,292 a b	0,308	0,318
PVT	0,288 b	0,288	0,312
F	3,70*	2,6 ^{ns}	0,23 ^{ns}
CV (%)	3,38	4,41	4,87
DMS - 5%	0,019	0,025	0,030

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns: não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); * significativo a 5%. T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhiço; PV - Palhiço+Vinhaça; PT - Palhiço+Torta de filtro e PVT - Palhiço+Torta de filtro+Vinhaça.

Os resultados de densidade do solo (Tabela 8) não foram significativos entre os tratamentos e em todas as camadas de solo estudadas. Camargo et al. (1983), Casagrande e Dias (1999) e Camilotti et al. (2006) constataram que o emprego de resíduo não aumentou nem diminuiu a densidade do solo. Corroborando com a presente pesquisa.

Notou-se que todos os valores determinados estão acima do valor crítico estipulado por Reichert et al. (2003), os quais consideram que a densidade do solo crítica, para o bom desenvolvimento do sistema radicular, é igual a $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos de textura média.

Michelon (2005) definiu alguns níveis de densidade do solo estabelecidos como críticos para indicar a ocorrência de compactação, levando em consideração a faixa do teor de argila. Neste caso, para teores de 0-200, 200-300, 300-400, 400-500 e 500-600 g kg^{-1} a densidade crítica deverá ser de 1,60, 1,55, 1,50, 1,45 e $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$, respectivamente.

Campos e Alves (2006), Bonini, Alves e Oliveira (2008) e Kitamura et al., (2008) estudaram os atributos físicos de um solo degradado e observaram que a adição de matéria orgânica no solo via adubos verdes, diminuiu a densidade do solo e melhorou a distribuição do tamanho de poros. Entretanto, este efeito não foi observado no presente estudo, mesmo com a utilização de *Crotalaria spectabilis*, vinhaça, manutenção do palhiço e torta de filtro como formas de adição de matéria orgânica. Possivelmente apenas um ano de adição de material orgânico e utilização dos diferentes tratamentos não foi o suficiente para modificar os resultados encontrados para densidade do solo, uma vez que a área possuía um histórico de 27 anos de constante cultivo de cana-de-açúcar e também, devido ao solo ser arenoso.

Quando ocorre a degradação da estrutura do solo, há modificações no arranjo de suas partículas, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior (macroporos) (SOUZA; ALVES, 2003). Foi verificado por Kitamura et al. (2008) que a redução da macroporosidade nos solos degradados decorre do aumento da sua compactação, que é evidenciada pelo aumento da densidade do solo.

Tabela 8 - Valores médios para a densidade do solo (kg dm^{-3}), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos e nas camadas de solo estudadas, Sud Mennucci, SP, 2010.

Tratamentos	Camadas de solo (m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
T	1,74	1,74	1,80
P	1,75	1,76	1,73
PV	1,74	1,79	1,73
PT	1,77	1,75	1,74
PVT	1,76	1,79	1,74
F	0,55 ^{ns}	1,8 ^{ns}	0,53 ^{ns}
CV (%)	2,05	2,24	4,71
DMS - 5%	0,070	0,077	0,159

ns: não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); * significativo a 5%. T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhão; PV - Palhão+Vinhaça; PT - Palhão+Torta de filtro e PVT - Palhão+Torta de filtro+Vinhaça.

Observou-se que a distribuição e estabilidade de agregados em água, representada pela porcentagem das classes de tamanho de agregados e diâmetro médio ponderado (DMP), não apresentaram diferenças significativas nas camadas de solo avaliadas (Tabela 9).

Verificou-se também que, nas camadas estudadas, os valores do DMP foram baixos e não diferiram significativamente, sendo mais um indicativo de que a estrutura do solo foi prejudicada pelo manejo. Este fato fez com que diminuísse a quantidade de macroagregados e aumentasse a de microagregados, uma vez que a área em estudo apresentava um histórico de 27 anos de cultivo com cana-de-açúcar em sistema de preparo convencional e colheita com despalha por fogo.

Estes resultados demonstram que o manejo adotado no cultivo da cana-de-açúcar não contribuiu para melhorar e/ou manter a qualidade da estrutura física do solo, pois quanto menor a quantidade de macroagregados estáveis em água significa que mais degradada está a estrutura do solo, bem como índice de estabilidade de agregados < 1 .

Tabela 9 - Valores médios da porcentagem de estabilidade de agregados com diâmetros iniciais entre 6-4; 4-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; <0,25 mm e diâmetro médio ponderado DMP (mm), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos estudados, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,40 m, Sud Mennucci, 2010.

Tratamentos	6-4 mm	4-2 mm	2-1 mm	1-0,5 mm	0,5-0,25 mm	<0,25 mm	DMP
Camada de 0-0,10 m							
	-----%-----						mm
T	5,50	14,18	10,01	14,68	19,55	36,07	1,08
P	8,03	14,00	9,97	17,75	18,64	31,63	1,21
PV	10,03	14,54	9,10	16,02	19,22	30,79	1,24
PT	11,36	10,59	7,63	16,82	20,18	34,00	1,23
PVT	8,57	14,40	9,35	15,91	17,89	34,58	1,21
F	0,32 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,08 ^{ns}
CV (%)	99,86	27,81	22,35	20,12	18,29	35,78	42,63
DMS – 5 %	16,83	7,30	3,99	6,33	6,77	23,17	0,99
Camadas 0,10 - 0,20 m							
T	4,57	11,97	9,35	17,67	18,02	39,27	0,97
P	4,76	11,42	10,52	20,55	19,55	32,15	1,06
PV	3,91	12,67	11,67	21,21	19,00	30,91	1,09
PT	4,30	9,04	9,35	18,03	21,30	38,43	0,96
PVT	5,52	12,93	10,22	18,53	18,76	34,04	1,07
F	0,13 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,22 ^{ns}
CV (%)	79,86	21,52	27,97	20,80	11,69	29,64	26,89
DMS – 5 %	7,13	4,84	5,54	7,74	4,38	20,08	0,54
Camadas 0,20 -0,40 m							
T	4,99	9,77	9,23	18,05	19,94	35,88	1,04
P	2,95	8,89	9,68	19,5	21,9	37,08	0,83
PV	3,65	10,26	11,41	19,2	23,04	32,48	0,93
PT	4,21	7,78	7,84	17,15	21,63	44,47	0,79
PVT	5,21	8,34	9,44	19,43	20,12	37,39	1,01
F	0,37 ^{ns}	1,69 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,70 ^{ns}
CV (%)	81,88	19,34	25,82	28,43	14,82	34,41	32,01
DMS – 5 %	6,67	3,38	4,76	10,28	6,13	24,99	0,57

DMP: diâmetro médio ponderado. ns: não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhiço; PV - Palhiço+Vinhaça; PT - Palhiço+Torta de filtro e PVT - Palhiço+Torta de filtro+Vinhaça.

Segundo Kiehl (1979) e Colodro et al. (2007), a adição de matéria orgânica no solo provoca intensa atividade de microrganismos que podem agir como agente cimentante das

partículas de solo, e assim, conseqüentemente melhorar a estruturação do solo que refletirá em maiores porcentagens de agregados estáveis em água. Entretanto, este efeito não foi verificado no presente trabalho, provavelmente devido à dificuldade do acúmulo de matéria orgânica e a rápida decomposição devido as condições edafoclimáticas do local (solo arenoso e baixo teor de matéria orgânica).

A presença ou não do palhiço, uso da torta de filtro e vinhaça não influenciou na qualidade física da estabilidade de agregados, contudo observa-se que, na camada de 0 – 0,10 m, os tratamentos utilizados obtiveram uma tendência ao aumento deste atributo em relação à testemunha (T), na qual o solo manteve-se sem palhiço e livre de resíduos industriais.

A utilização do palhiço no solo é atualmente uma das principais características do novo sistema de produção canvieira, o que pode diferenciar os recentes sistemas de manejo dos antigos, tornando-se um marco divisor (ROSSETTO et al., 2008). Desta forma, dever-se-á adotar práticas conservacionistas que resultem em condições favoráveis para manutenção das características físicas, químicas e biológicas, e assim proporcionar uma melhor estruturação do solo, com maior estabilidade dos agregados, e conseqüentemente, melhor desenvolvimento da cultura e maior produtividade.

Na Tabela 10 encontram-se os valores médios de taxa constante de infiltração de água no solo, para os tratamentos estudados. Não foram verificadas diferenças significativas para os valores médios de taxa constante de infiltração. Observa-se que a amplitude entre os valores de infiltração foi de 39,024 cm h⁻¹ (PVT) a 66,072 cm h⁻¹ (T) para o Latossolo estudado. No tratamento sem aplicação de subprodutos, a infiltração, apesar de estatisticamente igual, foi 70% maior do que no tratamento com uso de Palhiço+Torta de filtro+Vinhaça. Este fato provavelmente ocorreu devido ao número de vezes que se entrou na parcela para a aplicação dos tratamentos, causando compactação superficial, resultado este que corrobora com os verificados para a porosidade total e macroporosidade.

A capacidade de infiltração de água no solo está diretamente relacionada à sua qualidade física e estrutural, ou seja, caso o solo apresente compactação e/ou uma grande proporção de microporos, haverá maior dificuldade da infiltração de água.

Outro aspecto que deve ser dado destaque é em relação ao histórico de manejo da área, uma vez que antes ocorria intenso revolvimento do solo e pelo tráfego de máquinas pesadas, que pode ter proporcionado os elevados valores de densidade do solo e

consequentemente, a compactação desse solo, dificultando a infiltração de água nesse solo devido à restrição no volume de poros.

A taxa de infiltração de água no solo é considerada um bom indicador da qualidade física do solo (BERTOL et al., 2000), pois quando reduzida a níveis muito baixos, aumenta o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional nas plantas, fazendo com que as raízes se desenvolvam superficialmente, diminuindo a sua produtividade (ROSOLEM et al.,1994; MORAES et al.,1995).

Tabela 10 - Valores médios de taxa constante de infiltração de água no solo (cm h^{-1}), teste F, coeficiente de variação (CV) e DMS, para os tratamentos estudados.

Tratamentos	Taxa constante de infiltração (cm h^{-1})
T	66,072
P	49,032
PV	58,152
PT	39,624
PVT	39,024
Média Geral	50,381
F	1,83 ^{ns}
CV (%)	20,34
DMS – 5%	2,69

ns: não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhão; PV - Palhão+Vinhaça; PT - Palhão+Torta de filtro e PVT - Palhão+Torta de filtro+Vinhaça.

Como verificado anteriormente, alguns atributos físicos do solo podem ser alterados pelas práticas de manejo e, dessa maneira, a infiltração de água no solo também apresentou alterações. A permeabilidade do solo depende principalmente da quantidade e do tamanho de poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água.

O conhecimento da infiltração da água no solo e da condutividade hidráulica é fundamental para a solução de problemas relativos à conservação da água e do solo, e controle do escoamento superficial, sendo de grande importância para o manejo do solo e da água (SOUZA; ALVES, 2003).

4.2 Atributos químicos

Os valores médios dos atributos químicos referentes aos tratamentos nas camadas de solo até 0,40 m estão apresentados na Tabela 11. Verificou-se que somente para os

elementos fósforo e potássio houveram diferenças significativas entre os tratamentos testados nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Para o fósforo na camada de 0-0,10 m (Tabela 11), o tratamento PVT composto pelo uso de vinhaça, torta de filtro e manutenção do palhicho proporcionou os maiores valores desse elemento, não diferindo de PV (Vinhaça + palhicho) e PT (torta de filtro + palhicho), sendo superior a P (manutenção do palhicho) e T (sem manutenção do palhicho). Este comportamento demonstrou a eficiência do uso dos subprodutos agroindustriais para a fertilização fosfatada. Verificaram-se maiores teores desse elemento nos tratamentos onde se utilizou a vinhaça aplicada em cobertura. Segundo Almeida et al. (2007), esse resíduo é o mais rico em fontes de nutrientes, principalmente em K, possuindo também Ca, Mg, P, Mn e MO. A vinhaça é utilizada geralmente nas adubações das rebrotas e pode fornecer todo o K para cultura. Já na torta de filtro é um composto orgânico rico em nutrientes como o cálcio e principalmente o fósforo, porém sua aplicação em cobertura na cana soca é menos eficiente do que em sulco, pois o fósforo é um nutriente com baixa mobilização ao longo do perfil do solo, portanto sua presença fica restrita nos primeiros centímetros de solo (OLIVEIRA; ANDRADE, 2007).

Para o fósforo na camada de solo de 0,10-0,20 m (Tabela 11), os tratamentos PT e PVT diferiram de T, indicando que o uso de torta de filtro, vinhaça e a manutenção do palhicho aumentaram a disponibilidade desse elemento quando comparado a sua não utilização. Entretanto, ainda pode ser considerado seu teor baixo, segundo Ribeiro et al. (1999), onde o ideal seria entre 8,1 a 12 mg dm⁻³.

Magalhães (2010) utilizou diferentes doses de vinhaça (0-420 m³ ha⁻¹) em comparação com adubação mineral em cana planta e obteve efeito mais pronunciado de P com o uso de vinhaça, alegando que o uso de compostos orgânicos com cargas negativas contribuiu previamente com a neutralização de parte das cargas positivas do solo potencializando o efeito do fósforo.

Vale ressaltar que no momento do plantio, além da adubação de base também foram aplicadas 40 t ha⁻¹ de torta de filtro no sulco de plantio, sendo o suficiente para elevar os teores de fósforo da condição inicial de 6,2 mg dm⁻³ (Tabela 2) para 10,22 mg dm⁻³ (Tabela 11) nos primeiros 0,20 m de solo.

Os tratamentos P a PVT (Tabela 11) não diferiram entre si na camada de solo de 0,10-0,20 m, o que pode ser atribuído a forma de aplicação dos tratamentos que foi a lança e não incorporado, ficando os nutrientes concentrados na camada superficial do solo. Por outro lado, os tratamentos T, P e PV também não diferiram entre si, reforçando a questão

da superioridade da torta de filtro com relação ao teor de P (OLIVEIRA; ANDRADE, 2007).

Para o potássio, na camada de solo de 0-0,10 m (Tabela 11), o tratamento T (sem palhiço) foi superior a PT (torta de filtro + palhiço), não diferindo dos demais. Este comportamento provavelmente está associado ao melhor desenvolvimento da cana-de-açúcar nos tratamentos que mantiveram o palhiço e foram aplicadas a torta de filtro e a vinhaça, conseqüentemente houve maior extração deste elemento no solo. Já na camada de 0,10-0,20 m, o tratamento PVT foi superior à PT, P e T e não diferiu de PV, ambos utilizando a vinhaça, sendo esse subproduto com maiores concentrações desse elemento (1935,0 mg L⁻¹) (Tabela 3).

O potássio é o nutriente extraído em maior quantidade, sendo a ordem de extração de macronutrientes tanto para cana-planta como para cana soca em: K > N > Ca > Mg > P. O uso da vinhaça pode suprimir a utilização do potássio mineral na adubação da cana-de-açúcar, onde a quantidade desse elemento químico no resíduo é tido como referência na definição de doses a serem aplicadas no solo (OLIVEIRA; ANDRADE, 2007; MAGALHÃES, 2010).

Em relação ao palhiço, Rossetto e Dias (2005) expõem que este pode possuir inúmeras funções, entre proteger o solo e melhorar seus atributos químicos e físicos. Como fornecedor de nutrientes após a ação dos microorganismos durante a mineralização, dependente de fatores como relação C/N do palhiço, entre 50 e 60, teor de lignina e de polifenóis, o tipo de solo, pH, teor de matéria orgânica e fatores climáticos.

Os mesmos autores demonstraram que em relação ao N, pouco se pode contar para a nutrição das soqueiras, já em relação ao K, por ser muito móvel e não estar ligado a compostos estruturais da planta passa rapidamente do palhiço para o solo e para a soqueira da cana.

Para o P e K na camada de 0,20-0,40 m e para todos os outros atributos químicos estudados nas três camadas de solo, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

O teor de matéria orgânica encontrado antes do início do experimento (Tabela 2) e um ano após a implantação dos tratamentos (Tabela 11) permaneceu praticamente igual na camada de 0-0,40 m, sendo que o mesmo é considerado baixo (LOPES, 1983). Vale salientar que o solo estudado tem sua textura classificada como Areia Franca.

Tabela 11- Atributos químicos do solo: pH, teores de fósforo (P), matéria orgânica (MO), valores de capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al) e valores de soma de bases (SB), em função dos tratamentos nas camadas de solo de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Sud Mennucci, 2010.

Camada (m)	Tratamentos	P-resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH	K CaCl ₂	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V %
0-0,10	T	12,92 c	10,00	5,70	1,02 a	17,80	8,80	14,20	0,00	27,62	41,82	65,00
	P	14,16 bc	10,00	5,70	0,72 ab	18,40	6,00	13,80	0,20	25,12	38,92	63,00
	PV	26,68 ab	10,00	5,78	0,92 ab	19,00	6,60	13,20	0,00	26,52	39,72	66,60
	PT	19,06 abc	10,00	5,62	0,62 b	18,40	6,40	14,00	0,00	25,42	39,42	64,00
	PVT	32,24 a	10,00	5,76	0,76 ab	18,60	6,60	13,60	0,00	25,96	39,56	65,20
0,10-0,20	F	8,37**	-	0,22 ^{ns}	4,97**	0,04 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,26 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	CV%	14,85	0,00	2,38	6,07	13,14	17,71	6,05	14,22	13,09	8,00	6,01
0,20-0,40	T	7,52 b	10,00	5,66	0,46 c	15,40	5,80	13,40	0,00	21,66	35,06	61,20
	P	12,24 ab	10,00	5,78	0,42 c	19,20	6,80	14,20	0,00	26,42	40,62	64,60
	PV	13,60 ab	9,60	5,90	0,66 ab	16,40	6,00	13,20	0,00	23,06	36,26	62,80
	PT	18,30 a	9,80	5,68	0,54 bc	16,80	6,40	14,00	0,00	23,74	37,74	62,40
	PVT	21,96 a	10,00	5,74	0,76 a	19,20	8,40	14,20	0,00	28,36	42,56	64,60
0,20-0,40	F	4,64*	0,41 ^{ns}	0,41 ^{ns}	9,43**	0,99 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-	1,02 ^{ns}	1,99 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	CV%	19,92	3,20	2,69	4,78	10,52	15,33	7,59	0,00	10,99	6,09	5,90
0,20-0,40	T	6,40	9,20	5,04	0,38	12,00	5,00	17,40	1,80	17,38	34,78	47,00
	P	6,00	9,20	5,44	0,42	14,20	5,80	16,40	1,00	20,42	36,82	54,40
	PV	5,80	8,80	5,52	0,46	12,20	5,20	15,60	0,40	17,86	33,46	52,20
	PT	7,60	8,80	5,16	0,50	11,60	5,00	17,40	0,40	17,10	34,50	49,40
	PVT	7,80	8,40	5,14	0,48	12,00	5,60	17,20	2,00	18,08	35,28	49,80
0,20-0,40	F	0,47 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,30 ^{ns}
	CV%	18,69	5,96	4,48	4,93	16,58	18,54	8,30	51,40	16,86	5,33	12,89

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). * significativo a 5%; ** significativo a 1%. T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhiço; PV – Palhiço+Vinhaça; PT – Palhiço+Torta de filtro e PVT – Palhiço+Torta de filtro+Vinhaça. Dados transformados para raiz quadrada de $(x + 0,5)$.

O cultivo com e sem palhiço, mais o uso de torta de filtro e vinhaça não alterou os teores de magnésio e cálcio entre os tratamentos e ao longo das camadas estudadas (Tabela 11). Os teores médios a altos desses nutrientes nas camadas superficiais se devem a práticas corretivas do solo de calagem e gessagem antecessoras ao presente cultivo. Segundo Raij et al. (1996), para a cultura da cana-de-açúcar, recomenda-se elevar a saturação por bases a 60 %, valor superado por todos os tratamentos até a camada de 0,10-0,20 m. De acordo com Magalhães (2010), a aplicação de doses crescentes de vinhaça ao solo pode vir a proporcionar aumento do pH, da capacidade de troca catiônica e da soma de bases, também redução da acidez potencial (H+Al) em razão da presença de agente neutralizante da acidez como a matéria orgânica, contudo tais resultados não foram verificados nesse experimento.

Não foi observado aumento da CTC com adição dos subprodutos e manutenção do palhiço. Comparando cana crua com cana queimada, Canellas et al. (2003), obtiveram elevação da CTC devido ao maior aporte anual de carbono, após 55 anos de preservação do palhiço na superfície. Os mesmos autores demonstram que parte da variação da CTC foi devida à matéria orgânica, onde em solos sob condições tropicais e com mineralogia predominante de 1:1, é natural a maior capacidade de troca encontrada nas áreas de maior aporte de carbono orgânico e sua diminuição em profundidade.

4.3 Características biométricas e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

Na Tabela 12 constam os resultados verificados para as características biométricas estudadas e da qualidade tecnológica da cana soca. Não foram verificadas diferenças entre os tratamentos para massa, comprimento e número de colmos por metro. Para os valores de Brix, Fibra, Pol % da cana, pureza e ATR também não houve diferença entre os tratamentos. Portanto, a manutenção ou retirada do palhiço e adição de subprodutos agroindustriais para o solo estudado e no estágio de primeira soca, não houve influências nas características estudadas para a cultura cana-de-açúcar. Campos (2010) também não verificou melhorias na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, na segunda e terceira soca, em Latossolo Vermelho de textura média, com o uso de torta de filtro.

Para os valores médios de número de perfilhos pode-se verificar que não houve diferença significativa entre os manejos adotados, possivelmente devido ao sombreamento ocasionado após o crescimento da cultura.

Santos (2008) afirmou que o intenso perfilhamento no início do ciclo da cultura ocorre devido à alta luminosidade e maior espaço para a exploração das plantas. Com o

surgimento dos primeiros perfilhos, as suas folhas vão sombreando aqueles que surgem depois. Como os perfilhos que brotaram posteriormente são menores, conseqüentemente, ocorre competição principalmente por água e luz, fazendo com que esses mais novos não consigam sobreviver, morrendo antes de tornarem plantas adultas.

Os resultados constatados por Nardin (2007) e Almeida Júnior (2010), referente ao número de perfilhos, corroboram com os dados deste trabalho, uma vez que esses autores verificaram que plantas de cana-de-açúcar adubadas com torta de filtro não foram influenciadas na emergência e no perfilhamento e também, apresentaram menor produção de raízes e número de brotos comparados àquelas suplementadas com fertilizantes minerais. Entretanto, esses resultados obtidos diferem dos verificados por Santos (2009), já que o autor verificou o maior número de perfilhos ao utilizar tratamentos com doses crescentes de torta de filtro até $2,0 \text{ t ha}^{-1}$, iniciando posteriormente um decréscimo.

O número de colmos por metro, encontrados neste trabalho, contrapõem aos obtidos por Santos et al. (2010), uma vez que os autores obtiveram o aumento da produtividade de colmos com a utilização de adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel, na dose de $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ de torta de filtro. Segundo os autores citados, tal resposta ocorreu devido à adição de matéria orgânica da torta de filtro, na presença de adubo mineral fosfatado. Também discordam de Silva et al. (2010) que estudaram adubação mineral+torta de filtro e, adubo mineral+Humitec. Onde os autores verificaram que a produtividade da cana-de-açúcar aumentou.

Os tratamentos utilizados neste trabalho atuaram de forma semelhante para os parâmetros altura e diâmetro de colmos. Fravet (2007) obteve resultados diferentes, já que o autor verificou ganhos na altura e diâmetro de colmos com a aplicação de torta de filtro. Esses resultados podem ser atribuídos, em grande parte aos benefícios proporcionados pela matéria orgânica da torta de filtro e pelos nutrientes nela encontrados, destacando-se o fósforo e nitrogênio. Silva (1983) afirmou que a deficiência de fósforo diminui o diâmetro dos colmos e provoca o encurtamento dos internódios, justificando assim a resposta positiva em relação à adubação com torta de filtro, para a altura e diâmetro da cana.

De modo geral, os valores de Brix oscilaram entre 18,60 e 19,68 %, valores estes que ficaram acima dos limites mencionados na bibliografia como mínimos necessários para que a cana apresente condições de ser amostrada para a realização de uma análise tecnológica detalhada, com o objetivo de caracterizar o seu grau de maturação, que, de acordo com Marques et al. (2001), deve ser superior à 18 %.

Mesmo não diferindo estatisticamente os maiores valores de Brix do caldo, pol do caldo e ATR foram proporcionados pelo tratamento de Palhiço+Torta de filtro+Vinhaça. Possivelmente, esse acréscimo ocorreu devido aos benefícios proporcionados pela matéria orgânica da torta de filtro e vinhaça, destacando-se o fósforo e nitrogênio. Este resultado está de acordo com Vijav e Verma (2001), que ao estudarem o efeito isolado ou combinado de adubos orgânicos e minerais, notaram que a adubação mineral, associada à orgânica, promoveu aumentos significativos no teor de sacarose presente no caldo da cana.

Tabela 12- Características biométricas e tecnológicas da cana soca (1º ciclo) em função dos tratamentos. Sud Mennucci, SP, 2010.

Trat.	nºperfilhos m ⁻¹	Massa de 10 colmos kg	Diâmetro cm	Comprimento m	Fibra % cana	Brix %	Pol % cana	Pureza %	ATR kg t ⁻¹
T	11,2	29,42	9,25	2,54	12,49	18,98	13,47	84,53	134,00
P	11,3	29,27	9,52	2,48	12,38	18,60	13,66	87,48	135,06
PV	10,5	28,91	9,17	2,58	12,35	19,20	13,73	84,86	136,37
PT	11,4	31,54	9,12	2,47	12,42	18,82	13,34	84,24	132,75
PVT	10,6	31,44	9,07	2,78	12,65	19,68	14,13	85,76	139,89
F	1,03 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,7 ^{ns}	2,35 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,15 ^{ns}
CV%	8,38	17,09	5,14	7,15	2,29	3,76	4,74	3,52	4,21

Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T – Testemunha: sem aplicação de resíduos; P – Palhaço; PV - Palhaço+Vinhaça; PT - Palhaço+Torta de filtro e PVT - Palhaço+Torta de filtro+Vinhaça.

5. CONCLUSÕES

1- Não houve efeito do uso ou não da vinhaça e/ou torta de filtro combinados com a presença ou ausência do palhiço nos atributos físicos do solo em cana soca (1º ciclo).

2- Os efeitos dos subprodutos da indústria canavieira nos atributos físicos do solo após um ano de pesquisa foram semelhantes.

3- A aplicação de vinhaça e torta de filtro sobre o palhiço, em primeira soca, incrementou apenas os teores de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho Distrófico.

4- A presença ou ausência de palhiço com adição de vinhaça e/ou torta de filtro não influenciou o comprimento, número e massa de colmos e nem a qualidade tecnológica da cana soca (1º ciclo) na variedade RB 855035 na região noroeste de SP.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. **Adubação orgânica em cana-de-açúcar**: efeitos no solo e na planta. 2010. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Escola Superior de Agricultura, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2010.
- ALMEIDA, B. A. D. L.; BARRETO, G. F. B.; GONÇALVES, C. M. N. Resíduos da agroindústria canavieira na Estado de Minas Gerais: usos e conservação ambiental. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 28, n. 28, p. 96-100. 2007.
- ALMEIDA, M. T. **Torta de filtro e vinhaça como alternativas na recuperação de um solo salino-sódico**. 1994. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 1994.
- ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. Caracterização dos aspectos e impactos econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro Paulista. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco, Fundação Getulio Vargas, 2008. p. 21.
- ALVES, M. C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP**. 2001. 83 f. Tese (Livre Docência em Solos) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.
- ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média**. 1986. 85 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- ANGERS, D. A.; MEHUYS, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M. R. **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science- Lewis Publishers , 2000. p. 529- 539.
- ANJOS, I. A.; ANDRADE, L. A. B.; GARCIA, J. C.; FIGUEIREDO, P. A. M.; CARVALHO, G. J. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 59-63, jan./fev. 2007.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma de estrutura de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.
- BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L. Colheita mecanizada de cana crua: caminho sem volta. **Revista Coplana**, Guariba,v. 5, n. 40. p. 22-25, 2007.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.; ALMEIDA, E.; KURZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, 2000.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; OLIVEIRA, B. A. Influencia de la materia organcia en la densidad del suelo en Ferralsol decapitado tratado con lodo de depuradora y fertilización mineral. In: CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 21., 2008, San Luis.. **Anais...** San Luis: [s.n.], 2008. p. 15-18

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; GERALDI, R. N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 30 p. (Boletim Técnico, 76).

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. Atributos físicos de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 738- 747, 2006.

CAMPOS, F. **Impactos de sistemas de cultivo, extrato húmico e adubos orgânico e mineral sobre alguns atributos físicos e químicos de um latossolo, cultivado com cana-de-açúcar**. 2010. 124 f. Tese (Doutorado)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP, Ilha Solteira, 2010.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrosilvopastoris. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v. 10, n. 3, p. 759–764, 2006.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A.; CAVALIERE, K. M. V.; SANTOS, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 940–949, 2011

CASAGRANDE, J. C.; DIAS, N. M. P. Atributos químicos de um solo com mata natural e cultivado com cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 35-37, 1999.

CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. **Científica**, Jaboticabal, v. 10, n. 1, p. 57-61, 1982.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 195-198, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, maio/2011.** Brasília: UNB, 2011. 19 p.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL-CONSECANA. **Manual de instruções.** Piracicaba: CONSECANA, 1999. 92 p.

CORTEZ, L. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; HAPP, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 111-116, 1992.

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo e compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa- MG, v. 20, n. 2 p. 175-182, 1996.

DURUOHA, C.; BENEZ, S. H.; CRUSCIOL, C. A. C. Desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em função da compactação, do tipo de solo e do teor de água. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 47-56, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA.. **Manual de métodos de análises de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS. 1997. 212 p. (Documento, 1).

FRAVET, P. R. F. **Doses e formas de aplicação de torta de filtro na produção de cana soca.** 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Solos)- Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

GLORIA, N. A. Uso agrônômico de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. p. 1-17.

GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 137 - 153, p. 137-153, 2004.

GOOGLE. Google Maps. (S.l.:s.n. 2008?) Disponível em <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=w1>. Acesso em: 01 jun 2011.

GREENLAND, D. J. Soil Management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v. 31, p. 301-322, 1981.

HERNANDEZ F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira.** Ilha Solteira: UNESP/FE- Área Hidráulica e Irrigação, 1995. 45 p. (Série Irrigação, 1).

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S.; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2. p. 523-530, 2006.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta.** São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 405 – 416, p. 405-416, 2008.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à adubação fosfatada. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 102, n. 4, p. 7, jun. 2003.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Adv. Soil., Agron. J. Advances in Soil Science**, New York, v. 1, n. 15, p. 277-294, 1985.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrados: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1983. 162 p.

LUCA, E. F. de; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, P.C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008.

LUDOVICE, M. T. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1996. 117 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, Campinas, 1996.

MACHADO, K. S.; ALTIMARE, A. L.; SILVA, H. R. Colaboração das geotecnologias na seleção de áreas para a implantação do parque aquícola no Rio São José dos Dourados. IN:XIII In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 953- 960.

MAGALHÃES, V. R. **Influência de doses de vinhaça nas características agronômicas de variedades de cana-de-açúcar, cana planta, e atributos químicos do solo**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Montes Claros -Unimontes, Janaúba, 2010.

MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular da soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

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

MICHELON, C. J. **Qualidade física dos solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil Central**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2005.

MILNE, R. M.; HAYNES, R. J. Comparative effects of annual and permanent dairy pastures on soil physical properties in the Tsitsikamma region of South Africa. *Soil Use Management*, England, v. 20, n. 1, p. 81-88, 2004.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. *Bragantia*, Campinas, v. 54, n. 2, p. 393-403, 1995.

NAPOLEÃO, B. A. Cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 98-110, 2007.

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 em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas-IAC, Campinas, 2007.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACEDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.

ORLANDO-FILHO, J.; SILVA, G. M. A. ; LEME, E. J. A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria cana-de-açúcareira. In: ORLANDO-FILHO, J. (Ed.). **Nutrição de adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba: IAA, 1983. p. 227-264.

PIRES, A. A.; MONNERAT, P. H.; MARCIANO, C. R.; PINHO, L. G. R.; ZAMPIROLI, P. D.; ROSA, R. C. C.; MUNIZ, R. A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro – amarelo nas características química e física do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1997-2005, 2008.

RAIJ, B.; CANATRELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico - IAC, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade.** Campinas: IAC, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).

RAMIREZ-LÓPEZ, L.; SÁNCHEZ, A. R.; TAMAYO, J. H. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de un typic haplustox de los llanos orientales de Colômbia. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 28, n.2, p. 55-63, 2008.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência Ambiental*, Alta Floresta, v. 27, n.1, p. 29-48, 2003.

RESENDE, A. S.; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 937-941, 2006.

RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. A. de B. Cana-de-açúcar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 285-288.

ROCHA, M.. Energia de biomassa: a esperança do setor. **Revista Energia Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, mar. 2008. Disponível em:<<http://www.revistaenergiabrasileira.com.br>>. Acesso em: 11 maio 2011.

ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 491-497,1994.

ROSSETTO, A. J. Utilização Agronômica dos Subprodutos e Resíduos da Indústria Açucareira e Alcooleira. In: PARANHOS, S. B. (Eds.). **Cana-de-açúcar - cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill,1987. p. 433-504.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. **Encarte do Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 25 n. 110, p. 6-11, 2005.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; LANDEL, M. G. A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Encarte do Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.124 p. 8-13, 2008.

SANTOS, A. C. A. **Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Taboado-MS**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

SANTOS, D. H. **Adubação fosfatada no plantio da cana-de-açúcar a partir de torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. 2009. 35 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Faculdade de Agronomia, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2009.

SANTOS, M. D.; BOLONHEZI, A. C.; TEIXEIRA, E. B.; SCHMITZ, G. A.; GODOY, I. L.; GIRO NETO, A.; PONTIM, G. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar submetidas à aplicação de substâncias húmicas nos toletes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29., 2010, Guarapari. **Anais...** Guarapari: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 1CD-ROM

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**: version 6.4.ed. Cary: SAS Institute Inc., 1990. v. 2

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 407-415, 2005.

SEGATO, S. V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. Terminologias no setor sucroalcooleiro. In: SEGATO, S. V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 399-400.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 30, n. 6 p. 921-930, 2006.

SILVA, G. M. **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. 45-52, 2007.

SILVA, W. P.; SILVA, V. G. F.; ALMEIDA, C. D. G. C. Produtividade da cana-de-açúcar sob diferentes formas de adubação. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 10., 2010, Recife. **Resumos...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2010. p. 1-3.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 18-23, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 249-256, 2006.

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

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; OTTO, R. TRIVELIN, M. O.; TOVAJAR, J. G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, n. 32, p. 2757-2762, 2008.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 4, n. 2, p. 242-246, 1961

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S. MUNIZ, A. S. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientium**, Maringa, v. 24, n. 5, 1255-1264, 2002.

ZANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 61, n. 5, p. 1024-1030, 1997.