

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Efeito do Manejo da Colheita e do Sistema de  
Cultivo sobre Atributos Edáficos de Argissolo  
Amarelo e Produtividade de Cana Soca em  
Linhares (ES)**

**Iara Maria Lopes**

**2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**EFEITO DO MANEJO DA COLHEITA E DO SISTEMA DE CULTIVO  
SOBRE ATRIBUTOS EDÁFICOS DE ARGISSOLO AMARELO E  
PRODUTIVIDADE DE CANA SOCA EM LINHARES (ES)**

**IARA MARIA LOPES**

*Sob a Orientação da Professora*  
**Lúcia Helena Cunha dos Anjos**

*e Co-orientação do Professor*  
**Eduardo Lima**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2014

633.61

L864e

T

Lopes, Iara Maria, 1987-

Efeito do manejo da colheita e do sistema de cultivo sobre atributos edáficos de Argissolo Amarelo e produtividade de cana soca em Linhares (ES) / Iara Maria Lopes – 2014.

100 f. : il.

Orientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

Bibliografia: f. 77-86.

1. Cana-de-açúcar – Cultivo – Teses. 2. Matéria orgânica – Teses. 3. Cana-de-açúcar - Colheita– Teses. 4. Palhada – Teses. I. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos, 1956-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**IARA MARIA LOPES**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/02/2014.

---

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ  
(Orientadora)

---

Heroldo Weber. Dr. UFPR

---

Jair Felipe Garcia Pereira Ramalho. Dr. UFRRJ

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais Fátima e Paulo Sérgio,  
aos meus irmãos em especial ao Paulo e  
ao meu esposo Rafael.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu a concretização desse trabalho, por ter me dado força perante os obstáculos.

Aos meus pais, em especial a minha mãe, Fátima Aparecida Lopes, pelo apoio, incentivo, dedicação, e que nos momentos mais difíceis esteve ao meu lado tornando o “fardo mais leve”.

Aos meus irmãos Samara Lopes, Tales, e em especial ao Paulo Rogério Lopes pelo exemplo de dedicação aos estudos e por ter dado a oportunidade de participar em seus trabalhos de mestrado e doutorado, os quais também contribuíram na minha formação.

Ao meu querido esposo, Rafael Passos Rangel, companheiro de diversos momentos, inclusive os de estudo desde a graduação, e pela ajuda na coleta de amostras.

A todos os meus familiares e amigos que de forma direta ou indireta contribuíram na minha formação pessoal e acadêmica.

A professora e orientadora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pelo apoio técnico e científico, por monitorar o desenvolvimento dessa dissertação, e por ser tão atenciosa em todo tempo.

Ao professor e orientador Eduardo Lima, por desde a graduação ter dado a oportunidade de trabalhar em seus projetos, pelos ensinamentos, pela orientação nesse trabalho, pela amizade, demonstração de amor pela profissão, e pelos bons momentos nas temporadas de coleta dos experimentos.

Ao professor Marcos Gervasio Pereira pelas sugestões, dicas e monitoramento desse trabalho.

Aos participantes da banca, Dr. Heroldo Weber e Dr. Jair Felipe Garcia Pereira Ramalho, pelas contribuições valiosas nessa dissertação.

A todos os alunos e estagiários do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, pelo apoio e experiências compartilhadas, em especial a Shirlei Almeida Assunção pela ajuda nas análises químicas do solo, ao Sidnei Julio Beutler por ter passado seus conhecimentos com a análise de fracionamento de fósforo orgânico no solo, análise dos componentes principais e pela ajuda nas mesmas, a Ana Paula P. de Oliveira por disponibilizar os dados de umidade das partes da planta.

Aos integrantes do Laboratório de Fertilidade do Solo, em especial a Carla Andréa da Cunha Martins que minuciosamente me ensinou a dar os primeiros passos na jornada científica.

As funcionárias do Departamento de Solos, a Maria Helena pelo incentivo e contribuição nas análises de estabilidade de agregados, a Adriana pela ajuda na coleta de amostras de terra e planta, e pela amizade, a Beth por ser sempre tão prestativa e adorável. Ao doutorando Orlando Tavares, aos alunos Luíz Fernando e Fabrício, pela ajuda em parte das coletas.

A bolsista Jaqueline Jesus por ter me acompanhado ajudando nas análises.

Aos funcionários do Campus Dr. Leonel Miranda pelas análises de determinação dos nutrientes nas partes da planta, principalmente, aos técnicos Geraldinho e Gilson por acompanhar e participar de todo trabalho em campo e “escritório”.

Ao Moraes, por nos levar de forma segura e agradável à Linhares, e por, além disso, ajudar nas coletas.

À Usina LASA por ceder a área experimental e mão de obra necessária.

A CAPES e FAPERJ pela concessão da bolsa de estudos, no primeiro e segundo ano de mestrado respectivamente, ao CPGA-CS e FAPUR pelo financiamento do projeto.

Agradecimento peculiar a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por abrir boas portas a seus alunos, e a todos os professores e os colegas de turma pelos seus princípios e conhecimentos compartilhados.

Muito obrigada!

## **BIOGRAFIA**

Iara Maria Lopes nasceu na cidade de Campestre – MG, no dia 5 de março de 1987. Em 2004 concluiu o ensino médio na Escola Estadual ‘Rui Barbosa’. Em 2007 ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em 2012. Durante o período de graduação foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) no período de agosto de 2009 a janeiro de 2012. E no período de agosto a dezembro de 2011 exerceu como voluntária a monitoria da disciplina de Aptidão Agrícola e Manejo dos Solos desta instituição. Em março de 2012 ingressou no Mestrado no curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## RESUMO GERAL

LOPES, Iara Maria. **Efeito do manejo da colheita e do sistema de cultivo sobre atributos edáficos de Argissolo Amarelo e produtividade de cana soca em Linhares (ES)**. 2014. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

O Brasil segue no ranking de produção de cana-de-açúcar do mundo, como maior produtor de álcool e açúcar. Assim, a necessidade de atender a demanda por matéria prima tem instigando a busca por sistemas mais produtivos e sustentáveis ao longo do tempo. Nesse sentido, o sistema de manejo da palhada perante a colheita dos canaviais é um fator relevante, onde a cana queimada (colheita manual) está sendo substituída pela cana sem queima (geralmente colheita mecânica), também nomeada de cana crua no setor sucroalcooleiro, devido a aspectos legais, econômicos e principalmente ambientais. Contudo, o tráfego mais intenso de máquinas e implementos agrícolas, na colheita mecânica, pode influenciar na escolha do tipo de preparo do solo no momento da renovação do canavial, umas das etapas que mais influencia os custos de produção. Este estudo teve como objetivos avaliar, no Capítulo I, o efeito de dois sistemas de preparo do solo (cultivo mínimo e plantio convencional) associados a dois manejos da palhada (com e sem queima) sobre, as propriedades químicas e físicas do solo, a extração de nutrientes pelas diferentes partes aéreas da cultura, a produtividade de colmos, e verificar se os manejos aplicados influenciam nos compartimentos do fósforo do solo; e no Capítulo II avaliar as mesmas variáveis do capítulo I, mas tendo como tratamentos a manutenção, alternância e ausência da queima antes da colheita ao longo dos ciclos da cultura. Dois experimentos de longa duração foram utilizados, implantados em 1989, em área cedida pela Usina LASA, no município de Linhares – ES, em Argissolo Amarelo textura arenosa/média, típico do ambiente de tabuleiros costeiros. A variedade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) utilizada foi a SP79-1011, sendo as amostras de planta e terra coletadas no ano de 2012, no qual a colheita correspondeu à sétima safra (6ª soca) do terceiro ciclo de cultivo, para ambos os experimentos. No Capítulo I, os resultados indicam que os sistemas de preparo do solo e manejo da palhada de cana não modificaram significativamente a produção de biomassa e os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. Porém, o cultivo mínimo favoreceu, na camada de 0-10 cm a manutenção do carbono das frações húmicas e o associado aos minerais; os valores de  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  e carbono orgânico total em todas as camadas avaliadas; de  $K^+$  na profundidade de 10-20 cm e de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) nas duas camadas subsuperficiais, em relação ao plantio convencional. Contudo, o maior revolvimento do solo no plantio convencional possibilitou menores valores de densidade do solo, maiores de macroporos e total de poros, do que o cultivo mínimo, o que repercutiu na produção de biomassa. No Capítulo 2 os resultados mostraram que os diferentes manejos da palhada influenciaram principalmente no acúmulo de nitrogênio e potássio nos ponteiros da cana-de-açúcar. Porém, os atributos químicos e físicos do solo não se alteraram. Assim, conclui-se que o preparo do solo contribuiu mais para as mudanças dos atributos químicos e físicos do solo que o manejo da palhada. Em relação à distribuição do fósforo (P) em suas frações segundo a labilidade, para os dois experimentos (Capítulo I e II), a maior parte do P foi encontrada na forma inorgânica e o P moderadamente lábil abrangeu a maior proporção do P total, quando comparadas as frações P lábil e moderadamente resistente.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.*. Palhada. Matéria Orgânica.

## GENERAL ABSTRACT

LOPES, Iara Maria. **Effect of harvest management and tillage system on soil attributes of an Ultisol and productivity of ratoon cane in Linhares (ES)**. 2014. 85p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The Brazil is placed in the world rank of sugarcane production as the largest producer of ethanol and sugar. Thus, the need to meet the demand for raw materials has instigated the search for more productive and sustainable over time systems. In this sense, the stubble management system before the harvest of the sugarcane fields is a key factor; where burning cane (manual harvesting) is being substituted by the no-burning (generally with mechanical harvesting) also named green cane, in the sugar and alcohol sector. This is motivated by legal, economic and mainly environment aspects. However, more intense traffic of machinery and implements in the mechanical harvesting system may influence the choice of tillage system, when renewing the cane fields, one of the phases that most influence the production costs. This study had as objectives to evaluate, in the Chapter I, the effect of two tillage systems (minimum and conventional) associated with two straw managements (with and without burning) on the soil chemical and physical properties; in the nutrient uptake by different aerial parts of the crop and in sugarcane yield; and if the managements systems influenced the soil phosphorus fractions. Also in the Chapter II, to evaluate the same variables in Chapter I, but with different treatments, that was the maintenance, alternation and absence of burning before the cane harvesting in the crop cycles. Two cane management long-term experiments were used, implemented in 1989, in an area of LASA distillery, located in municipality of Linhares – ES. The soil is an Udult with sandy over medium texture, typical of the coastal tableland environment. The sugarcane (*Saccharum spp.*) variety was the SP79-1011, and the soil and plants samples were taken in 2012, during the seventh production season (6th ratoon) harvesting of the third cycle of cultivation, for both experiments. In the Chapter I, results indicated that systems of tillage and straw management of sugarcane did not significantly affect the biomass production and the technological parameters. However, the minimum tillage system favored the maintaining of carbon of the humic fractions and carbon associated to minerals, in the 0-10 cm soil layer; the values of  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  and total organic carbon in all evaluated layers; the  $K^+$  level for the 10-20 cm layer; and the weighted mean diameter (PMD) and geometric mean diameter (GMD) in the two subsurface layers, when compared to conventional tillage. On the other hand, there were higher values of macroporosity and total pores than the minimum tillage, which was reflected in the plants biomass production. Results in the Chapter 2 showed that the straw management systems influenced mostly the accumulation of nitrogen and potassium on the cane pointers. However, the soil chemical and physical attributes were not affected significantly. Thus, it is concluded that the soil tillage contributed more for changes in soil chemical and physical properties than the straw management. Regarding the distribution of phosphorus (P) fractions according to their lability, in both experiments (Chapter I and II), majority of P was in the inorganic form, and the moderately labile P comprised the largest proportion of the total soil P, when compared the labile and moderately resistant P fractions.

**Key words:** *Saccharum spp.* Mulching. Organic Matter.

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Produtividade da massa fresca de colmo e palhada (soma de ponteiros e folhas) da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, submetidos a diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada, em Argissolo Amarelo .....	24
<b>Tabela 2.</b> Análise tecnológica do caldo e colmo, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada, em Argissolo Amarelo.....	25
<b>Tabela 3.</b> Extração de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio por componente da parte aérea de cana-de-açúcar, da variedade SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo.....	28
<b>Tabela 4.</b> Propriedades químicas de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada na cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0 -10, 10-20 e 20-40 cm .....	30
<b>Tabela 5.</b> Carbono (C) das frações húmicas (HU = humina, AF = ácido fúlvico, AH = ácido húmico), em Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada na cultura da cana-de-açúcar, a 0-10 cm de profundidade .....	31
<b>Tabela 6.</b> Carbono orgânico total (COT), associado aos minerais (CAM) e particulado (COP), em Argissolo Amarelo, com diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar em, 0-10 cm de profundidade .....	32
<b>Tabela 7.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível com bicarbonato de sódio (bic) (P lábil), em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-10 cm de Argissolo Amarelo .....	37
<b>Tabela 8.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução ácida (H) (P moderadamente lábil), em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-10 cm de Argissolo Amarelo .....	38
<b>Tabela 9.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução alcalina (OH) (P moderadamente resistente), em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-10 cm de Argissolo Amarelo .....	38
<b>Tabela 10.</b> Resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm de Argissolo Amarelo.....	39
<b>Tabela 11.</b> Granulometria de Argissolo Amarelo sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.....	41
<b>Tabela 12.</b> Valores de densidade do solo sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo.....	42
<b>Tabela 13.</b> Valores de densidade da partícula do solo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar em 6ª soca, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em Argissolo Amarelo .....	42
<b>Tabela 14.</b> Distribuição dos poros e porosidade total do solo, em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo .....	43

<b>Tabela 15.</b> Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de Argissolo Amarelo .....	45
<b>Tabela 16.</b> Produtividade de colmo, ponteiro e folha ( $t\ ha^{-1}$ ), e análise tecnológica do caldo e colmo, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura, em Argissolo Amarelo.....	58
<b>Tabela 17.</b> Extração de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio por componente da parte aérea de cana-de-açúcar, da variedade SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar...	60
<b>Tabela 18.</b> Propriedades químicas de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm .....	62
<b>Tabela 19.</b> Carbono (C) das frações húmicas (HU = humina, AF = ácido fúlvico, AH = ácido húmico), em Argissolo Amarelo sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na profundidade de 0-10 cm.....	63
<b>Tabela 20.</b> Carbono orgânico total (COT), associado aos minerais (CAM) e particulado (COP), em Argissolo Amarelo, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na profundidade de 0-10 cm.....	64
<b>Tabela 21.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível com bicarbonato de sódio (bic) (P lábil), em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm .....	66
<b>Tabela 22.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução ácida (H) (P moderadamente lábil), em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm.....	67
<b>Tabela 23.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução alcalina (OH) (P moderadamente resistente), em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm .....	67
<b>Tabela 24.</b> Resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm.....	68
<b>Tabela 25.</b> Granulometria do solo sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm .....	69
<b>Tabela 26.</b> Densidade do solo, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo .....	70
<b>Tabela 27.</b> Densidade da partícula, em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo .....	70
<b>Tabela 28.</b> Distribuição dos poros e porosidade total do solo, em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm .....	71
<b>Tabela 29.</b> Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Média mensal das temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin), pluviometria (PPT), durante os meses de setembro de 2011 a setembro de 2012 e a pluviometria média (PPTm) dos anos de 1976 à 2010, em Linhares – ES. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2012). ..... 15
- Figura 2.** Apresentação das épocas e respectivos sistemas de preparo do solo, aplicados na área experimental sob cultivo da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo, em Linhares-ES. .... 17
- Figura 3.** Croqui do experimento com cana-de-açúcar, sob dois sistemas de preparo do solo e dois tipos de manejo da palhada, na área da LASA, em Linhares (ES), no ano de 2012 (variedade SP79-1011 em 6ª soca). SC = Cana Sem Queima (Crua), CQ = Cana Com Queima, sob preparo convencional e cultivo mínimo. Adaptado Tavares (2007)..... 17
- Figura 4.** Separação da cana em folha, ponteiro e colmo, imagem A; para determinação da massa fresca, imagem B..... 22
- Figura 5.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo, da camada 0-10 cm, e produtividade de colmos (referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), em diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo..... 34
- Figura 6.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo da camada 10-20 cm, e produtividade de colmos (referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), em diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo..... 35
- Figura 7.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo da camada 20-40 cm, e produtividade de colmos, referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo..... 36
- Figura 8.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, na camada 0-10 cm, e produtividade de biomassa fresca nas diferentes partes da planta (referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), em diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo..... 46
- Figura 9.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, na camada 10-20 cm, e produtividade de biomassa fresca nas diferentes partes da planta, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Linhares-ES.... 47
- Figura 10.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, na camada 20-40 cm, e produtividade de biomassa fresca nas diferentes partes da planta, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo..... 48
- Figura 11.** Apresentação dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar e respectivos sistemas de manejo da palhada, aplicados ao longo do tempo, em Argissolo Amarelo, no município de Linhares-ES. SQ = cana sem queima (crua) e CQ = cana com queima da palhada. .... 54
- Figura 12.** Croqui do experimento com diferentes combinações de manejo da palhada da cana-de-açúcar ao longo de três ciclos da cultura (de 1989-1996, de 1997-2004 e de 2005-2012), na área da LASA, em Linhares (ES), no ano de 2012 - 6ª soca da variedade SP79-

1011. SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSCCQ = com queima – sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Adaptado Tavares (2007). .....	55
<b>Figura 13.</b> Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo, da camada 0-10 cm, e produtividade de colmos da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes ciclos de manejo da palhada (SQ, SQCQSQ, CQSQCQ e CQ) da cana-de-açúcar.....	65
<b>Figura 14.</b> Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, da camada 0-10 cm, e produtividade de biomassa nas partes aéreas da planta (variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), sob diferentes ciclos de manejo da palhada da cana-de-açúcar (SQ, SQCQSQ, CQSQCQ e QQQ).....	73

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA GERAL.....</b>	<b>3</b>
2.1	Sistemas de Colheita da Cana-de-açúcar.....	3
2.2	Sistemas de Preparo do Solo .....	4
2.3	Produtividade e Extração de Nutrientes .....	5
2.4	Parâmetros Tecnológicos da Cana-de-Açúcar.....	7
2.5	Fracionamento do Fósforo no Solo .....	8
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>10</b>
	<b>SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E MANEJO DA PALHADA DA CANA-DE- AÇÚCAR EM LINHARES-ES .....</b>	<b>10</b>
3.1	RESUMO .....	11
3.2	ABSTRACT .....	12
3.3	INTRODUÇÃO.....	13
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.4.1	Descrição da área experimental.....	15
3.4.2	Tratamentos .....	16
3.4.3	Adubação .....	18
3.4.4	Amostragem e caracterização da fertilidade do solo.....	18
3.4.5	Fracionamento físico da matéria orgânica do solo .....	18
3.4.6	Fracionamento químico da matéria orgânica do solo.....	18
3.4.7	Fósforo orgânico.....	19
3.4.8	Amostragem e caracterização dos atributos físicos do solo .....	20
3.4.9	Amostragem e determinação da estabilidade de agregados .....	21
3.4.10	Parâmetros tecnológicos e produtividade .....	21
3.4.11	Determinação de nutrientes .....	22
3.4.12	Interpretação dos dados e avaliação estatística.....	22
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
3.5.1	Produtividade e parâmetros tecnológicos .....	23
3.5.2	Extração de macronutrientes nas partes aéreas da cana-de-açúcar.....	26
3.5.3	Propriedades químicas do solo .....	29
3.5.4	Interações dos atributos químicos do solo com a produtividade de colmos	33
3.5.5	Fracionamento do fósforo orgânico do solo .....	36
3.5.6	Atributos físicos do solo .....	40
3.5.7	Interações dos físicos do solo com a produtividade de biomassa da cultura	45
3.6	CONCLUSÕES .....	49
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>50</b>
	<b>MANEJO DA PALHADA AO LONGO DE CADA CICLO DA CULTURA DA CANA- DE-AÇÚCAR EM LINHARES-ES .....</b>	<b>50</b>
4.1	RESUMO .....	51
4.2	ABSTRACT .....	52
4.3	INTRODUÇÃO.....	53
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	54
4.4.1	Descrição da área experimental.....	54
4.4.2	Tratamentos .....	54
4.4.3	Adubação .....	56

4.4.4	Amostragem e caracterização da fertilidade do solo .....	56
4.4.5	Fracionamento físico da matéria orgânica.....	56
4.4.6	Fracionamento químico da matéria orgânica do solo.....	56
4.4.7	Fósforo orgânico.....	56
4.4.8	Amostragem e caracterização dos atributos físicos do solo .....	56
4.4.9	Amostragem e determinação da estabilidade de agregados .....	56
4.4.10	Parâmetros tecnológicos .....	56
4.4.11	Determinação de nutrientes .....	56
4.4.12	Interpretação dos dados e avaliação estatística.....	56
4.5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
4.5.1	Produtividade e parâmetros tecnológicos .....	57
4.5.2	Acúmulo de nutrientes nas partes aéreas da cana-de-açúcar.....	59
4.5.3	Propriedades químicas do solo .....	60
4.5.4	Interação dos atributos químicos do solo com a produtividade de colmos em diferentes ciclos de manejo da palhada.....	64
4.5.5	Fracionamento do fósforo orgânico do solo .....	65
4.5.6	Atributos físicos do solo .....	68
4.5.7	Interação dos atributos físicos do solo com a produtividade de biomassa nas partes aéreas da planta.....	72
4.6	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil ocupa posição de destaque em relação a produção de cana-de-açúcar no mundo, sendo o maior exportador mundial de açúcar, detendo ainda a maior frota de carros movidos a combustível renovável, o etanol. Sendo assim, a demanda por matéria-prima tem crescido a cada ano, instigando a busca por maiores produtividades, mas utilizando uma agricultura ambientalmente e economicamente sustentável.

Nesse sentido, a abolição da queima na colheita dos canaviais de forma gradativa nas regiões produtoras têm se mostrado eficiente em termos de rendimento de trabalho, qualidade do ar e do solo. Durante a queima da palhada, ocorre emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, perda de nutrientes, e após esse processo a superfície do solo fica descoberta. Com isso, dependendo do solo, declividade e condições climáticas da área, pode ocorrer a erosão do solo entre os sulcos de plantio. Contudo, na cana colhida sem queima, também nomeada de cana crua no setor sucroalcooleiro, a palhada protege o solo contra o impacto das gotas da chuva, mantém a umidade por mais tempo, e diminui a amplitude térmica do solo, propiciando um melhor micro clima aos microrganismos presentes.

A palhada sobre o solo normalmente resulta na manutenção, podendo até incrementar, os teores matéria orgânica do solo, em comparação ao sistema que colhe a cana queimada de forma manual. E sabe-se que a matéria orgânica do solo pode interferir nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Sendo importante fonte de cargas negativas que aumentam a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, já que a maioria dos solos brasileiros são altamente intemperizados possuindo baixa CTC.

Embora a abolição do uso do fogo nos canaviais apresente efeitos positivos, alguns deles citados acima, essa mudança de manejo da palhada perante a colheita tem desencadeado de forma indireta outra problemática, a compactação dos solos. Contudo, é pertinente salientar que em áreas de tabuleiros costeiros ocorre naturalmente uma camada adensada. Mas, nessas regiões, e em áreas com solos de textura argilosa, esse adensamento pode ser agravado e gerado, respectivamente, devido ao intenso uso de colheitadeiras dentre outros implementos agrícolas. Isso reflete diretamente no tipo de preparo do solo a ser utilizado no momento da renovação dos canaviais. Onde a aração profunda, gradagem e subsolagem, são operações comuns no preparo do solo, com intuito de melhorar as propriedades físicas do mesmo, rompendo essas camadas de impedimento.

Pois, quando ocorre a compactação do solo, o desenvolvimento do sistema radicular da planta pode ser comprometido, diminuindo a área e volume de exploração das raízes, conseqüentemente a absorção de água e nutrientes, podendo resultar em menores rendimentos de colmos por área plantada.

Entretanto, o maior número de operações realizadas no preparo do solo geralmente resulta em custos mais elevados de produção. Fazendo-se necessário verificar qual o tipo de preparo do solo propicia melhores condições químicas, biológicas e principalmente físicas do solo, e até que ponto, o investimento aplicado resulta em ganhos econômicos e de produtividade.

Enfim, torna-se indispensável avaliar concomitantemente as modificações que o sistema produtivo vem sofrendo quanto ao manejo da palhada no momento da colheita, preparo do solo perante a renovação do canavial, para identificar como e em qual proporção essas mudanças interferem na produtividade de colmos e na qualidade dos atributos químicos e físicos do solo.

A hipótese deste trabalho é que os sistemas de manejo da palhada perante a colheita dos anos anteriores e o sistema de preparo do solo na renovação do canavial, influenciam nas propriedades físicas e químicas do solo, bem como na produtividade da cana-de-açúcar.

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi avaliar, em experimentos de longa duração: Capítulo I: o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo (cultivo mínimo e plantio convencional) associados à distintos manejos da palhada (com e sem queima) sobre, as propriedades químicas e físicas do solo, a extração de nutrientes pelas diferentes partes aéreas da planta, a produtividade de colmos, da cana-de-açúcar em sexta soca, e verificar se os manejos aplicados influenciam nos compartimentos do fósforo do solo; e Capítulo II: avaliar as mesmas variáveis do capítulo I, mas tendo como tratamentos a manutenção, alternância e ausência da queima antes da colheita ao longo dos ciclos da cultura; em Argissolo Amarelo de textura arenosa/média, no ambiente de Tabuleiros Costeiros, em Linhares (ES).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

### 2.1 Sistemas de Colheita da Cana-de-açúcar

O sistema de colheita da cana-de-açúcar modificou-se ao longo do tempo e a principal mudança é que a colheita manual com uso do fogo (cana queimada), para facilitar o processo de corte pelos cortadores, está sendo suprimida e substituída pela colheita mecanizada, sem o uso do fogo (cana crua).

Essa mudança no sistema de colheita se deve a aspectos legais, entre outros. No estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil (ÚNICA, 2011), a Lei Estadual nº. 11.241/02 estabeleceu que uso do fogo como método despalhador e facilitador do corte da cana-de-açúcar deve ser abolido de forma gradativa. Para áreas mecanizáveis isto deve ocorrer na ordem de 20% no 1º ano (2002), 30% no 5º ano (2006), 50% no 10º ano (2011), 80% no 15º ano (2016) e 100% no 20º ano (2021) e, para áreas não mecanizáveis (com declividade superior a 12% e/ou menor de 150 ha), na ordem de 10% no 10º ano (2011), 20% no 15º ano (2016), 30% no 20º ano (2021), 50% no 25º ano (2026) e 100% no 30º ano (2031).

Ainda em São Paulo, em 04/06/2007, os prazos finais para eliminação do uso do fogo na colheita da cana-de-açúcar foram antecipados para 2014 (ao invés de 2021) para terrenos com declividade até 12% e para 2017 (ao invés de 2031) nos de declividade superior.

O aspecto legal reflete a preocupação ambiental destacando-se, principalmente, a deterioração da qualidade do ar causada pelo aumento da concentração de poluentes, nas cidades próximas às áreas canavieiras em épocas de colheita. Estudos relatam neste período da produção de cana, o aumento da incidência de doenças respiratórias (Cançado, 2003; Ribeiro, 2008; Ribeiro & Pesquero, 2010). O aspecto econômico também é relevante, pois a colheita mecanizada apresenta economia em relação à colheita manual (Ramão et al., 2007; Rodrigues & Saab, 2007). Entretanto, segundo Silva & Garcia (2009), o alto custo de implantação e a possível compactação do solo devem ser avaliados caso a caso, para viabilizar ou não a colheita mecânica.

Alguns trabalhos identificaram a compactação do solo em sistemas de colheita mecanizada (cana sem queima) e a perda de qualidade dos atributos físicos do solo pelo tráfego intenso de máquinas e implementos agrícolas (Paulino et al., 2004; Roque et al., 2010). Enquanto Souza et al. (2005) observaram em diferentes sistemas de colheita e manejo da cana crua (com e sem incorporação da palhada) e cana queimada, em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico no município de Jaboticabal-SP, que a cana-de-açúcar manejada crua e com incorporação da palhada proporcionou maior produção de colmos, maiores teores de matéria orgânica, maior estabilidade de agregados e de macroporosidade e teor de água e menores valores de resistência do solo à penetração e de densidade do solo, quando comparada ao sistema cana crua sem incorporação da palhada e a cana queimada.

No sistema de colheita mecanizada sem queima, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal (“*mulch*”) denominada palha ou palhada (Souza et al., 2005). De acordo com Sousa et al. (2012), a porcentagem de superfície do solo coberta pela palhada e a posição que a área ocupa em relação as vertentes podem interferir nos processos erosivos que ocorrem entre os sulcos, conseqüentemente nas perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes. Mas, segundo Magro (2011), o manejo cana crua exige que se adotem certos procedimentos, que são diferentes dos praticados na cana queimada, os mais importantes referem-se à conservação do solo e ao pisoteio das touceiras, pois para propiciar a conservação do solo, o sistema se apóia no efeito dos restos das culturas de rotação e da palha da cana, que protegem o solo das gotas de chuvas e favorecem a infiltração da água e a

retenção da umidade no solo. Quanto ao pisoteio sobre as touceiras, todo esforço deve ser feito para que nunca haja trânsito na faixa onde haverá a brotação da soqueira e o desenvolvimento da maior parte do sistema radicular da cultura (Magro, 2011).

No sistema de cana crua observa-se eficiente controle das ervas daninhas, o que reduz o uso de herbicidas, aumenta a infiltração da água no solo, diminui a evaporação e a excessiva radiação solar, o escoamento superficial e a erosão; aumenta os teores de  $Mg^{+2}$  e  $K^{+}$ , e diminui os teores de  $Al^{+3}$  em até 40%, nos primeiros 20 cm do solo (Urquiaga et al., 1991).

Em relação a fertilidade do solo, Mendoza et al. (2000), ao avaliarem diferentes sistemas de colheita em solo de tabuleiro no Espírito Santo, averiguaram que a colheita da cana sem queima da palha resultou em maiores teores de magnésio e carbono orgânico, enquanto a colheita de cana com queima da palha elevou os teores de fósforo e potássio no solo. Também constataram que a manutenção da palhada na superfície aumentou os teores da fração humina e da fração ácidos fúlvicos na matéria orgânica do solo.

Por outro lado, Souza et al. (2012) em experimento sob Latossolo Vermelho Distrófico, textura média, em Paraguaçu Paulista-SP, encontraram maiores teores de fósforo e potássio em manejo da cana sem queima, quando comparado com cana queimada e também com floresta nativa. Esse trabalho mostra ainda que dos três sistemas avaliados, o da cana crua apresentou maiores valores de pH,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , e menores teores de  $Al^{+3}$ , H+Al, evidenciando o efeito benéfico da manutenção da palha sobre os atributos químicos do solo.

No Brasil, em áreas que converteram o sistema com queima para sem queima da cana-de-açúcar, na camada superficial do solo, ocorre um acúmulo de carbono anual em torno de  $1,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , porém esse acúmulo também depende do nível de degradação da terra antes da conversão (Cerri et al., 2011). No momento da queima do canavial a maior parte do N contido nas folhas secas é perdida por volatilização ou na forma de aerossóis, logo, o manejo sem despalha a fogo, potencialmente, conserva nitrogênio no sistema (Franco et al., 2007).

Porém, a palha acumulada nos sistemas sem queima prévia antes da colheita, implica em mudanças no manejo da adubação nitrogenada como a utilização de fontes de N que apresentam menores perdas por volatilização de amônia (Vitti, 1998). Em estudo no município de Pirassununga-SP, realizado em canavial sem queima da palha, Vitti et al. (2007) utilizaram como tratamentos, quatro fontes distintas de N (nitrato de amônio, sulfato de amônio, uréia e uran), aplicados na dose de  $70 \text{ kg ha}^{-1}$ , em área total ou em faixa. Nesse experimento os autores identificaram que o nitrato de amônio, e o sulfato de amônio obtiveram menores perdas por volatilização em comparação as fontes constituídos por N-amídico (uréia e uran). E em relação à produtividade, o sulfato de amônio apresentou os melhores resultados, devido ter menores perdas, associada não só ao fornecimento de nitrogênio, mas também de enxofre como nutriente, propiciando melhores condições ao desenvolvimento da cultura (Vitti et al., 2007). Contudo, os autores não identificam diferença de produtividade em detrimento da forma de aplicação dos adubos, embora tenham ocorrido maiores perdas na aplicação em faixa.

## 2.2 Sistemas de Preparo do Solo

O preparo do solo compreende etapa fundamental para o desenvolvimento do sistema radicular do vegetal e deve ser adequado as peculiaridades da cultura e do solo. O preparo convencional do solo, geralmente é constituído das etapas de aração e gradagem e, no caso da cana-de-açúcar, abertura de sulcos para o plantio dos toletes e a incorporação dos resíduos vegetais (folhas, bainhas, ponteiro e até mesmo pedaços de colmo) que ocupam a superfície do solo no momento do revolvimento do solo, aumentando o contato entre as frações orgânica e mineral do solo. A quantidade desses resíduos no sistema sem queima é superior ao com

queima (Trivelin et al., 1996; Franco et al., 2007), conseqüentemente o aporte de matéria orgânica do solo também (Souza et al., 2005).

A maioria dos produtores de cana-de-açúcar no Brasil utiliza o cultivo convencional para renovar o canavial, entretanto mais recentemente foi introduzido o plantio direto das mudas onde a cultura anterior remanescente e as ervas daninhas são controladas por herbicidas, e a única operação mecânica no solo é a formação dos sulcos (Soares et al., 2009). Mas, com o aumento no uso de colheitadeiras mecânicas, podem ser agravados problemas relacionados à compactação do solo e, por isso, segundo Soares et al. (2009), parece pouco provável, por enquanto, que a prática de aração profunda ou subsolagem deixe de ser usada. O plantio direto na cana-de-açúcar é apontado por Carvalho et al. (2011) como possível causa de aumento da densidade do solo e na resistência mecânica à penetração, e queda da porosidade total do solo, em comparação a sistemas que revolvem mais o solo. Contudo, em termos técnicos e econômicos o plantio direto mostra-se mais viável na lavoura.

As práticas agrícolas aplicadas em diferentes sistemas de produção agrícola causam alterações no sistema solo-água-planta, com isso buscam-se sistemas mais conservacionistas e sustentáveis. Araújo et al. (2004) avaliando a porosidade, a densidade do solo, a curva de retenção de água do solo, a curva de resistência do solo à penetração e o intervalo hídrico ótimo, de um Latossolo Vermelho Distrófico da região Noroeste do Paraná, em solo cultivado com cana-de-açúcar e sob mata, encontraram maiores valores de densidade do solo e menores de macroporosidade, porosidade total e intervalo hídrico ótimo (IHO) na área cultivada. Os autores explicam que as mudanças no sistema poroso, na área cultivada, resultaram da compactação do solo, as quais descrevem os menores valores do IHO.

### **2.3 Produtividade e Extração de Nutrientes**

A cana-de-açúcar mostra-se uma cultura muito versátil, onde de todas as suas estruturas podem ser obtidos produtos de interesse agrícola e industrial, do caldo a matéria prima para o açúcar, a cachaça, o álcool, a rapadura e outros; do bagaço o papel, a ração, o adubo ou o combustível; e das folhas a cobertura morta ou ração animal (Schneider et al., 2013).

No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) apresenta posição de destaque no cenário agrícola, onde o país é o maior produtor e exportador mundial. Segundo a UNICA (2013), a partir do seu relatório feito até a primeira quinzena de agosto, ocorreu aumento de produção em comparação a safra anterior, e também um maior destino da matéria-prima para a produção de etanol que para produção de açúcar.

Em termos de área plantada o estado de São Paulo detém aproximadamente 54% da área total brasileira, mas os estados de Minas Gerais e Mato Grosso vêm expandindo suas plantações (UNICA, 2011). Contudo, a região nordeste do país, embora atualmente com menor expressão em área plantada, é a segunda principal região produtora. Já o estado do Espírito Santo apresenta menos de 1% da área plantada no Brasil (UNICA, 2011), porém o estado é relativamente pequeno, além disso, a cana-de-açúcar compete com a fruticultura, silvicultura e bovinocultura, as quais são expressivas no estado.

Mas, de maneira geral o aumento da demanda por matéria-prima pode ser um atrativo a novas expansões agrícolas para produção de cana-de-açúcar, portanto a melhor alternativa é atingir maiores produtividades através de técnicas e manejos apropriados para a cultura. Os maiores índices de produtividade podem ser alcançados através do manejo adequado do solo e dos resíduos culturais (Tavares et al., 2010). Além disso, a seleção de variedades adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, bem como a adoção da irrigação nos canaviais, o que leva a seleção de variedades de cana-de-açúcar a não se restringir apenas ao potencial

produtivo, mas também à capacidade da planta em transformar de forma eficiente o nutriente absorvido em biomassa (Oliveira et al., 2010).

Dentre outros fatores, o acúmulo e alocação dos nutrientes na cana-de-açúcar, na parte aérea (colmos, folhas e ponteiros), dependem da fase fenológica da cultura, da mobilidade dos mesmos na planta, e das variedades utilizadas, contudo geralmente os colmos são as partes que mais acumulam nutrientes em comparação a ponteiros e folhas (Oliveira et al., 2011).

Além disso, o crescimento, a produção de massa de matéria seca, o teor e o acúmulo de nutrientes em plantas de cana-de-açúcar em solução nutritiva, submetidas a sete tratamentos (completo e com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S), foram avaliados por Vale et al. (2011), em Jaboticabal-SP. Os autores constataram que o nitrogênio e fósforo são os nutrientes que mais limitaram o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, com reduções de 91 e 57%, respectivamente, contudo quanto ao crescimento das raízes, as omissões de nitrogênio e cálcio promovem as maiores limitações, de 83 e 48%, respectivamente.

A forma com que as raízes se distribuem ao longo do perfil do solo também tem sido relevante na absorção de água e nutrientes. Principalmente quando atingem maiores profundidades, o que beneficia a cultura, principalmente em épocas de estiagem e/ou quando a distribuição da precipitação regional é insuficiente, permitindo que a cultivar em questão expresse seu potencial produtivo (Costa et al., 2007). Com base na importância do sistema radicular da planta para o sucesso da cultura, Azevedo et al. (2011), buscou desenvolver um método para quantificar a densidade de comprimento de raízes, o autor ressalta que essa característica é importante para determinar o potencial de absorção de água e nutrientes das plantas.

Constata-se que a compactação dos solos, principalmente em áreas que sofreram a conversão de colheita manual (cana queimada) para colheita mecânica, pode intervir negativamente sobre o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, conseqüentemente na absorção de água e nutrientes, resultando geralmente em menores produtividades. Pois, a aeração do solo é fundamental para uma respiração aeróbica eficiente das raízes, produzindo energia, onde parte da mesma será utilizada na absorção dos nutrientes essenciais (Jadoski et al., 2010).

Em relação a produtividade de colmos, um estudo com sistema de plantio direto (SPD) sobre palhada de leguminosas, em comparação ao plantio convencional (PC) com vegetação espontânea incorporada ao solo; e em ambos os manejos a colheita sob cana crua, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, detectou no plantio direto produtividade 37% superior à obtida em preparo convencional do solo (Duarte Júnior & Coelho, 2010). Os autores acreditam que esse ganho de produtividade de um sistema em relação ao outro se deve ao incremento de matéria orgânica do solo, o qual pode ter proporcionado repercussões positivas em alguns aspectos da cana, talvez nutricionais, de tal maneira que aumentou a produtividade da cultura.

No entanto, estudo com diferentes sistemas de manejo físicos do solo para produção de cana-de-açúcar, caracterizados por distintos níveis de mobilização (preparo vertical, cultivo mínimo e plantio direto), em um Latossolo Vermelho Eutroférrico, em Londrina-PR, não demonstraram diferença na produtividade entre os tratamentos (Azevedo, 2008).

A manutenção da palhada sobre a superfície do solo pode causar alterações químicas, físicas e biológicas no solo, conseqüentemente interferir na produtividade de colmos do canavial. De maneira geral, os estudos comparando sistema com e sem queima, destacam efeitos positivos sob eliminação do fogo perante a colheita (Urquiaga et al., 1991; Ceddia et al., 1999; Schultz et al., 2010). Urquiaga et al. (1991), destacam que a diferença de produtividade entre os sistemas acentua-se em épocas de menor precipitação, devido a palha manter a umidade do solo.

Em relação ao preparo do solo que antecede o plantio, o plantio direto da cana-de-açúcar sobre leguminosas quando comparado ao plantio convencional de cana com vegetação espontânea incorporada, proporciona maiores teores foliares de N e K na cana (Duarte Júnior & Coelho, 2008).

A adubação nitrogenada influencia na absorção do próprio nitrogênio e também pode influenciar na absorção de outros nutrientes. Segundo Franco et al. (2007), avaliando o acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea e na parte subterrânea da cana-de-açúcar (cana-planta) em função da adubação nitrogenada, sendo as doses: 0, 900, 1800 e 2700 mg vaso<sup>-1</sup>, e dos resíduos culturais incorporados ao solo, contendo folhas secas (CF) ou não (SF), em vasos contendo 250 kg de terra de textura arenosa, em Piracicaba-SP, observaram que a adubação nitrogenada promove maior acúmulo de N e S na parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, sendo a relação N/S igual a 2,0, proporcionando maiores acúmulos de todos os macronutrientes na parte subterrânea (raízes e rizomas) da cana-planta. Os autores descrevem que o acúmulo seguiu a seguinte ordem decrescente de grandeza: N = K > Ca > Mg = S > P, e que os tipos de resíduos culturais incorporados ao solo não proporcionaram efeito significativo no acúmulo de macronutrientes pela cultura de cana-de-açúcar durante o ciclo da cana-planta.

Na absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar ocorre o efeito sinérgico do nitrogênio no acúmulo dos demais macronutrientes, em especial na parte subterrânea (raízes e rizomas) da cultura, podendo esse acúmulo implicar na maior longevidade da lavoura canavieira, aliada a ganhos significativos em produtividade de colmos nas rebrotas subsequentes (Franco et al., 2007).

#### **2.4 Parâmetros Tecnológicos da Cana-de-Açúcar**

No mercado canavieiro ocorreram alterações, ao longo do tempo, quanto aos parâmetros que determinam o preço da matéria-prima entregue as usinas e/ou destilarias. Sachs (2007) comenta e discute, em sua revisão, sobre a remuneração da tonelada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, ou seja, quais foram as formas de pagamentos pela cana-de-açúcar.

De acordo com a autora a partir da década de 80 todas as usinas e destilarias, com mais de três anos de funcionamento, teriam que pagar a cana aos fornecedores pelo teor de sacarose, conhecido como pagamento de cana pelo teor de sacarose (PCTS), pois até então a mesma era comercializada com base no antigo método por peso, mas no final da década de 90 iniciou outra forma de pagamento da cana pelo total de açúcares recuperáveis (ATR). Essa forma é utilizada até os dias atuais, a qual utiliza a qualidade da cana-de-açúcar expressa pela concentração total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) recuperáveis no processo industrial e expresso em quilograma por tonelada de cana.

Em estudo avaliando os parâmetros tecnológicos da cultura Guedes (2002), observou em um estudo em Conceição da Barra-ES, que o manejo da palhada perante a colheita (com ou sem queima), fontes e doses de adubação, e a forma de aplicação, alteram os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. Mas, Ceddia (1996), avaliando os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar (Pol %, °Brix, Pureza, A.R. %, A.R.T. % do caldo e fibra do colmo) em sistemas de manejo da palhada crua e queimada, não constatou diferenças significativas entre os tratamentos para essas variáveis.

Duarte Júnior & Coelho (2008) avaliando as características agroindustriais brix, pureza do caldo, ATR, APV, fibra, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, em função do plantio direto (PD) comparativamente ao convencional (PC) com e sem adubação, onde os tratamentos foram: cana PD sobre crotalária (*Crotalaria juncea*); cana PD sobre feijão de

porco (*Canavalia ensiformis*); cana PD sobre mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e cana PC com vegetação espontânea incorporada, sendo cada um com e sem adubação, não observaram diferenças estatísticas exceção para os teores de fibra da cana, onde a cana convencional com vegetação espontânea incorporada apresentou 7% a mais fibrosa que a cana PD sobre as leguminosas. Os autores justificam esse resultado, provavelmente, ao menor teor de potássio apresentado pela cana convencional, pois o K tem papel reconhecido na síntese de açúcares; portanto, quando há menor acúmulo de açúcar, o aumento de fibra na cana é favorecido.

Mas, Silva Junior et al. (2013), verificaram que o tipo de preparo do solo influencia nos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. Onde a sulcação direta (SD) embora não tenha um custo operacional significativo de preparo de solo, pois é realizada somente a sulcação, apresentou os menores valores de tonelada de colmo por hectare (TCH), e de tonelada de pol por hectre (TPH), em cana planta e 1ª soca, o que pode ser explicado devido à elevada densidade do solo e a baixa porosidade, quando comparada a tratamentos que revolveram mais o solo (Silva Junior et al., 2013).

Além disso, o manejo da irrigação com supressão em diferentes épocas após a emergência dos perfilhos, associados a distintos níveis de adubação nitrogenada e potássica, também interferem na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, porém as respostas são dependentes ainda da variedade em questão (Oliveira et al., 2012).

## 2.5 Fracionamento do Fósforo no Solo

A análise isolada de fósforo (P) disponível é limitada do ponto de vista de interpretação do teor de fósforo no solo, pela formação de compostos fosfatados de baixa solubilidade (Busato et al., 2005). Assim o fracionamento sequencial pode ser uma ferramenta para uma melhor interpretação desse elemento no solo. Esta técnica consiste na extração sequencial em uma amostra de solo com uma série de reagentes ou soluções extratoras com seletividade para dissolver diferentes formas de P, com base na natureza do composto fosfatado e da energia de ligação com o solo (Gatiboni et al., 2013).

Os métodos mais difundidos para o fracionamento do P e avaliação da sua dinâmica no solo são Chang & Jackson (1957), Bowman & Cole (1978), Ivannoff et al. (1998) e Hedley et al. (1982), e a partir desses várias modificações foram propostas. Porém, cada um tem seu objetivo, já que a de Chang & Jackson (1957) extrai as formas inorgânicas do fósforo (Pi), possibilitando classificar o P desde a forma mais solúvel até os fosfatos oclusos. As metodologias propostas por Bowman & Cole (1978) e Ivannoff et al. (1998), permitem identificar as formas orgânicas, e a de Hedley et al. (1998) as formas inorgânicas e orgânicas com e sem a inclusão do P microbiano. Contudo salienta-se que todos os métodos são arbitrários, sendo possível determinar com maior grau de certeza apenas o teor de P total do solo (Gatiboni et al., 2013).

Segundo Pavinato & Rosolem (2008), a disponibilidade de P é muitas vezes descrita pelo grau de labilidade desse nutriente no solo, ou seja, pela forma e interação que o P está sofrendo pelos sítios de adsorção do solo. Se o mesmo está em solução ou fracamente adsorvido, então está na forma lábil, se está adsorvido com maior força nas argilas e oxihidróxidos de Fe e Al, então o grau de interação é que regulará a labilidade do P. Com o envelhecimento do solo, as formas lábeis de P diminuem e as formas não-lábeis aumentam, especialmente aquelas inorgânicas.

Contudo, a maior parte do P inorgânico (Pi) é adsorvido às superfícies minerais ou precipitados como compostos P secundárias de modo que apenas uma pequena parte da Pi é disponível para as plantas (Schmidt et al., 1996; Redel et al., 2007). Mas, o P orgânico (Po), pode representar mais de 80 % do fósforo lábil, dependendo da vegetação que ocupa o solo e

do grau de intemperismo do mesmo (Cunha et al., 2007), o que possibilita o fornecimento de fósforo a solução do solo (Zaia et al., 2008). Nesse sentido, diversos estudos têm encontrado correlação positiva entre os teores de  $P_o$  do solo e os de carbono orgânico total e  $P$  total (Guerra et al., 1996; Cunha et al., 2007; Beutler, 2012; Duda et al., 2013). Com isso, acredita-se que sistemas de manejo que mantêm e/ou incrementam a matéria orgânica do solo tendem a favorecer a manutenção de  $P$  na solução do solo, pelo fornecimento direto do elemento e/ou diminuição dos sítios de adsorção do  $P$  no solo.

Em sistemas de produção de cana-de-açúcar, a cana crua possibilita maior conteúdo de fósforo ( $P$ ) em todos os compartimentos ( $P$  total,  $P$  disponível,  $P_o$ ,  $P_i$  e  $P$  nas substâncias húmicas), isso a partir de dados obtidos através da extração sequencial de  $P$  proposta por Hedley et al. (1982), porém com algumas adaptações (Busato et al., 2005). De acordo com esses autores, além da manutenção da palha no solo, a adição de vinhaça também altera a distribuição das frações de  $P$  no solo, com diminuição da participação das formas não-lábeis e conseqüente aumento das formas lábeis. O menor teor de  $P$  orgânico na cana crua evidencia a participação desse componente na disponibilidade de  $P$  por meio de sua mineralização (Busato et al., 2005).

O tipo de preparo do solo também pode influenciar na dinâmica e conteúdo do fósforo no solo. Pois, segundo Rheinheimer & Anghinoni (2001), após realizarem a extração sequencial de  $P$  segundo a metodologia de Hedley et al. (1982), em amostras de diferentes solos (Latosolo Vermelho Distroférico típico, Latossolo Vermelho Distrófico típico e Argissolo Vermelho distrófico típico), em diversas camadas (0-2,5; 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm), em Santo Ângelo-RS, observaram que o sistema de plantio direto (SPD) resultou em maior conteúdo de  $P$  total quando comparado ao convencional (SCC), principalmente na camada mais superficial, isso independente das sucessões de plantio: aveia/milho, trigo/soja; e da rotação: inverno (trigo, tremoço, colza e aveia+trevo) e verão (milho e soja). Mas, os autores relatam que o inverso ocorreu na camada 7,5-17,5 cm, onde atribuem esse resultado a não-incorporação dos fertilizantes adicionados na superfície, às menores perdas por erosão, e, também, pela reciclagem proporcionada pelas plantas, as quais absorvem o  $P$  disponível de camadas mais profundas, deixando-o na superfície, quando ocorre a decomposição dos seus resíduos. Explicam também que o solo da região próxima à dissolução do fertilizante é saturado pelos produtos da reação solo-fertilizante, diminuindo a energia de ligação do fosfato com os colóides do solo, além disso, o SPD possui teores mais elevados de matéria orgânica, cujas substâncias húmicas, ou mesmo ácidos orgânicos de baixa massa molecular, podem auxiliar na diminuição dos sítios de adsorção e da energia de ligação fosfato-solo.

A concentração da solução extratora também interfere nos resultados obtidos em fracionamento do fósforo inorgânico ( $P_i$ ). Rheinheimer & Anghinoni (2001), verificaram que os teores de  $P$  inorgânico extraídos com  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  no LVd foram superiores no SPD, comparativamente aos do SCC, em todas as camadas, representando, em média, 46,6% e 47,5% do  $P_i$  total. Com o  $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , recuperou-se mais  $P_i$  no SPD do que no SCC, nas duas camadas mais superficiais, o que representa 17,2% e 21,6% do  $P_i$  total. Os teores de  $P$ -residual não diferiram devido aos métodos de preparo do solo, às culturas precedentes, ou às camadas amostradas. Os fosfatos de  $\text{Ca}$  secundários extraídos do LVd,  $P_i\text{-HCl}$ , foram muito superiores no SPD do que no SCC, especialmente na camada superficial, tal comportamento reforça a hipótese de que adições constantes de fertilizantes fosfatados na superfície do SPD aumentam muito o  $P$  da solução do solo e pode ocorrer a neoformação de fosfatos de  $\text{Ca}$  de menor solubilidade (Rheinheimer & Anghinoni, 2001).

### **3 CAPÍTULO I**

## **SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E MANEJO DA PALHADA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM LINHARES-ES**

### 3.1 RESUMO

As formas de preparo do solo na renovação dos canaviais e de manejo da palhada na colheita da cana-de-açúcar podem influenciar na dinâmica da matéria orgânica do solo, bem como na fertilidade e atributos físicos do solo, influenciando a absorção de água e nutrientes pela cultura, conseqüentemente na produção de colmos por área plantada. O objetivo do estudo apresentado nesse capítulo foi avaliar, em experimento de longa duração, o efeito de duas formas de renovação do canavial (preparo convencional e cultivo mínimo) associado a dois sistemas de manejo da palhada antes da colheita (com queima e sem queima), sobre a produtividade da cana-de-açúcar em sexta soca da variedade SP79-1011; determinar a influência desses tratamentos nas propriedades químicas e físicas do solo em diferentes profundidades, na acumulação de nutrientes nas partes aéreas da planta e nas frações de fósforo (P) do solo. A área de estudo é de Argissolo Amarelo de textura arenosa/média em ambiente de Tabuleiros Costeiros, no município de Linhares (ES). Os resultados indicam que as formas de preparo do solo e manejo da palhada não alteraram significativamente a produção de biomassa pela cultura e os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. Contudo, o sistema de cultivo mínimo (CM) favoreceu a manutenção do carbono das frações húmicas e o associado aos minerais, os valores de  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  e carbono orgânico total em todas as camadas avaliadas, de  $K^+$  na profundidade de 10-20 cm e de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) nas camadas superficiais, quando comparado ao preparo convencional (PC). Em relação ao manejo da palhada o tratamento CQ favoreceu o aumento dos teores de P disponível do solo, mas somente na camada superficial, em relação à SQ. Contudo, avaliando os atributos físicos do solo, o maior revolvimento da camada arável no PC possibilitou menores valores de densidade do solo, maiores valores de macroporos e total de poros, do que o CM, o que repercutiu na produtividade de biomassa das plantas. Quanto à extração de nutrientes, o PC favoreceu o acúmulo de nitrogênio e cálcio, nos colmos, em relação ao CM. Já a cana SQ favoreceu o acúmulo de cálcio nos colmos e magnésio nos colmos e ponteiros, quando comparada a cana CQ. Para o fracionamento do P no solo, verificou-se que o CM aumentou o total de P da fração lábil (Pt-bic), contudo apresentando maiores valores de P inorgânico (Pi-bic) do que o PC, sendo que em todas as frações avaliadas (lábil, moderadamente lábil e moderadamente resistente) o P inorgânico predominou sobre o orgânico para todos os tratamentos.

**Palavras-chave:** Cana Queimada. *Saccharum spp.*. Experimento de longa duração.

### 3.2 ABSTRACT

The systems of tillage used in the renovation of the sugarcane fields and the straw management after the harvesting of sugarcane, can influence the dynamics of soil organic matter, as well as the soil fertility and physical attributes, reflecting in the absorption of water and nutrients by the crop, consequently in the straw yield per planted area. Thus, the objective of the study presented in this chapter was to evaluate, in a long-term experiment, the effect of two tillage systems (minimum and conventional) associated with two straw managements (with and without burning), on the sugarcane yield on the sixth ratoon using the cane variety SP79-1011; and to determine the influence of these treatments in the soil chemical and physical attributes, in the nutrient uptake by different aerial parts of the crop, and in the compartments of soil phosphorus (P). The area is characterized by an Uduft soil with sandy over medium texture, typical of the coastal tablelands, in Linhares municipality (Espírito Santo State). The results indicated that the systems of tillage and mulch management of sugarcane did not significantly affect the biomass production and the technological parameters of the sugar cane. However, the minimum tillage (MT) favored the maintenance of the carbon of humic fractions and C associated to minerals, the values of  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  and total organic carbon in all layers evaluated, the level of  $K^+$  at the depth of 10-20 cm, and the weighted mean diameter (PMD) and geometric mean diameter (GMD) in the superficial layers, when compared to the conventional tillage (CT) system. Regarding the mulch management treatment WB favored the increase in levels of available soil P, but only in the surface layer, when compared to the GC treatment. However, the evaluation of the soil physical attributes showed that the greater revolving of soil in the CT resulted in lower values of bulk density, higher macroporosity and total pore than in the MT system; which was reflected in the biomass productivity of plants. As for the nutrients extraction, the CT favored the accumulation of nitrogen and calcium in the stems compared to the MT system. The GC cane resulted in calcium accumulation in the stems, and magnesium in the stems and pointers, when compared to the WB cane. As for the fractionation of P in soil, it was found that the MT system increased the total of the labile fraction P (Pt-bic); however it showed higher inorganic P (Pi-bic) values than the CT; moreover in all fractions evaluated (labile, moderately labile and moderately resistant) the inorganic P predominated over to organic in all treatments.

**Key words:** Burnt cane. *Saccharum spp.* Long-term experiment.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A lavoura de cana-de-açúcar apresenta grande importância no cenário econômico brasileiro, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial. O grande desafio da lavoura é buscar sistemas que proporcionem altos rendimentos e que não aumentem os danos ambientais. Nesse aspecto, a conversão da colheita da cana queimada em crua, no setor sucroalcooleiro é uma realidade, por aspectos legais, ambientais e/ou econômicos. Segundo Soares et al. (2009) essa mudança, da colheita manual (cana queimada) para a mecanizada (cana crua), contribui para redução de cerca de 80% das emissões de gases do efeito estufa (GEEs) na colheita. Além da preservação de nutrientes, especialmente N e S, manutenção da umidade e maior proteção da superfície do solo pela manutenção da palhada.

A manutenção da palhada na superfície do solo promove alterações no teor e estoque de carbono no solo (Galdos et al., 2009; Pinheiro et al., 2010; Souza et al., 2012), afetando, principalmente, a dinâmica do carbono e a humificação da matéria orgânica (Mendoza et al., 2000; Abbruzzini, 2011). Segundo Canellas & Santos (2005), as diferentes frações de carbono orgânico humificado extraído do solo possuem características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas, e a distribuição destas frações no solo pode indicar, portanto, a qualidade da matéria orgânica. Estudos mostram que a matéria orgânica do solo na fração pesada associada ao material mineral do solo (frações areia, silte e argila) geralmente compreende cerca de 80% do carbono orgânico total (Rangel & Silva, 2007; Conceição et al., 2008), e nela estão presentes as frações estáveis, denominadas de substâncias húmicas (SHs) (Primo et al., 2011).

A manutenção ou retirada da palhada na superfície do solo interfere diretamente nas propriedades físicas e químicas do solo e, portanto, na sustentabilidade da produção agrícola (Monteiro & Ponciano, 2012). Destaca-se entre os atributos químicos do solo, o fósforo, devido a sua baixa disponibilidade em solos muito intemperizados e a sua importância para as plantas. Pois, além disso, os resultados são controversos em relação ao manejo da palhada aplicado e o fósforo disponível no solo, onde de acordo com Mendoza et al. (2000), Correia & Alleoni (2011) e Torres et al. (2013) a queima aumenta os valores de fósforo disponível no solo, entretanto Canellas et al. (2003) e Souza et al. (2012) atribuem esse efeito a cana crua. Logo, o fracionamento sequencial do fósforo pode ser uma ferramenta importante na investigação dos compartimentos do fósforo no solo, frente a distintas formas de manejo (Busato et al., 2005; Gatiboni et al., 2013).

A degradação dos solos inicia-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subsequentes, não racionais, acelerando a decomposição da matéria orgânica e as perdas de nutrientes que, em muitos casos, não são repostos na mesma proporção ao longo do tempo (Duarte Júnior & Coelho, 2010). Dessa forma, o sistema de plantio direto, nas últimas décadas, tem sido apontado como alternativa ao plantio convencional, pois adota práticas conservacionistas, em vez de preparo intensivo do solo. Tal fato é particularmente relevante em solos dos “Tabuleiros Costeiros”, feição geomorfológica observada ao longo de praticamente toda a faixa costeira do Brasil, pois esses caracterizam-se como profundos, ácidos, álicos, com presença de horizontes coesos e baixa CTC. O que reflete a mineralogia caulínica desses materiais, por se tratar de solos com argila de atividade baixa, assim a CTC mostra-se dependente do teor de carbono orgânico do solo (Corrêa et al., 2008).

O uso frequente de máquinas e implementos nas operações agrícolas tem causado a perda da qualidade física do solo, em especial quando a colheita é realizada de forma mecânica (geralmente cana crua) (Souza et al., 2006; Machado et al., 2010; Garbiate et al., 2011; Torres et al., 2013). Isto proporciona, geralmente, restrições ao desenvolvimento do

sistema radicular da cultura (Otto et al., 2011; Baquero et al., 2012), conseqüentemente na absorção de água e nutrientes, e até mesmo na longevidade e produtividade dos canaviais . Com isso, o uso de sistemas de preparos que revolvem mais a camada arável do solo podem ter momentaneamente, maior potencial para reverter e/ou minimizar os efeitos da compactação do solo, melhorando ainda o rendimento de colmo por área plantada (Bangita & Rao, 2012; Silva Junior et al., 2013).

Segundo Souza et al. (2012), o controle do tráfego agrícola, com ajuste da bitola do trator e transbordo ou ajuste da bitola e uso de piloto automático, pode ser uma alternativa para localizar a compactação dos solos. Assim, permite maior capacidade de suporte de carga na linha de rodado e preserva a qualidade estrutural na região da soqueira, com reflexo positivo sobre o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar (Souza et al., 2012).

Com a crescente demanda de cana-de-açúcar, principalmente para produção de etanol e açúcar, fazem-se necessários mais estudos sobre as modificações no sistema produtivo da cana-de-açúcar quanto ao manejo da palhada no momento da colheita e o preparo do solo na renovação do canavial, para identificar como e em que proporção essas mudanças interferem na produtividade e qualidade do solo.

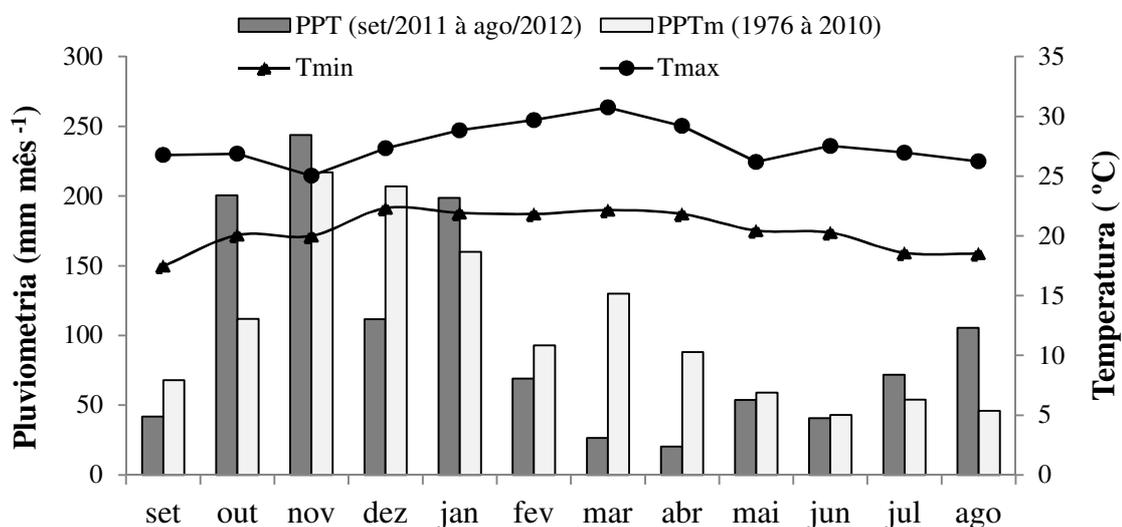
O objetivo desse estudo foi avaliar, em experimento de longa duração, o efeito da forma de renovação do canavial (plantio convencional e cultivo mínimo) associado a dois sistemas de manejo da palhada antes da colheita (com queima e sem queima) sobre a produtividade da cana-de-açúcar; determinar a influência desses tratamentos nas propriedades químicas e físicas do solo e na acumulação de nutrientes pela cultura, em Argissolo Amarelo de textura arenosa/média, no ambiente de Tabuleiros Costeiros, em Linhares (ES).

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Descrição da área experimental

Este trabalho foi realizado em área cedida pela Linhares Agropecuária S.A. no município de Linhares - Estado do Espírito Santo, situado entre os paralelos 19°06' e 19° 18' de latitude Sul e os meridianos 39° 45' e 40° 19' de Longitude Oeste. A altitude local é de 28,0 m. De acordo com a divisão regional do Estado, Linhares faz parte da zona fisiográfica denominada Baixo Rio Doce (EMBRAPA/SNLCS, 1978). Esta região se caracteriza pela ocorrência de extensas áreas de relevo suave ondulado onde uma série de baixos platôs compõe o chamado “relevo tabuliforme”. Os declives raramente são superiores a 3%.

O clima da região corresponde na classificação de Köppen ao tipo Aw, ou seja, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A estação chuvosa geralmente vai de outubro a abril e a época seca abrange os meses de junho, julho e agosto, podendo se estender até setembro (Silva, 2000). A vegetação primária remanescente na região é representada pela floresta tropical subperenifólia. Contudo, os dados meteorológicos referentes a safra de 2012 (Figura 1), época que foram coletados amostras de planta e terra, apresentaram regime hídrico atípico, onde o mês de agosto caracterizou-se com precipitação acima da média dos anos anteriores (1976 à 2010), enquanto fevereiro, março e abril, mais secos que a média dos anos anteriores. A precipitação média anual dos anos de 1976 a 2010 foi de aproximadamente 1280 mm, mas a referente a safra de 2012 (set/2011 à ago/2012), safra desse estudo, foi em torno de 1180 mm, o que correspondeu em média 100 mm a menos que a média dos últimos 35 anos.



**Figura 1.** Média mensal das temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin), pluviosidade (PPT), durante os meses de setembro de 2011 a setembro de 2012 e a pluviosidade média (PPTm) dos anos de 1976 à 2010, em Linhares – ES. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2012).

Em relação à precipitação pluvial anual exigida pela cana-de-açúcar, 1000 mm são suficientes para obtenção de altas produtividades. Contudo, quando bem distribuída ao longo do ano e desde que não ocorra restrição hídrica (principalmente nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos), porém no período maturação a deficiência hídrica permite o repouso fisiológico consequentemente o enriquecimento em sacarose (Inman-

Bamber & Smith, 2005). Mas, o genótipo da planta pode ou não favorecer a adaptabilidade da planta em condições de restrição hídrica.

A cultivar usada no estudo foi a SP79-1011 (*Saccharum spp.*), que possui maturação média, alto teor de sacarose, baixo teor de fibra, média exigência de fertilidade do solo, bom perfilhamento, florescimento raro, boa brotação de soqueira, intermediária resistência ao carvão, resistência a escaldadura e suscetibilidade à ferrugem (Fernandes, 2005).

O experimento foi instalado em área de tabuleiro em solo classificado como Argissolo Amarelo textura arenosa/média (Ravelli Neto & Lima, 1987). Os solos dos tabuleiros têm como material de origem, sedimentos argilo-arenosos pré-edaforizados do Terciário que pertencem à Formação Barreiras. De uma maneira geral, estes solos possuem horizontes bem diferenciados apresentando horizonte B textural com predomínio de argila caulinitica, sendo normalmente distróficos (Jacomine, 1974).

### 3.4.2 Tratamentos

O experimento de campo foi instalado em 1989, sendo considerado um dos mais antigos de forma contínua e com a mesma lavoura no Brasil. A área experimental recebeu o primeiro preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar em 05/1989, em 04/1997 ocorreu a primeira renovação do canavial e em 05/2005 a segunda. Nessas três épocas de preparo do solo, para o plantio dos toletes, foi utilizado o preparo convencional (1 aração, 2 gradagens pesadas e sulcação, a 30 cm de profundidade), onde desde da implantação do experimento (1989) até a coleta das amostras desse estudo (primeira semana de outubro 2012), ou seja, durante aproximadamente 22 anos foi utilizado como tratamentos a colheita da cana-de-açúcar com queima e sem queima da palhada.

A colheita sem queima consistiu na despalha manual, ou seja, não foi mecânica, na qual o cortador removeu com o podão as folhas do colmo, seguindo-se o corte do pé e da ponta (ponteiro). Esse material, após a colheita, foi espalhado uniformemente na área. Na colheita de cana com queima, o fogo foi atado previamente em todo o perímetro, de tal forma que o seu término se processou na parte central da mesma. A seguir fez-se o corte como descrito anteriormente (Silva, 2000). Assim, independente do manejo da palhada (com ou sem queima), a colheita de toda área experimental foi realizada de forma manual, o que conferiu menor trânsito de máquinas e implementos agrícolas.

Contudo, em 1997, na primeira renovação do canavial foi introduzindo mais um tipo de preparo do solo, em metade da área, o cultivo mínimo, que consistiu na destruição da soqueira com a utilização de herbicidas e abertura de sulcos a 30 cm de profundidade, nas entre linhas, para o plantio dos toletes sem o prévio revolvimento do solo. O histórico do preparo do solo na área experimental, referentes aos três ciclos de colheita (1989 - 1996; 1997 - 2004 e 2005 - 2012) pode ser observado na Figura 2.

Dessa forma, as parcelas atuais têm tratamento com cultivo mínimo (CM) e plantio convencional (PC) e subparcelas de cana sem queima (SQ) e cana com queima (CQ).

**Tratamento 1:** área renovada com cultivo mínimo.

Tratamento 1 A: área renovada com cana sem queima;

Tratamento 1 B: área renovada com cana com queima.

**Tratamento 2:** área renovada com preparo convencional.

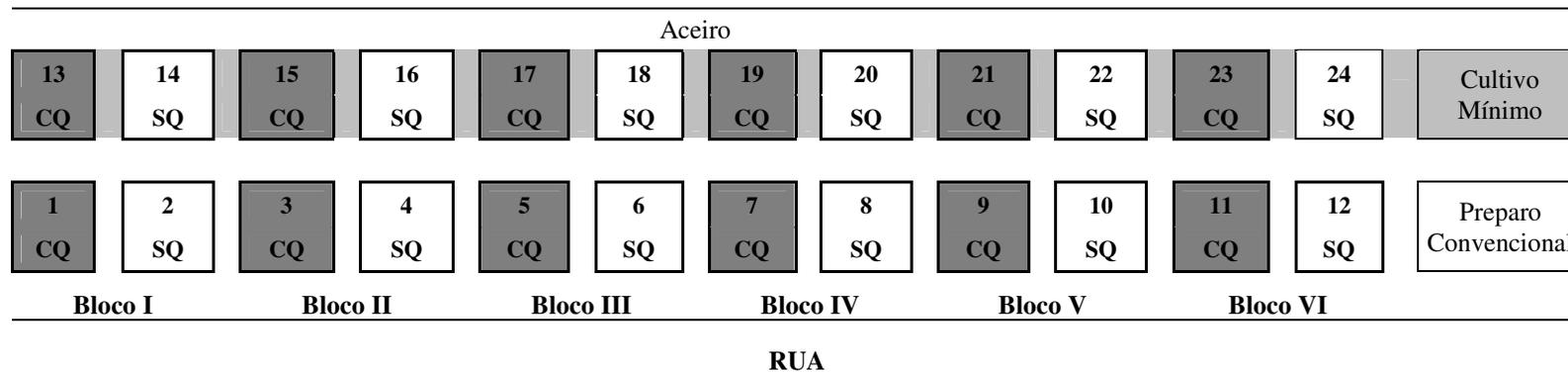
Tratamento 2 A: área renovada com cana sem queima;

Tratamento 2 B: área renovada com cana com queima.

A área experimental é ilustrada no croqui na Figura 3.

<b>Preparo Convencional</b>	<b>Cultivo Mínimo</b>	<b>Cultivo Mínimo</b>
	<b>Preparo Convencional</b>	<b>Preparo Convencional</b>
Implantação da Área Experimental em 05/1989	Primeira Renovação do Canavial em 04/1997	Segunda Renovação do Canavial em 05/2005

**Figura 2.** Apresentação das épocas e respectivos sistemas de preparo do solo, aplicados na área experimental sob cultivo da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo, em Linhares-ES.



**Figura 3.** Croqui do experimento com cana-de-açúcar, sob dois sistemas de preparo do solo e dois tipos de manejo da palhada, na área da LASA, em Linhares (ES), no ano de 2012 (variedade SP79-1011 em 6ª soca). SC = Cana Sem Queima (Crua), CQ = Cana Com Queima, sob preparo convencional e cultivo mínimo. Adaptado Tavares (2007).

### 3.4.3 Adubação

A adubação no plantio (segunda renovação - 2005) foi de 500 kg da formulação 05-20-20 (25 kg N- uréia; 100 kg K<sub>2</sub>O- cloreto de potássio; 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- superfosfato simples) e 500 kg de calcário dolomítico, aplicados no sulco. Nos anos seguintes (2006-2011), fez-se a adubação das soqueiras, aproximadamente 40 dias após as colheitas, com 500 kg de adubo formulado 20-00-30 (100 kg N- uréia; 150 kg K<sub>2</sub>O- cloreto de potássio), aplicado na entre linha. A descrição do manejo de cultivo ao longo da condução da área experimental (1989-2011) foi detalhada por Oliveira (2013).

### 3.4.4 Amostragem e caracterização da fertilidade do solo

Foram coletadas 5 amostras simples de terra, nas entre linhas, para constituir uma amostra composta de cada parcela. As amostras foram coletadas imediatamente antes da colheita, nas profundidades de: 0-10, 10-20 e 20-40 cm, totalizando 24 amostras compostas em cada profundidade, as quais foram submetidas as seguintes análises químicas: pH em água, fósforo assimilável, potássio e sódio trocáveis, cálcio e magnésio trocáveis, alumínio trocável e acidez potencial, de acordo com a EMBRAPA (1997). Os teores de carbono orgânico total (COT) do solo foram determinados por oxidação da matéria orgânica conforme Yeomans & Bremner (1988). Calculou-se também o valor T, a soma de bases e a percentagem de saturação por bases.

### 3.4.5 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

O fracionamento granulométrico da MO foi realizado segundo o método de Cambardella & Elliot (1992). Pesou-se 20 g de solo e adicionou-se 60 ml de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L<sup>-1</sup>). As amostras foram agitadas por 16 horas em agitador horizontal. Após a homogeneização, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água, com o objetivo de remover toda a argila e silte. O material retido na peneira, que consiste na MOP (matéria orgânica particulada) associada à fração areia, e o que passou pela peneira de 53 µm consiste na MOM (matéria orgânica mineral) associada às frações silte e argila, foi seco em estufa a 50 °C, moído em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de C orgânico segundo Yeomans & Bremner (1988).

### 3.4.6 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo

Para a extração e o fracionamento químico do solo foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (Swift, 1996) conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003), obtendo-se o carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM).

Pesou-se uma massa de solo que contenha 30 mg de carbono orgânico submetendo-se ao contato com 20 ml de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> por um tempo de 24 h. A separação entre o extrato alcalino (EA = AF + AH) e o resíduo foi feita por centrifugação a 5000 g por 30 minutos. O resíduo foi reservado para determinação da humina (Hum). O pH do extrato alcalino (EA) foi ajustado para 1,0 com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, seguido de decantação por 18 h. O precipitado (AH) foi separado da fração solúvel (AF) por filtração e ambos os volumes aferidos a 50 ml com água destilada.

A determinação quantitativa do carbono orgânico nas AF e AH foram feitas usando-se alíquotas de 5,0 ml de extrato, 1,0 ml de dicromato de potássio 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5,0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. No resíduo, foi determinado o carbono orgânico na fração HUM.

Após secagem do material em estufa à 65°C (secagem completa) e adicionando 5,0 ml de dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> e 10,0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup> (Yeomans & Bremner, 1988).

### 3.4.7 Fósforo orgânico

Para a determinação das frações orgânicas e inorgânicas totais do P do solo procedeu-se de acordo com o método proposto por Bowman (1989), e separadamente, as frações lábeis (extração com bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> à pH 8,5) de acordo com Bowman & Cole (1978), com modificações segundo Duda (2000) e adaptações sugeridas por Beutler (2012).

A análise consistiu em uma extração sequencial do fósforo nas amostras de solo desde o extrator bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) até o último extrator hidróxido de sódio (NaOH).

A primeira extração foi realizada com uma solução de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> com pH 8,5. Inicialmente pesou-se 1,00 g de TFSA em tubos modelo Falcon® com capacidade de 50 mL, e em seguida adicionou-se 40 mL de solução de bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> à pH 8,5 em cada amostra. Estas amostras foram agitadas manualmente e de forma leve, por aproximadamente 5 segundos. Após, as amostras permaneceram em repouso durante 16 horas. Posteriormente foram centrifugadas a 5.000 rpm (2.940 g) durante 5 minutos. Assim, todo o sobrenadante foi transferido e reservado em outro tubo Falcon®. Do sobrenadante obtido tomou-se uma alíquota de 20,0 mL e transferiu-o para um tubo de ensaio. Adicionou-se 2,0 mL de cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>) saturado e 3,0 mL de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) concentrado (P.A. 72 %). Levou-se para bloco digestor, iniciando-se com a temperatura de 75 °C e elevando-se 15 °C a cada 20 minutos até atingir 120 °C. Depois elevou-se 10 °C a cada 30 minutos até atingir 150 °C. A digestão foi concluída quando evaporou-se praticamente todo o líquido e ocorreu a formação de um gel incolor (cerca de 24 horas de digestão).

Depois de concluída a digestão, deixou-se esfriar os tubos de ensaio e removeu-se o material digerido para tubos Falcon® limpos, aferindo-se para 20 mL. Então foi determinada a concentração de fósforo com espectrofotômetro na faixa do azul (660 nm) a partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em meio sulfúrico, na presença de ácido ascórbico como redutor (Embrapa, 1997).

Para determinar o fósforo no extrato do bicarbonato não digerido (Pi-bic) procedeu-se da mesma forma que determinou-se o fósforo no extrato do bicarbonato digerido (Pt-bic).

A segunda extração foi realizada por meio da utilização de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Na amostra de solo residual da primeira extração (NaHCO<sub>3</sub>), adicionou-se 1,5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e logo em seguida, adicionou-se 2,0 mL de água destilada, sendo esta dividida em 0,5 mL a cada 5 segundos, sempre agitando-se o tubo levemente, de forma manual e circular, tomando-se o cuidado para que se desprendesse todo o resíduo do fundo do tubo. Em seguida aferiram-se os tubos a 40 mL com água destilada. Todos estes procedimentos foram realizados antes de ter sido processada a amostra seguinte. Posteriormente, deixaram-se as amostras esfriar e centrifugou-se a 5.000 rpm (2.940 g) durante 5 minutos. Em seguida transferiu-se todo o sobrenadante para tubos limpos.

Para a digestão de uma alíquota do extrato ácido procedeu-se como descrito para a digestão do extrato do bicarbonato. O teor de fósforo foi determinado de acordo com Embrapa (1997). Esta foi a determinação do extrato ácido digerido (Pt-H).

A determinação do fósforo no extrato ácido não digerido (Pi-H) teve os mesmos procedimentos que foram realizados no extrato ácido digerido (Pt-H).

A terceira extração foi realizada com o uso de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L<sup>-1</sup>. No solo residual da segunda extração (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), adicionou-se 40 mL de solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> e agitou-se manualmente por aproximadamente 5 segundos,

tomando-se o cuidado para desprender todo o solo residual no fundo do tubo. Em seguida deixaram-se os tubos com as amostras em banho-maria a 80 °C durante 2 horas. Após, deixou-se esfriar e centrifugou-se a 5.000 rpm (2.940 g) por 5 minutos, separando-se o sobrenadante em tubos limpos. O solo residual foi secado em estufa a 50 °C durante 48 horas.

A digestão do extrato do NaOH foi procedida da mesma forma que para o extrato com bicarbonato. E a sua determinação procedeu-se da mesma forma que para o extrato ácido digerido.

Para determinar o P no extrato do NaOH não digerido foi pipetado 15,0 mL do extrato para tubos limpos, em seguida baixou-se o pH de cada amostra para 1,0 ( $\pm 0,1$ ), com uso de ácido sulfúrico à 20 %. Aguardou-se 2 horas e centrifugou-se a 5.000 rpm (2.940 g) durante 5 minutos. Após, a determinação foi procedida como descrita para o extrato ácido digerido.

A amostra residual, depois de secada em estufa, foi desfragmentada e pesada 0,20 g, transferindo-a para tubos de ensaio. Em seguida adicionou-se 1,0 mL de cloreto de magnésio ( $MgCl_2$ ) saturado e 3,0 mL de ácido perclórico ( $HClO_4$ ) concentrado (P.A. 72 %). Após levou-se as amostras para o bloco digestor, iniciando-se a temperatura em 75 °C e elevando-a 15 °C a cada 20 minutos, até chegar a 200 °C, permanecendo a essa temperatura por aproximadamente 2 horas (até apresentar uma coloração clara). Posteriormente, removeu-se as amostras, aguardou-se o resfriamento, sendo então transferidas para tubos e aferidas à 20 mL. Deixou-se em repouso por uma noite para decantar os sedimentos, e assim pipetou-se 5,0 mL deste extrato em copos descartáveis. Então se determinou a concentração de fósforo com espectrofotômetro, na faixa do azul (660 nm) a partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em meio sulfúrico, na presença de ácido ascórbico como redutor (Embrapa, 1997). Esta foi a determinação do P residual.

O conteúdo de P orgânico (Po) das amostras foi estimado a partir da diferença entre o P total (digerido) e o P inorgânico (não digerido) recuperados em cada extrator. Assim, procedeu-se da seguinte forma:

P orgânico extraível em bicarbonato de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (Po-bic) = P total extraível em solução de bicarbonato de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (Pt-bic) – P inorgânico extraível em solução de bicarbonato de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (Pi-bic).

P orgânico extraível em solução ácida (Po-H) = P total extraível em solução ácida (Pt-H) – P inorgânico extraível em solução ácida (Pi-H).

P orgânico extraível em solução alcalina (Po-OH) = P total extraível em solução alcalina (Pt-OH) - P inorgânico extraível em solução alcalina (Pi-OH).

P residual (Pres) = Valor de P do solo residual após as três etapas de extração.

Assim, foi possível se obter também os seguintes valores:

P total do solo (Pt) = Pt-bic + Pt-H + Pt-OH + Pres.

P inorgânico total do solo (Pit) = Pi-bic + Pi-H + Pi-OH.

P orgânico total do solo (Pot) = Po-bic + Po-H + Po-OH.

Taxa de recuperação de P (TR) =  $((Pt-bic + Pt-H + Pt-OH)/Pt) \times 100$

Porcentagem de P orgânico =  $(Pot / Pt) \times 100$

### 3.4.8 Amostragem e caracterização dos atributos físicos do solo

Para as análises físicas foram coletadas amostras indeformadas, nas entre linhas: até a profundidade de 40 cm, nos intervalos de 0-10, 10-20 e 20- 40 cm, utilizando-se o coletor de Uhland para avaliação da distribuição de poros, densidade do solo e das partículas. Para facilitar a retirada de material foram abertas minitrincheiras em três locais, distantes 10, 20 e 30 m da cabeceira dos talhões.

No laboratório, após a determinação da porosidade total e distribuição de poros usando o método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), as amostras foram colocadas em estufa a

110°C. Determinou-se a densidade do solo pela seguinte equação:  $D_s = M_s/V_t$ ; onde  $M_s$  é a massa do solo obtida após secagem em estufa e  $V_t$  é o volume total, conhecido, do anel coletor de Umland (Embrapa, 1997). Com essas mesmas amostras, secas em estufa, foi determinada a densidade das partículas pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997).

Na análise granulométrica foi usado o método da pipeta (Embrapa, 1997), nas amostras de terra deformadas usadas para determinação da fertilidade do solo.

#### **3.4.9 Amostragem e determinação da estabilidade de agregados**

Para as análises de estabilidade de agregados foram coletadas amostras indeformadas, também nas entre linhas: até a profundidade de 20 cm, nos intervalos de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com auxílio de pá reta. Na determinação da distribuição das classes de agregados, foi usado o tamisamento via úmida, segundo método proposto por Kemper & Chepil (1965), e em aparelho de Yooder (1936). O princípio de funcionamento deste método consiste em oscilações de uma haste na qual estão presentes as amostras, onde estas imergem e afloram da água em movimentos lentos, sucessivos e constantes por um período de 15 minutos.

Foram pesados 20 g de cada amostra, que foram umedecidas lentamente com auxílio de um atomizador manual. Após isso, as amostras foram colocadas no topo de um conjunto de peneiras de malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; e 0,105 mm de abertura e levadas para o aparelho de Yooder. A umidade residual foi determinada utilizando-se uma amostra adicional.

Após o término do tamisamento, o conteúdo retido em cada uma das peneiras foi secado em estufa a 105 °C, durante 72 horas, e em seguida pesado. A classe menor do que 0,105 mm estimou-se por diferença, tomando-se o peso inicial, menos a umidade residual, e o peso das demais classes como base. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

Calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) de acordo com as equações a seguir:

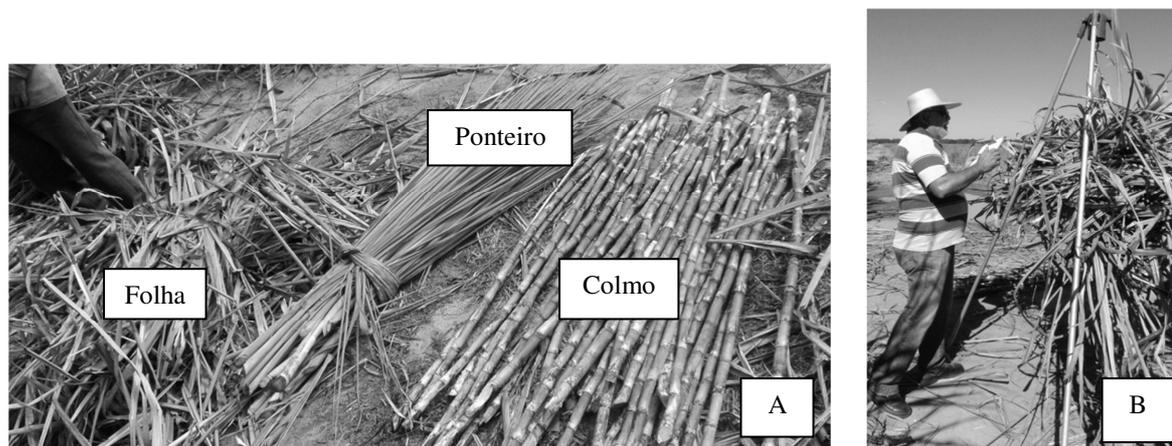
$$DMP = \sum_{i=1}^n (w_i d)$$

$$DMG = \text{antilog } \frac{\sum (n \log d)}{\sum n}$$

onde  $n$  é a porcentagem de agregados nas diversas classes de peneiras;  $d$  é o valor médio dos limites, superior e inferior, de cada classe (mm);  $w_i$  é a proporção de cada classe, em relação ao total (g).

#### **3.4.10 Parâmetros tecnológicos e produtividade**

Foram determinados os parâmetros tecnológicos do caldo e da cana nos tratamentos da colheita do ano de 2012, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, as análises agroindustriais foram realizadas no laboratório da destilaria LASA. Nessa colheita, para cada faixa, foram delimitadas 3 sub-parcelas de 2,4 m<sup>2</sup> de área (referente a 2 linhas de 2 metros de comprimento). Nas canas cortadas nas sub-parcelas, os colmos, ponteiros e folhas foram pesados para cada parcela, assim determinou-se a produtividade de massa fresca (Figura 4). Em cada sub-parcela, através de sub-amostras de colmos foram determinados os valores de: Pol, °Brix, A.R. (açúcares redutores), A.R.T (açúcares recuperáveis totais), pureza do caldo e da cana; sendo que da cana também foi possível obter o teor de fibras.



**Figura 4.** Separação da cana em folha, ponteiro e colmo, imagem A; para determinação da massa fresca, imagem B.

#### **3.4.11 Determinação de nutrientes**

Os teores de nutrientes, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, nos colmos, ponteiros e folhas foram determinados segundo o método preconizado por Malavolta et al. (1997). A partir dos teores dos nutrientes e da massa seca de colmos, ponteiros e folhas, foi calculado o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, nos diferentes tratamentos.

#### **3.4.12 Interpretação dos dados e avaliação estatística**

Os dados referentes aos parâmetros tecnológicos, produtividade da cana, atributos químicos e físicos do solo em diferentes profundidades, e extração de nutrientes pelas partes aéreas da planta, foram submetidos à verificação de homogeneidade das variâncias dos erros (Bartlett) e normalidade dos dados (Lilliefors). Posteriormente, foi feita a análise de variância com aplicação do teste F e as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAEG 9.1.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada a fim de complementar a análise de variância dos dados e permitir visualizar a similaridade ou dissimilaridade entre os tratamentos avaliados, com relação aos atributos químicos e físicos do solo e a produtividade de colmos.

## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.5.1 Produtividade e parâmetros tecnológicos

Na Tabela 1, são apresentadas as médias referentes a produtividade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) das partes da planta (colmo; e palhada = ponteiros e folhas), em sétima safra (cana 6ª soca), sob a influência de dois fatores, preparo do solo no momento da renovação do canavial, plantio convencional (PC) e cultivo mínimo (CM), e manejo da palhada antes da colheita, cana sem queima (SQ) e queimada (CQ).

Quanto à interação entre o preparo do solo (PS) e manejo da palhada (MP), esta não foi significativa para as variáveis de produtividade. Também não houve diferença para os rendimentos de colmo e palhada, em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , e números de colmos  $\text{m}^{-1}$ , entre os sistemas de preparo do solo e manejo da palhada. Porém, foi observado que o sistema de plantio convencional (PC), e cana sem queima (SQ), têm uma tendência de proporcionar maiores rendimentos de palhada, números de colmos e principalmente de colmos, em relação ao cultivo mínimo (CM) e a cana com queima (CQ), onde essa diferença foi de quase  $7 \text{ Mg ha}^{-1}$ , e pouco mais, respectivamente.

Com o decorrer dos anos de cultivo, normalmente, ocorrem quedas na produtividade de colmos. Entretanto nesse experimento, em 6ª soca, as médias de produtividade variaram de  $61,6$  a  $76,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 1), ou seja, médias superiores à média do estado do Espírito Santo ( $55,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Conab, 2013). Esse resultado possivelmente deve-se a boa distribuição de precipitação ao longo dos meses de cultivo da cana-de-açúcar, embora tenha apresentado-se como um ano atípico, como detalhado na Figura 1, nos meses de out., nov., dez. e jan., relativos a fase de brotação e emergência dos brotos, e do perfilhamento, ocorreram boas precipitações. O que garantiu o bom desenvolvimento e estabelecimento da cultura, consequentemente produtividades acima da média do estado mesmo em 6ª soca. Assim minimizado as possíveis diferenças entre os tratamentos, pois em relação ao manejo da palhada a cana SQ tende a apresentar maiores médias de produção em comparação a CQ, principalmente em períodos de estiagem, e quando os mesmos são prolongados (Urquiaga et al., 1991; Peres et al., 2010).

Na área sob manejo SQ foram adicionadas no sistema  $19,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de palhada (Tabela 1), contudo embora na área CQ a produtividade de palhada (ponteiros e folhas) tenha atingido em média  $17,7$ ; a maior parte dessa foi perdida perante a queima do canavial, pois a alta umidade dos ponteiros impede-os de serem totalmente consumidos pelo fogo. Com isso, no sistema SQ os nutrientes presentes na palhada através da ciclagem são liberados no solo.

Os resultados de produção de colmos frescos e palhada obtidas por Mendonza (1996), na mesma área experimental, mas em sua fase inicial, quando existia apenas plantio convencional do solo associado a cana crua e queimada, apóiam em boa parte os encontrados no presente trabalho, pois o autor também não encontrou diferenças entre a cana sem queima e com queima da palhada, desde cana-planta à quinta soca, excetuando a terceira soqueira.

Os dados obtidos por Tavares et al. (2010), também na mesma área de estudo, contudo a 7 anos atrás (cana planta), quando já havia implantado o sistema de cultivo mínimo do solo, corroboram em partes com os encontrados neste estudo, em relação aos rendimentos de colmo, ponteiro, folha, em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , e números de colmos  $\text{m}^{-1}$ , nos diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada. Os autores atribuíram a não diferença significativa entre os sistemas de preparo do solo devido ao curto período de tempo de instalação do sistema de CM. Mas, ao confrontar os resultados desses autores com os do atual trabalho, notou-se uma tendência de aumento entre as diferenças das médias, e uma inversão de comportamento, onde o CM apresentava médias de rendimentos superiores ao do PC, exceção para o número de colmos. Portanto, indicando que o PC possibilitou melhores condições físicas do solo em

comparação ao CM, pois essa avaliação da coleta de 2012 corresponde a 6ª soca, o que resultou em uma tendência de queda da produtividade no CM. Entretanto, em relação ao manejo da palhada, o comportamento se manteve quando comparado aos resultados de Tavares et al. (2010), exceção para o rendimento de folhas onde a cana SQ foi superior a CQ.

Além disso, os dados de Azevedo (2008), em estudo avaliando o efeito de três sistemas de manejo físico do solo, caracterizados por diferentes níveis de mobilização do mesmo (preparo vertical, cultivo mínimo e plantio direto), em um Latossolo Vermelho Eutroférico, em Londrina-PR, também corroboram com os deste trabalho, pois o autor não encontrou diferença na produtividade nos tratamentos.

Por outro lado, os resultados de Silva Júnior et al. (2013), em experimento avaliando cinco tipos de preparo do solo (3 de preparo convencional – PCI, PCII e PCIII; cultivo mínimo – CM; e sulcação direta - SD), em um Latossolo Vermelho Distrófico (textura argilosa), situado em Rio Brilhante – MS, confrontam com os do presente estudo, pois os mesmos encontraram diferenças significativas em relação a produtividade de colmos por hectare, nas safras de cana planta e 1ª soca, nos tratamentos em questão, onde o tratamento de SD apresentou os piores resultados em relação aos demais. Contudo, os autores ressaltam no trabalho que o sistema de sulcação direta (SD) apresenta um custo operacional relativamente inferior aos outros, que possuem mais operações no preparo do solo, com isso viabilizando a aplicação do mesmo.

**Tabela 1.** Produtividade da massa fresca de colmo e palhada (soma de ponteiros e folhas) da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, submetidos a diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada, em Argissolo Amarelo

Trat	Colmo			Palhada			Nº colmos		
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
	..... Mg ha <sup>-1</sup> .....						..... m linear .....		
PC	76,0	68,8	72,4	20,6	18,7	19,7	11,8	11,9	11,8
CM	69,8	61,6	65,7	18,9	16,7	17,8	11,3	10,9	11,1
Média	72,9	65,2		19,8	17,7		11,5	11,4	
CV %		14,57			18,22			11,53	

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

Em relação ao manejo da palhada, Schultz et al. (2010), avaliando o rendimento de colmos em cana-de-açúcar, cultivada com diferentes doses de adubação, observaram que do ponto de vista dos sistemas de colheita, a cana crua (sem queima) supera à cana queimada.

Quanto aos valores de médias para análise tecnológica do caldo do colmo (°Brix; Teor de Fibra; Polarização = Pol; Pureza; Açúcares Redutores = A.R.; e Açúcares Totais Recuperáveis = A.T.R.) (Tabela 2), não houve diferença significativa em relação ao sistema de preparo do solo e manejo da palhada. Com exceção para os teores de fibra onde a cana CQ superou a SQ. Contudo, as médias variaram de 12,8 a 13,2, o que em termos de valores absolutos no processo de industrialização dos colmos não causa restrições; além disso, o coeficiente de variação dessa variável foi muito baixo (2,7 %), o que possibilita diferenças significativas mesmo que os valores absolutos não variem muito. Também não houve interação significativa entre o sistema de preparo do solo e manejo da palhada.

**Tabela 2.** Análise tecnológica do caldo e colmo, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada, em Argissolo Amarelo

Trat	°Brix			Teor de Fibra			Pol			Pureza			A.R.			A.T.R.		
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
	..... % .....												..... kg t <sup>-1</sup> .....					
PC	21,2	21,5	21,4	12,8	13,4	13,1	17,1	17,6	17,4	80,6	82,0	81,3	0,9	0,8	0,9	142,9	145,1	144,0
CM	21,6	21,6	21,6	12,9	13,0	13,0	18,2	17,4	17,8	84,3	80,5	82,4	0,7	0,9	0,8	150,5	144,6	147,5
Média	21,4	21,6		12,8 b	13,2 a		17,7	17,5		82,5	81,2		0,8	0,9		146,7	144,8	
CV %		1,58			2,70			4,98			4,25			14,17			4,16	

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima. Pol = Polarização, A.R.= açúcares redutores, A.R.T.= açúcares recuperáveis totais.

Mendonza (1996), na mesma área de estudo, mas com tratamentos apenas de plantio convencional do solo associado a cana crua e queimada, avaliando os parâmetros tecnológicos dos caldos e colmos em cana-planta e socas sucessivas, também não encontrou diferenças estatísticas. O autor relata que essa resposta é considerada normal, pois as determinações são feitas imediatamente após a coleta dos colmos frescos e previamente à colheita de todas as parcelas (mesmo naquelas que são queimadas), portanto os dados refletem apenas o estado de maturação da cultura por ocasião da colheita.

Em relação ao preparo do solo, considerando desde apenas a abertura dos sulcos para o plantio (plantio direto) até o que revolve com maior intensidade as camadas do solo (plantio convencional) e diferentes combinações entre esses preparos, os mesmos conduzem a alterações nas propriedades físicas do solo em intensidades variáveis para cada condição (Silva Júnior et al., 2013). Essas alterações podem interferir no rendimento de colmos por área plantada como já apresentado. Além disso, podem modificar a qualidade tecnológica do caldo e do colmo da cana-de-açúcar, discordando em parte dos resultados encontrados neste estudo.

Segundo Silva Júnior et al. (2013), em experimento com cinco tipos de preparo do solo (3 de preparo convencional – PCI, PCII e PCIII; cultivo mínimo – CM; e sulcação direta - SD), em Latossolo Vermelho Distrófico (textura argilosa), em Rio Brillhante – MS, o nível de revolvimento do solo alterou os teores de pol (AP), açúcar total recuperável (ATR), produtividade de açúcares por hectare (TPH) e teor de fibra do colmo. Na primeira safra (cana-planta), em geral, os tratamentos que revolveram mais o solo (PCI, PCII e PCIII) apresentaram maiores médias nas variáveis da qualidade do caldo em relação ao com apenas abertura de sulcos (SD), no entanto os teores de fibra foram superiores no PCIII em relação aos demais tratamentos. Na segunda safra (cana 1ª soca), os autores, encontraram diferenças apenas no teor de TPH e na produtividade de colmos por hectare, onde o SD apresentou menores médias quando comparado aos demais tratamentos.

### **3.5.2 Extração de macronutrientes nas partes aéreas da cana-de-açúcar**

Os teores extraídos de macronutrientes (nitrogênio - N, potássio - K, fósforo - P, cálcio - Ca e magnésio - Mg) pelos colmos, ponteiros e folhas, são apresentados na Tabela 3. Independente do tipo de preparo do solo e manejo da palhada, as quantidades extraídas de nutrientes, considerando a soma das diferentes partes da planta (colmo, ponteiro e folha), apresentaram a seguinte ordem decrescente:  $K > N > Ca > Mg > P$ . A ordem de extração encontrada por Oliveira et al. (2010), que avaliaram diferentes variedades inclusive a SP79-1011, todas sob irrigação plena, mostrou-se semelhante a encontrada neste trabalho, porém houve inversão entre o N e Ca. Já os resultados encontrados por Oliveira (2013), avaliando diferentes doses de adubação nitrogenada, na região de tabuleiros costeiros, em Linhares-ES, apresentaram a seguinte ordem decrescente de extração:  $K > N > Mg > Ca > P$ .

Em termos de média, independente dos tratamentos, observou-se em totalidade que as partes aéreas da planta (colmos, ponteiros e folhas) extraíram aproximadamente 3 vezes mais potássio quando comparado a extração de nitrogênio (Tabela 3). Acredita-se que esse comportamento seja típico da variedade SP79-1011. Pois, Oliveira et al. (2011) verificaram comportamento semelhante para essa variedade, em estudo avaliando o acúmulo de macronutrientes nas partes aéreas da planta, em 11 variedades de cana-de-açúcar (SP79-1011; RB813804; RB863129; RB872552; RB943365; RB72454; RB763710; SP78-4764; SP81-3250; RB867515 e RB92579), cultivadas sob irrigação plena em Argissolo Amarelo Distrófico abrupático textura arenosa/argilosa, no município de Carpina/PE.

Contudo, observou-se que os teores de macronutrientes (Tabela 3), não apresentaram diferença significativa entre os preparos de solo e manejo da palhada, também não houve interação entre os mesmos. Exceção para os teores de N e Ca, contidos nos colmos, em

relação ao preparo de solo, onde o plantio convencional (PC) apresentou maior acúmulo desses elementos em comparação ao cultivo mínimo (CM). E em relação ao manejo da palhada, o tratamento sem queima (SQ) foi o que acumulou maiores teores de Ca nos colmos, e Mg nos colmos e ponteiros, em relação a cana com queima (CQ).

Esse comportamento pode ser explicado pela forma de aquisição desses elementos (N, Ca e Mg), que movimentam-se no solo quase que totalmente através do fluxo de massa, sendo essencial a água e energia no processo. No manejo da palhada SQ é menor a perda de água por evaporação, comparada ao manejo CQ, com isso tem maior potencial de fornecimento de água a cultura, fato ainda mais importante em períodos de estiagem.

A menor perda de umidade do solo, em estudo comparando sistemas de produção de cana-de-açúcar com palha e sem palha sobre a superfície do solo, foi verificada por Peres et al. (2010), com experimento em Araras-SP e em Latossolo Vermelho-Escuro (textura argilosa). Os autores monitoraram ao longo de 27 dias a umidade volumétrica do solo, para tratamentos de cana-de-açúcar com palha (CP) e sem palha (SP), nas camadas 0-20 e 20-40 cm. Com isso, observaram as maiores perdas de umidade na camada superficial e que o tratamento CP possibilitou redução da perda de água do solo de até 53,3% em comparação ao tratamento que não usou a palha como cobertura (SP).

A ausência de restrições hídricas durante o cultivo beneficia a absorção de água e nutrientes da cultura, consequentemente a produtividade de biomassa. Onde os tratamentos que apresentam maiores valores de biomassa tendem a acumular mais nutrientes. Sendo que segundo Dias et al. (2012), quando a cana é cultivada sob irrigação a produtividade de colmos ultrapassa o dobro de rendimento em relação a não irrigada, contudo além da disponibilidade de água a resposta é dependente também da variedade utilizada.

Já o plantio convencional (PC) possibilitou maior aeração na zona radicular da planta em relação ao cultivo mínimo (CM) (Tabela 14), o que favorece a respiração mais eficiente das raízes, por conseguinte maior fornecimento de energia metabólica necessária à planta para absorção e assimilação de nutrientes. O sistema radicular das plantas no PC pode ter se desenvolvido mais que no CM, pelas menores restrições físicas do solo em comparação ao CM (Tabela 12 e 14). Além disso, de maneira geral notou-se, que o PC tem tendência de absorver mais macronutrientes em relação ao CM, e a cana SQ em comparação a CQ. Esse resultado também pode ser explicado devido ao PC apresentar melhores condições físicas do solo que o CM, e o manejo SQ favorecer a manutenção de água em relação ao CQ.

Também se verificou que o componente da parte aérea da planta que mais extraiu nutrientes foi o colmo, corroborando com os dados Oliveira et al. (2012). O que comprova a importância da adubação nessas áreas para reposição dos nutrientes ao solo, já que os colmos são os produtos destinados às usinas e/ou destilarias. Os ponteiros e folhas (palhada), no caso da cana sem queima (SQ), são depositados na superfície do solo disponibilizando nutrientes através da ciclagem, mas a cana com queima (CQ) perde parte desses nutrientes. A exportação média de N, P, K, Ca e Mg (Tabela 3), pelo colmo nos diferentes tratamentos foi de 25,8; 6,1; 74,3; 11,5 e 9,5 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondendo, respectivamente, a 47, 56, 45, 27 e 58 % de todo o nutriente extraído nas partes aéreas.

**Tabela 3.** Extração de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio por componente da parte aérea de cana-de-açúcar, da variedade SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo

Trat	N			K			P			Ca			Mg		
	Mg ha <sup>-1</sup>														
Colmo															
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
PC	32,23	24,61	28,42 A	89,59	65,62	77,61	6,68	5,60	6,14	15,00	11,28	13,14 A	11,58	8,25	9,91
CM	22,55	23,75	23,15 B	72,97	68,97	70,97	6,77	5,52	6,14	11,53	8,18	9,85 B	10,67	7,64	9,15
Média	27,39	24,18		81,28	67,29		6,72	5,56		13,26 a	9,73 b		11,12 a	7,94 b	
CV %		20,41			35,42			37,77			26,71			21,93	
Ponteiro															
PC	19,47	15,37	17,42	86,67	74,06	80,37	4,49	3,61	4,05	10,15	8,34	9,25	3,41	2,55	2,98
CM	18,44	15,64	17,04	80,59	70,53	75,56	4,26	3,76	4,01	9,74	7,81	8,77	3,50	2,53	3,01
Média	18,96	15,50		83,63	72,29		4,37	3,68		9,94	8,08		3,46 a	2,54 b	
CV %		23,53			23,87			31,26			26,35			29,33	
Folha															
PC	11,47	11,69	11,58	15,21	14,86	15,04	0,78	0,70	0,74	24,68	23,53	24,10	4,30	4,03	4,17
CM	10,99	9,99	10,49	17,59	10,72	14,16	0,98	0,59	0,78	20,16	19,73	19,95	4,28	3,46	3,87
Média	11,23	10,84		16,40	12,79		0,88	0,64		22,42	21,63		4,29	3,74	
CV %		29,41			48,10			45,02			24,20			25,09	

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

### 3.5.3 Propriedades químicas do solo

Os dados das propriedades químicas do solo, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, mostram que, em geral, independente do preparo do solo e manejo da palhada, os teores dos macronutrientes avaliados apresentaram-se baixos. Este resultado pode ser devido a textura muito arenosa do solo, logo com baixa capacidade de fornecer e reter nutrientes, sendo necessário nessas condições maiores esforços para a manutenção e até mesmo aumento dos teores de matéria orgânica do solo. Além disso, a amostra de terra foi coletada no final do ciclo da cultura, cerca de 9 meses após a adubação de cobertura, com isso, os nutrientes requeridos pela planta possivelmente já haviam sido extraídos da solução do solo.

Em todas as profundidades, houve diferença em relação ao sistema de preparo do solo, para os teores de  $Mg^{+2}$  (Tabela 4) e carbono orgânico total (Tabela 4); onde o CM apresentou as maiores médias em relação ao PC. Esses resultados evidenciam que o CM possibilita maior proteção do carbono orgânico total do solo em comparação ao PC. O que pode ter influenciado na maior disponibilidade de  $Mg^{+2}$ , conseqüentemente maior soma e saturação por bases. As médias de  $Ca^{+2}$ , em relação ao preparo de solo nas profundidades avaliadas, apresentaram comportamento similar ao do  $Mg^{+2}$ , contudo o coeficiente de variação foi alto, assim impedindo a detecção de diferença significativa. Porém, a análise de componentes principais, apresentada na Figura 5, 6 e 7, respectivamente para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, comprovou o efeito positivo do CM também sobre os teores de  $Ca^{+2}$  quando comparado ao PC.

Para os teores de  $K^{+}$  (Tabela 4) e fósforo assimilável (Tabela 4) foram observado diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo, nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. Onde o CM, apresentou as maiores médias para os teores de  $K^{+}$ , e o sistema PC para os de fósforo assimilável. Isso pode ser devido a alta mobilidade do  $K^{+}$  ao longo do perfil do solo, ou seja, o  $K^{+}$  pode ter migrado da camada superficial para camadas mais subsuperficiais. Em contrapartida o fósforo assimilável, tem uma baixa mobilidade no solo, mas o revolvimento que ocorre no PC pode ter influenciado nesse resultado.

Falleiro et al. (2003), atribuem o incremento da matéria orgânica do solo, em sistema de plantio direto (cultivado desde 1985, inicialmente com consócio milho/feijão da “seca”, e até 1994 com monocultivos de feijão e milho, em 1995/96 milho e trigo, 1996/98 - soja e trigo; 1998/99 - feijão; 1999/2002 - milho) ao não revolvimento do solo e à permanência dos resíduos culturais na sua superfície. Já no preparo convencional, as práticas de aração e gradagem revolvem o solo e aumentam a aeração; propiciando o desenvolvimento da comunidade microbiana e de pequenos animais, que participam da degradação da matéria orgânica no solo (Rosetto et al., 2008). Dessa forma, geralmente, os teores de COT do solo sob sistema de PC, comparado ao CM são menores.

Duarte Junior & Coelho (2010), ao avaliarem os atributos químicos de Cambissolo Ta Eutrófico de textura argilosa, no município de Campos dos Goytacazes - RJ, camada de 0 a 0,05 m, verificaram aumento, respectivamente, de 14 % nos teores de carbono no tratamento com plantio direto das mudas, em comparação ao preparo convencional. Entretanto, os autores não encontraram diferenças significativas para os teores de P, K, Ca, Mg e Mn. O que foi atribuído ao curto prazo do experimento, apenas 18 meses da instalação.

Em relação ao manejo da palhada perante a colheita, não houve diferença nas propriedades químicas do solo. Exceto para os teores de fósforo assimilável, na camada de 0-10 cm, onde a área de cana com queima (CQ) apresentou as maiores médias em relação a sem queima (SQ); e para o carbono orgânico total, na camada de 20-40 cm, onde a cana SQ apresentou maiores médias em relação a cana CQ.

**Tabela 4.** Propriedades químicas de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada na cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0 –10, 10-20 e 20-40 cm

Trat	pH			Ca <sup>+2</sup>			Mg <sup>+2</sup>			Al <sup>+3</sup>			K <sup>+</sup>			P assimilável			COT			
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	
	(água)			----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> de solo -----									----- mg kg <sup>-1</sup> de solo -----						g kg <sup>-1</sup> de solo			
----- 0-10 cm -----																						
PC	5,55	5,59	<b>5,57</b>	0,53	0,43	<b>0,48</b>	0,28	0,30	<b>0,29 B</b>	0,51	0,66	<b>0,58</b>	12,8	10,3	<b>11,5</b>	3,6	5,1	<b>4,4</b>	8,5	6,6	<b>7,6 B</b>	
CM	5,38	5,60	<b>5,49</b>	0,70	0,50	<b>0,60</b>	0,38	0,50	<b>0,44 A</b>	0,63	0,54	<b>0,59</b>	6,8	9,4	<b>8,1</b>	2,8	5,0	<b>3,9</b>	14,4	15,4	<b>14,9 A</b>	
Média	<b>5,46</b>	<b>5,59</b>	<b>0,62</b>	<b>0,47</b>	<b>0,33</b>	<b>0,40</b>				<b>0,57</b>	<b>0,60</b>		<b>9,8</b>	<b>9,8</b>		<b>3,2 b</b>	<b>5,1 a</b>		<b>11,4</b>	<b>11,0</b>		
CV %	3,18			35,78			1,86			27,86			71,96			39,49			19,93			
----- 10-20 cm -----																						
PC	5,48	5,39	<b>5,43</b>	0,37	0,27	<b>0,32</b>	0,25	0,30	<b>0,28 B</b>	0,65	0,78	<b>0,72</b>	2,5	1,6	<b>2,0 B</b>	2,0	2,3	<b>2,2</b>	7,1 Ba	4,8 Bb	<b>6,0 B</b>	
CM	5,23	5,38	<b>5,31</b>	0,37	0,40	<b>0,38</b>	0,42	0,38	<b>0,40 A</b>	0,76	0,68	<b>0,72</b>	10,3	12,8	<b>11,5 A</b>	1,2	1,9	<b>1,6</b>	11,2 Aa	12,7 Aa	<b>11,9 A</b>	
Média	<b>5,35</b>	<b>5,38</b>	<b>0,37</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,34</b>				<b>0,70</b>	<b>0,73</b>		<b>6,4</b>	<b>7,2</b>		<b>1,6</b>	<b>2,1</b>		<b>9,2 a</b>	<b>8,7 a</b>		
CV %	3,59			45,18			17,88			26,43			12,88			38,97			20,74			
----- 20-40 cm -----																						
PC	5,47	5,51	<b>5,49</b>	0,23	0,12	<b>0,18</b>	0,23	0,30	<b>0,27 B</b>	0,70	0,72	<b>0,71</b>	3,3	0,7	<b>2,0</b>	1,0	0,9	<b>0,9 A</b>	6,6 Ba	4,1 Bb	<b>5,3 B</b>	
CM	5,22	5,43	<b>5,32</b>	0,22	0,25	<b>0,23</b>	0,40	0,37	<b>0,38 A</b>	0,84	0,78	<b>0,81</b>	2,5	5,1	<b>3,8</b>	0,6	0,3	<b>0,4 B</b>	10,1 Aa	11,3 Aa	<b>10,7 A</b>	
Média	<b>5,35</b>	<b>5,47</b>	<b>0,23</b>	<b>0,18</b>	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>				<b>0,77</b>	<b>0,75</b>		<b>2,9</b>	<b>2,9</b>		<b>0,8</b>	<b>0,6</b>		<b>8,4 a</b>	<b>7,7 b</b>		
CV %	3,96			46,97			17,15			16,53			9,61			69,01			10,03			

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima. COT = carbono orgânico total.

Resultados dos dados de Mendoza et al. (2000), no mesmo experimento mas em sua fase inicial, corroboram em parte os do presente trabalho, pois os autores verificaram que a colheita da cana SQ implicou em maiores teores de magnésio e carbono orgânico, enquanto a colheita de cana CQ da palha elevou os teores de fósforo e potássio no solo. Por outro lado, Souza et al. (2012), em Paraguaçu Paulista - SP, em Latossolo Vermelho Distrófico, encontraram maiores teores de P e K no manejo da cana sem queima, quando comparado a cana queimada e floresta nativa. No mesmo trabalho, dos três sistemas avaliados, a cana crua apresentou os maiores valores de pH,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , e os menores de  $Al^{+3}$ ,  $H+Al$ , evidenciando o efeito positivo da manutenção da palha sobre os atributos químicos do solo.

Quanto à interação entre o preparo do solo (PS) e manejo da palhada (MP), esta não foi significativa para as variáveis avaliadas. Exceção para os teores de carbono orgânico total nas camadas de 10-20 e 20-40 cm (Tabela 4). A partir dessa análise, foi possível identificar, para as camadas de 10-20 e 20-40 cm, que no sistema de CM não há diferença em relação ao manejo da palhada. Portanto, não ocorreu variação significativa nos teores de carbono orgânico total do solo quando confrontadas as áreas de cana sem queima e com queima. Porém, o manejo da palhada dentro do sistema PC, apresentou diferença significativa, com médias superiores na SQ em relação a CQ.

Os dados referentes aos teores de carbono das frações húmicas do solo, na profundidade de 0-10 cm (Tabela 5), mostram que não houve interação entre PS e MP, exceto para o teor de carbono na fração AF, que apresentou padrão similar ao observado para os teores de COT (Tabela 4) das camadas de 10-20 e 20-40 cm. Independente do preparo do solo e do manejo da palhada, a maior parte do carbono das frações húmicas encontra-se na forma de humina, devido especialmente a mesma estar adsorvida ou ligada a constituintes inorgânicos do solo, logo, mais protegida.

**Tabela 5.** Carbono (C) das frações húmicas (HU = humina, AF = ácido fúlvico, AH = ácido húmico), em Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada na cultura da cana-de-açúcar, a 0-10 cm de profundidade

Trat	C-HU			C-AF			C-AH		
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
..... (g kg <sup>-1</sup> ).....									
PC	5,15 Ba	4,32 Ba	4,74 B	1,33 Ba	0,97 Bb	1,15 B	0,79 Ba	0,68 Ba	0,74 B
CM	8,41 Aa	8,85 Aa	8,63 A	1,35 Aa	1,49 Aa	1,42 A	1,33 Aa	1,25 Aa	1,29 A
Média	6,78 a	6,59 a		1,34 a	1,23 a		1,06 a	0,97 a	
CV %	17,87			20,68			36,32		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima

Em relação ao manejo da palhada, não houve diferença significativa entre a cana SQ e CQ, para os teores de carbono nas frações HU, AH e AF. Ao contrário, os resultados observados por Mendoza et al. (2000), na mesma área, mas apenas com plantio convencional, mostram que a manutenção da palhada na superfície aumentou os teores de carbono da fração humina e da fração ácidos fúlvicos, corroborando em grande parte com os dados obtidos por Canellas et al. (2003). Em relação ao preparo do solo, houve diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, para as frações húmicas (Tabela 5), onde o CM

apresentou os maiores teores em comparação ao PC, sobretudo quando se analisou a fração HU, a qual foi aproximadamente o dobro do valor observado em PC. Evidenciando que o CM propicia maior proteção e/ou aumento do carbono da fração humina, perante o PC.

Rheinheimer et al. (1998), ao confrontarem o sistema de plantio direto (SPD) com o cultivo convencional (SCC), em Argissolo Vermelho-Amarelo textura arenosa/argilosa, no Rio Grande do Sul, em áreas com produção de grãos, observaram que na camada de 0,0-0,5 m, o SPD apresentou maiores teores, de carbono em ácidos fúlvicos e húmicos, e de carbono orgânico total, comparativamente ao SCC, confirmando em parte os resultados desse estudo.

Os teores de COT, CAM e COP, na profundidade de 0,0-0,1 m (Tabela 6), não apresentaram interação significativa entre preparo do solo (PS) e manejo da palhada (MP). De maneira geral, verificou-se que a maior parte do COT está associada aos minerais do solo (CAM), independente do preparo do solo e manejo da palhada. O que confirma os dados de carbono da fração humina (Tabela 5).

Também não foi observada diferença em relação ao manejo da palhada para as variáveis analisadas.

**Tabela 6.** Carbono orgânico total (COT), associado aos minerais (CAM) e particulado (COP), em Argissolo Amarelo, com diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar em, 0-10 cm de profundidade

Trat	COT			CAM			COP		
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
	..... (g kg <sup>-1</sup> ).....								
PC	8,46 Ba	6,65 Ba	7,55 B	5,92 Ba	4,18 Ba	5,05 B	2,53 Aa	2,45 Aa	2,49 A
CM	14,41Aa	15,36 Aa	14,88 A	11,56 Aa	13,09 Aa	12,32 A	2,86 Aa	2,26 Aa	2,56 A
Média	11,44 a	11,01 a		8,74 a	8,64 a		2,70 a	2,36 a	
CV %		19,93			29,60			30,43	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

Os resultados de Luca et al. (2008), em relação a influência da queima da palhada e o efeito da supressão da mesma nos teores de carbono total do solo, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico no nordeste do Estado de São Paulo, corroboram os dados desse estudo. Entretanto, os mesmos autores avaliaram os teores de carbono orgânico, em Latossolo Vermelho Distroférico e em Neossolo Quartzarênico, e encontraram resultados divergentes dos obtidos em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, onde a supressão da queima resultou em maiores teores de carbono orgânico total em relação aos da cana queimada, estando de acordo com Galdos et al. (2009). O que indica uma relação entre o efeito desse sistema de manejo da palhada e os atributos do solo e reforça a importância da avaliação da matéria orgânica do solo associada às frações minerais, ou seja, o fracionamento granulométrico.

Houve diferença significativa para os teores de COT e CAM; a exceção para os de COP (Tabela 6), onde a área com CM apresentou os maiores valores médios quando comparado ao PC. O sistema de cultivo mínimo conduz a maior quantidade de resíduos vegetais em superfície, o que influencia nos teores de COT e CAM em superfície.

Os resultados de Blanco-Moure et al. (2013) confirmam em parte os desse estudo. Os autores em áreas destinadas a produção de cereais, no nordeste da Espanha, sob diferentes sistemas de preparo do solo, a saber: convencional, reduzido (em algumas das áreas), plantio

direto, comparados a uma vegetação nativa, avaliando os teores de carbono orgânico total do solo (COS), carbono particulado (C-POM) e o associado aos minerais (C-Min), nas profundidades de 0-5, 5-20 e 20-40 cm, observaram diferenças na camada mais superficial (0-5 cm) para os teores de COS, onde o plantio direto apresentou os maiores teores em relação aos outros tratamentos. Constataram ainda que o C-POM foi mais sensível que o C-Min ao preparo do solo e uso da terra, sendo considerado um indicador útil nessas condições.

Campos et al. (2011) em experimento de longo prazo com sistemas de preparo do solo (PC-preparo convencional e PD-plantio direto) e com rotação de culturas (R0- sucessão de monoculturas, R1- rotação de culturas de inverno e R2- rotação intensiva de culturas), com espécies produtoras de grãos e cereais, em Latossolo Vermelho, originalmente degradado, do Sul do Brasil, encontraram na camada de 0,0-0,05 m estoques de C no carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), de 88,3, 21,4 e 12,4%, respectivamente, com valores superiores no PD comparados ao PC. Os autores também verificaram, para essas variáveis, diferenças significativas entre as rotações de culturas, exceção para os teores de COP.

A maioria dos estudos indica a sensibilidade do fracionamento granulométrico do carbono orgânico do solo para avaliar mudanças de sistemas de uso e manejo do solo, sendo essa medida geralmente mais perceptível que o carbono orgânico total (Chen et al., 2009; Galdos et al., 2009; Bouajila & Gallali, 2010; Gadja, 2010; Stewart et al., 2011; Culmam et al., 2012). No Brasil, os trabalhos avaliando efeito do manejo da palha (com ou sem uso do fogo) e preparo do solo (convencional ou mínimo) da cana-de-açúcar, de forma simultânea e para esse atributo são ainda escassos.

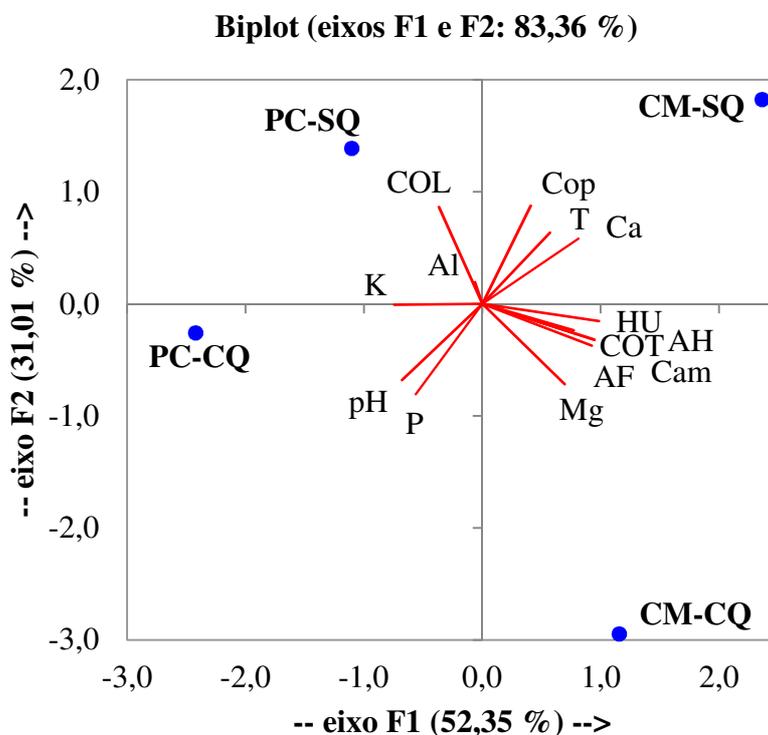
### **3.5.4 Interações dos atributos químicos do solo com a produtividade de colmos**

A análise dos componentes principais (ACP) foi aplicada para identificar o comportamento dos atributos químicos, e as relações entre os mesmos, sob diferentes formas de preparo do solo associado a diferentes manejos da palhada da cana-de-açúcar, e ainda suas relações com a produtividade de colmos por hectare. Os resultados da ACP dos atributos químicos do solo, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e produtividade de colmos podem ser observados na Figura 5, 6 e 7, respectivamente.

Observa-se que a soma dos eixos F1 e F2 podem explicar 83,36 % dos atributos avaliados (Figura 5), sendo que os eixos F1 e F2 explicaram 52,35, 31,01 %, respectivamente. As áreas avaliadas (PC-SQ, PC-CQ, CM-SQ e CM-CQ) apresentaram separação espacial entre si, onde o carbono orgânico total (COT), carbono da fração humina (HU), ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF), e carbono associado aos minerais (Cam) apresentam um padrão semelhante, onde possuem alinhamento predominante no eixo F1, o qual explica 52,35 % dos atributos avaliados na camada de 0-10 cm. Esse comportamento é decorrente da maior conservação do carbono orgânico total do solo e de suas frações químicas e físicas, no cultivo mínimo (CM). Além disso, de modo geral o CM apresentou maior relação com  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ , consequentemente maior capacidade de troca catiônica (T) em comparação ao PC.

Observou-se também que o PC-SQ, foi o que se relacionou positivamente com a produção de colmos (COL), e que a manutenção da palhada sobre o solo (SQ) além de favorecer a COL também apresenta correlação positiva com o Cop, T e Ca, embora tanto o COL como o Cop tenham um alinhamento mais pronunciado em relação ao eixo F2, pois o mesmo explica apenas 31,01 % dos dados. Essa relação de incremento de biomassa nos sistemas produtivos e respectivo aumento nos teores de Cop foi relatada em diversos trabalhos (Galdos et al., 2009; Blanco-Moure et al., 2013; Rossi, 2013; Santos et al., 2013). Já o potássio (K), fósforo disponível (P) e o pH apresentaram melhores resultados em relação ao PC-CQ, indicando que a queima da palhada favoreceu o incremento de K, P e pH do solo

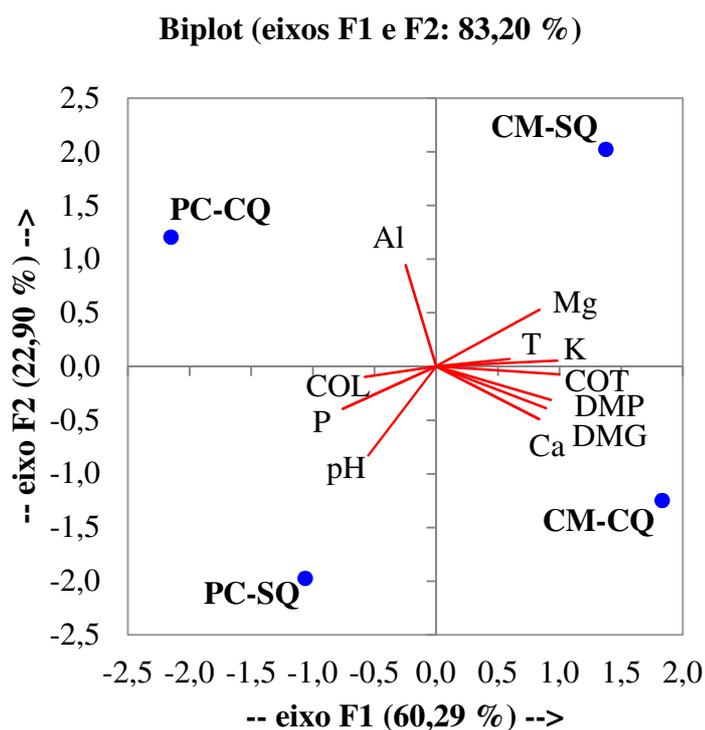
corroborando em boa parte com os dados de Mendoza et al. (2000), Torres et al. (2013), e com a revisão descrita por Redin et al. (2011).



**Figura 5.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo, da camada 0-10 cm, e produtividade de colmos (referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), em diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo.

**PC:** plantio convencional, **CM:** cultivo mínimo, **SQ:** sem queima e **CQ:** com queima; **COL:** produtividade de colmos; **COT:** carbono orgânico total; **AH:** carbono da fração ácido húmico; **AF:** carbono da fração ácido fúlvico; **HU:** carbono da fração humina; **Cop:** carbono orgânico particulado; **Cam:** carbono orgânico associado aos minerais; **Ca:** cálcio trocável; **Mg:** magnésio trocável; **K:** potássio trocável; **Al:** alumínio trocável; **P:** fósforo disponível; **T:** capacidade de troca catiônica.

A ACP da camada de 10-20 cm (Figura 6), onde a soma dos eixos F1 e F2 podem explicar 83,20 % dos atributos avaliados, sendo que os eixos F1 e F2 explicaram 60,29; 22,90 %, respectivamente. O CM manteve o comportamento analisado, na camada de 0-10 cm, em relação ao COT, apresentando correlação positiva com a maioria dos cátions trocáveis (Ca, Mg, K), DMP, DMG e T, onde os mesmos preferencialmente alinharam-se em relação ao eixo F1, que explica 60,29% dos dados. Antagônico a esses atributos, associados ao PC, estão a produtividade de colmos (COL), P e o pH, os quais apresentaram maior correlação positiva com o PC-SQ. Porém, o Al teve um alinhamento mais pronunciado em relação ao eixo F2, que explica apenas 22,9 % dos atributos avaliados, com isso, em relação aos demais tratamentos o plantio convencional do solo associado a queima da palhada (PC-CQ) foi o que apresentou maior correlação positiva com Al.

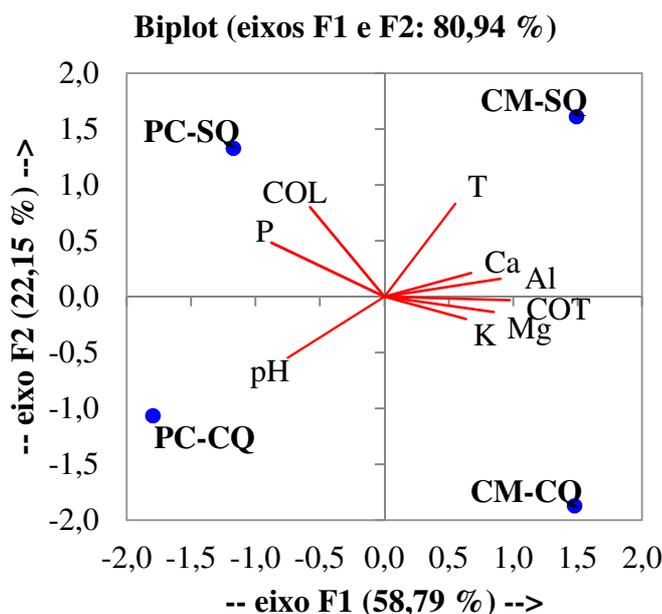


**Figura 6.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo da camada 10-20 cm, e produtividade de colmos (referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), em diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo.

PC: plantio convencional, CM: cultivo mínimo, SQ: sem queima e CQ: com queima; COL: produtividade de colmos; COT: carbono orgânico total; DMP: diâmetro médio ponderado; DMG: diâmetro médio geométrico; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; K: potássio trocável; Al: alumínio trocável; P: fósforo disponível; T: capacidade de troca catiônica.

A ACP dos atributos químicos do solo, avaliados na camada 20-40 cm, e produtividade de colmos (Figura 7). A soma dos eixos F1 e F2 explicam 80,94 % das variáveis avaliadas, sendo que os eixos F1 e F2 equivalem a 58,79; 22,15 %, respectivamente. O comportamento dos atributos químicos dessa camada foi semelhante ao da camada de 10-20 cm, exceção para o Al e pH, que associou-se ao CM e PC-CQ, respectivamente.

Com base na ACP apresentada nas Figuras 5, 6 e 7, identificou-se que a queima da palhada (CQ) favoreceu a disponibilidade de K, P e aumento do pH no solo, mas esse efeito se restringe a camada mais superficial (0-10 cm). Contudo, o CM foi o que apresentou de modo geral, em todas as camadas avaliadas, maiores teores de carbono orgânico total e de bases trocáveis. Além disso, verificou-se que a melhoria dos atributos químicos do solo de modo geral não refletiu positivamente na produtividade de colmos (COL).



**Figura 7.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo da camada 20-40 cm, e produtividade de colmos, referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo.

PC: plantio convencional, CM: cultivo mínimo, SQ: sem queima e CQ: com queima; COL: produtividade de colmos; COT: carbono orgânico total; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; K: potássio trocável; Al: alumínio trocável; P: fósforo disponível; T: capacidade de troca catiônica.

### 3.5.5 Fracionamento do fósforo orgânico do solo

As frações de fósforo (P) extraível em bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), o fósforo lábil, são apresentadas na Tabela 7. Os valores das frações de fósforo total (Pt-bic), fósforo inorgânico (Pi-bic) e fósforo orgânico Po-(bic), não mostram interação positiva entre preparo do solo e manejo da palhada e apresentam diferença estatística significativa em relação ao manejo da palhada e preparo do solo, exceção para o último, onde o CM apresentou maiores médias de Pt-bic e Pi-bic em relação ao PC. Observou-se que no CM mais de 50% do Pt-bic está na forma inorgânica (Pi-bic).

Esse resultado se justifica pelo CM ter maior contribuição da matéria orgânica do solo que o PC, o que favoreceu maior ciclagem e, desta forma, maior suplemento de fósforo na forma lábil, que é associado preferencialmente a forma inorgânica. De acordo com Rheinheimer et al (2003) o maior aporte de material orgânico, e sua posterior mineralização, pode diminuir a capacidade de adsorção de P e a energia de ligação do fosfato aos grupos funcionais dos colóides inorgânicos do solo. Os ácidos húmicos, fúlvicos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico, málico, oxálico, tartárico, etc.) competem com o P pelos sítios de adsorção do solo, porém podem se formar ligações metálicas com esses ácidos orgânicos, favorecendo a adsorção do P (Guppy et al., 2005).

Dados de Nunes et al. (2003), em Argissolo Vermelho-Amarelo, em Paty do Alferes-RJ, evidenciaram que o tipo de preparo do solo para cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*), afeta a distribuição das formas de P no solo, onde o cultivo mínimo possibilitou a conservação das diferentes formas desse P em comparação ao uso de aração com trator morro abaixo, e aração com tração animal em nível. Os autores explicam que o maior revolvimento do solo

favoreceu a fixação das formas lábeis do fósforo, devido a maior superfície de contato entre os horizontes subsuperficiais (neste caso com acúmulo de argila) e os fosfatos solúveis.

Contudo, Pavinato et al. (2009) verificou que o tipo de cultivo do solo (plantio direto ou convencional) não influenciou na fração lábil de fósforo (P) no solo, isso em solos tropicais oxídicos, Latossolo Vermelho (cultivados com milho, sementes oleaginosas, rabanete, algodão e soja em rotação) e Latossolo Vermelho-Amarelo (cultivados com milho e soja em rotação), em Luziânia – GO e Costa Rica – MS, respectivamente, o que discorda do observado nesse estudo. Porém, segundo esses autores a fertilização com adubos fosfatados aumentou as frações lábeis e moderadamente lábeis do P, principalmente nas camadas próximas à superfície, possivelmente devido a sua baixa mobilidade no solo. Isto significa que o manejo da adubação durante vários anos levou a acumulação de P em frações menos disponíveis no solo, o que manteve o P no solo após a colheita e pode aumentar a disponibilidade de P para as próximas lavouras (Pavinato et al., 2009).

Nesse estudo a dose de adubação fosfatada foi idêntica para os tratamentos, sendo aplicados 125 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em 10/1989 no plantio, 63 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em 10/1995 na quinta soca, 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em 04/1997 na primeira renovação, e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em 05/2005 na segunda renovação do canavial, cujas fontes foram superfosfato triplo em 1989 e superfosfato simples nos anos posteriores. Com isso, as variações encontradas para as frações do fósforo podem ser atribuídas ao sistema de preparo do solo e/ou manejo da palhada.

**Tabela 7.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível com bicarbonato de sódio (bic) (P lábil), em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-10 cm de Argissolo Amarelo

Trat	Pt-bic			Pi-bic			Po-bic		
	mg kg <sup>-1</sup>								
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
PC	32,8	30,9	31,9 B	16,9	14,9	15,9 B	15,9	16,1	16,0
CM	36,4	37,0	36,7 A	20,1	20,9	20,5 A	16,3	16,1	16,2
Média	34,6	34,0		18,5	17,9		16,1	16,1	
CV %	9,18			14,44			22,87		

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

Em estudo avaliando formas de fósforo em Latossolo Vermelho distrófico, sob cultivo de cana-de-açúcar colhida com e sem queima, em amostras coletadas na linha e na entrelinha, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20, Correia (2010) encontrou maiores valores das frações Po lábil no sistema sem queima quando comparado ao com queima, mas apenas na camada de 10-20 cm. O autor argumenta que tal comportamento se deve ao bloqueio dos sítios de adsorção do P pelos ânions orgânicos liberados nos exsudatos radiculares e nos produtos de decomposição das raízes (Iyamuremye & Dick, 1996).

As frações de P extraível em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o P moderadamente lábil, são apresentadas na Tabela 8. Não foi observada diferença estatística significativa para os teores de Pt-H, Pi-H e Po-H, em relação aos manejos da palhada, preparo do solo, e interação entre esses fatores. Porém, foi possível verificar no CM tendência de valores relativamente mais

altos de Pt-H e Pi-H, em comparação ao PC, e que em solução ácida a maior parte (aproximadamente 65%) do fósforo total também está na forma inorgânica.

**Tabela 8.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução ácida (H) (P moderadamente lábil), em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-10 cm de Argissolo Amarelo

Trat	Pt-H			Pi-H			Po-H		
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
PC	131,5	132,9	132,2	82,3	87,6	84,9	49,2	45,4	47,3
CM	137,8	145,1	141,4	90,5	96,3	93,4	47,3	48,8	48,1
Média	134,6	139,0		86,4	91,9		48,3	47,1	
CV %	18,29			18,35			39,94		

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

O P extraível em solução alcalina (NaOH), fração moderadamente resistente, mostram que os valores de Pt-OH, Pi-OH e Po-OH não diferiram entre si para o tipo de preparo do solo, manejo da palhada, e também não houve interação significativa entre os mesmos (Tabela 9). Mas, nota-se que a maior parte do P moderadamente resistente está na forma inorgânica (Pi-OH), e que o plantio convencional (PC) e o manejo com queima da palhada (CQ), mostram maiores médias em relação ao cultivo mínimo (CM) e manejo sem queima (SQ), respectivamente. Além disso, observa-se comportamento heterogêneo entre as formas de preparo do solo e de manejo da palhada.

**Tabela 9.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução alcalina (OH) (P moderadamente resistente), em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-10 cm de Argissolo Amarelo

Trat	Pt-OH			Pi-OH			Po-OH		
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
PC	45,9	63,6	54,8	25,1	40,7	32,9	20,8	22,9	21,9
CM	50,8	46,3	48,5	30,4	24,8	27,6	20,4	21,5	20,9
Média	48,4	55,0		27,7	32,8		20,6	22,2	
CV %	34,89			57,32			22,55		

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

O resumo dos resultados de fracionamento do fósforo orgânico do solo é apresentado na Tabela 10. Mais de 70% do fósforo total quantificado nos diferentes tratamentos estão na forma inorgânica (Pit). Nunes et al. (2003) encontrou resultados semelhantes, em que o fósforo inorgânico, independente dos tratamentos, representou quase 70% do total.

**Tabela 10.** Resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm de Argissolo Amarelo

Trat	Pt			Pit			Pot			Presidual			TR			Po		
	mg kg <sup>-1</sup>									%								
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
PC	249,5	274,5	262,0	124,2	143,1	133,7	86,0	84,4	85,2	39,3	47,1	43,2	84,3	82,5	<b>83,4 B</b>	34,5	30,6	32,5
CM	264,5	265,1	264,8	141,0	142,0	141,5	84,0	86,4	85,2	39,5	36,7	38,1	85,0	86,1	<b>85,6 A</b>	31,5	32,8	32,1
Média	257,0	269,8		132,6	142,6		85,0	85,4		39,4	41,9		84,6	84,3		33,0	31,7	
CV %	14,04			18,53			24,23			15,35			2,54			18,20		

Médias seguidas com letras maiúscula distintas nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas distintas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima. Pt: fósforo total; Pit: fósforo inorgânico total; Pot: fósforo orgânico total; Presidual: fósforo residual; TR: taxa de recuperação; Po: percentagem de fósforo orgânico em relação ao P total.

Entretanto, os tratamentos não diferiram entre si para os valores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico total (Pit), fósforo orgânico total (Pot), fósforo residual (Presidual) e percentagem de fósforo orgânico (Po) em relação ao Pt. Mas, houve diferença significativa na taxa de recuperação (TR) do fósforo total, para a forma de preparo do solo, onde o CM apresentou maior média em comparação ao PC. O que confirma que o maior revolvimento do solo favorece a fixação das formas lábeis do fósforo, como descrito por Nunes et al. (2003). Com isso, embora os valores de Pt sejam semelhantes para as duas formas de preparo do solo, o CM possibilitou maior quantidade de Pi-bic em relação ao PC, e menor de Presidual.

A taxa de recuperação foi alta para todos os tratamentos, variando de 82,5 a 86,1 %, possivelmente devido a granulometria do solo mais arenosa e homogênea na área do experimento, além na mineralogia caulinitica da argila dos solos de tabuleiro. Em perfis de solos, formados por Sedimentos da Formação Barreira no estado do Rio de Janeiro, a ausência de correlação entre capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e os teores de argila foi relatada por Pereira et al. (2000), devido a predominância de caulinita nessa fração para esses solos. O que segundo os autores apresenta baixa capacidade de adsorção de fósforo devido sua baixa expressividade dos grupamentos Al-OH e AlOH<sup>+</sup> no processo de sorção. Os valores de taxa de recuperação encontrados por Beutler (2012), utilizando a mesma metodologia de extração sequencial, mas em diferentes áreas (integração lavoura pecuária, pastagem e cerrado) e em solo de granulometria mais argilosa e distinta mineralogia de argila (Latossolo Vermelho), variam de 54,49 à 68,01 %.

### **3.5.6 Atributos físicos do solo**

Para os dados de granulometria do solo (areia, silte e argila), nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm (Tabela 11), não houve diferença significativa em relação ao manejo da palhada e ao preparo do solo, nas diferentes profundidades, exceção para argila nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, e para silte na camada de 10-20 cm, onde o PC apresentou médias superiores em relação ao CM para os teores de argila, mas para os de silte o CM obteve médias maiores quando comparado ao PC. Também não houve interação significativa entre o manejo da palhada e o preparo do solo.

Além disso, a diferença de argila encontrada pode ser explicada pela própria forma de preparo do solo, pois parte de argila que ocupava camadas subsuperficiais, as quais têm maiores teores neste solo, após o revolvimento aplicado no PC possivelmente mudaram de posição ao longo da camada arável. Contudo, essas diferenças nos valores, em termos de classes de textura do solo não são expressivas e a área experimental é homogênea. Pode-se afirmar que as diferenças encontradas em relação ao manejo da palhada e preparo do solo em relação às propriedades químicas e físicas do solo não são devido a variações na granulometria do solo.

**Tabela 11.** Granulometria de Argissolo Amarelo sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm

Trat	Areia			Silte			Argila		
	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
..... g kg <sup>-1</sup> .....									
0-10 cm									
PC	843	839	841	46	40	43	111 Aa	121 Aa	116 A
CM	865	861	863	61	66	63	73 Ba	73 Ba	73 B
Média	854	850		54	53		92 a	97 a	
CV %		2,69			52,26			28,67	
10-20 cm									
PC	847	855	851	39 Ba	25 Ba	32 B	114	121	117
CM	837	860	848	74 Aa	50 Aa	62 A	89	100	95
Média	842	857		56 a	37 a		101	110	
CV %		3,93			62,68			29,70	
20-40 cm									
PC	826	832	829	32	42	37	143 Aa	126 Aa	134 A
CM	810	828	819	70	71	70	120 Ba	101 Ba	110 B
Média	818	830		51	56		131 a	114 a	
CV %		4,08			56,18			19,44	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

Os dados de densidade do solo, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, são apresentados na Tabela 12. Em relação ao manejo da palhada em todas as camadas avaliadas, não houve diferença significativa, ou seja, a densidade do solo não diferiu entre a cana sem queima (SQ) e com queima (CQ). Mas, em relação ao preparo do solo, em todas as camadas, houve diferença, onde o cultivo mínimo (CM) apresentou médias superiores ao plantio convencional (PC). A interação entre preparo do solo e manejo da palhada não foi significativa.

O resultado encontrado nas formas de preparo do solo pode ser explicado pela reorganização das partículas do solo com redução do espaço poroso ao longo das soqueiras, em especial no CM. Pois, na área com PC, a aração e gradagem para o plantio possibilitou maior aeração nas camadas envolvidas, ao contrário do tratamento CM, que recebeu apenas a abertura dos sucos para o plantio. Além disso, segundo Corrêa et al. (2009), o aumento conteúdo de argila dispersa em água mostra-se como o principal fator responsável pelo acréscimo da resistência do solo à penetração, sendo que os ácidos orgânicos de baixo peso molecular apresentam maior potencial de dispersão da argila que os ácidos húmicos, porém esse processo depende ainda da quantidade desses ácidos, da textura e mineralogia do solo. Assim, o maior conteúdo de ácidos húmicos no CM em relação ao PC (Tabela 4) possivelmente contribui para o aumento da dispersão das argilas e procedente redução do espaço poroso do solo.

**Tabela 12.** Valores de densidade do solo sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo

Trat	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
	0-10 cm			10-20 cm			20-40 cm		
	..... Mg m <sup>-3</sup> .....								
PC	1,54 Ba	1,52 Ba	1,53 B	1,58 Ba	1,54 Ba	1,56 B	1,55 Ba	1,53 Ba	1,54 B
CM	1,69 Aa	1,66 Aa	1,68 A	1,69 Aa	1,60 Aa	1,64 A	1,61 Aa	1,63 Aa	1,62 A
Média	1,62 a	1,59 a		1,63 a	1,57 a		1,58 a	1,58 a	
CV %	3,04			4,15			5,21		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

As médias de densidade da partícula, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (Tabela 13), não apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan entre os preparos de solo e manejo da palhada.

**Tabela 13.** Valores de densidade da partícula do solo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar em 6ª soca, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em Argissolo Amarelo

Trat	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média	SQ	CQ	Média
	0-10 cm			10-20 cm			20-40 cm		
	..... Mg m <sup>-3</sup> .....								
PC	2,64	2,61	2,63	2,61	2,62	2,61	2,62	2,60	2,61
CM	2,60	2,60	2,60	2,60	2,62	2,61	2,60	2,63	2,62
Média	2,62	2,61		2,60	2,62		2,61	2,62	
CV %	1,86			1,66			1,06		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

Os dados de macroporosidade, microporosidade e total de poros, nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm, seguem na Tabela 14. Observou-se que na camada 0-10 cm não houve diferença significativa entre preparos de solo e manejos da palhada. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm houve diferença entre os tipos preparo do solo para as médias de microporosidade e de total de poros, onde PC superou o CM.

**Tabela 14.** Distribuição dos poros e porosidade total do solo, em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo

Trat	Macroporosidade			Microporosidade			Total de Poros		
	SC	CQ	Média	SC	CQ	Média	SC	CQ	Média
0-10 cm									
PC	6,3	6,7	6,5	34,1	32,3	33,2	40,5	39,0	39,7
CM	7,6	7,4	7,5	32,2	32,1	32,1	39,8	39,4	39,6
Média	7,0	7,0		33,2	32,2		40,1	39,2	
CV %	33,10			5,69			6,55		
10-20 cm									
PC	10,6	11,9	11,3 A	30,2	30,9	30,6	40,8	42,8	41,8 A
CM	7,9	5,3	6,6 B	31,3	33,0	32,1	39,2	38,3	38,8 B
Média	9,3	8,6		30,8	31,9		40,0	40,5	
CV %	44,53			13,29			7,56		
20-40 cm									
PC	12,1	11,4	11,8 A	30,7	32,3	31,5	42,8	43,7	43,3 A
CM	7,7	8,9	8,3 B	31,1	30,7	30,9	38,8	39,6	39,2 B
Média	9,9	10,2		30,9	31,5		40,8	41,6	
CV %	37,61			14,04			6,76		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

Os resultados de microporosidade e total de poros (Tabela 14) das camadas de 10-20 e 20-40 cm e os valores de densidade do solo (Tabela 12), indicam que o maior revolvimento do solo no PC melhorou a porosidade do solo, o que refletiu em menores valores de densidade do solo quando comparado ao CM, o qual apenas sulcou o solo para o plantio dos toletes.

Em contraposição, Azevedo (2008) avaliando o efeito de três sistemas de manejo físico do solo, para produção de cana-de-açúcar, caracterizados por diferentes níveis de mobilização do mesmo (preparo vertical, cultivo mínimo e plantio direto), em um Latossolo Vermelho Eutroférico, em Londrina-PR, verificou que os valores de densidade do solo e porosidade não diferiram entre os tratamentos para cada profundidade analisada, isso em amostras coletadas após o 4º corte da cana-de-açúcar.

Embora, as propriedades químicas do solo interagem com propriedades físicas, os resultados de carbono orgânico total possivelmente não influenciaram os valores de densidade do solo e porosidade. A área com CM apresentou maiores teores de carbono orgânico total, porém maiores valores de densidade do solo e menor porosidade total em relação ao PC, nas camadas avaliadas; exceção para a camada 0-10 cm para valores médios de macroporos e total de poros. Diferindo dos dados obtidos por Oliveira (2009), pois de acordo com o autor, quanto maior o teor de MO do solo, menor a densidade do solo (Ds) e maior valor de porosidade total. O mesmo autor constatou, que nas áreas de menor interferência antrópica (testemunhas do trabalho- áreas sob florestas) as quais têm condição estrutural original do solo, os valores de Ds foram mais baixos em relação as áreas de cultivos de cana, e que houve correlação negativa entre Ds e os valores de macro, micro, e porosidade total, ou seja, com a redução da Ds a micro e porosidade total aumentaram, corroborando em partes com os resultados encontrados nesse estudo.

Contudo, em relação ao manejo da palhada não existiu diferença significativa para a distribuição de poros (macroporosidade e microporosidade) e o total de poros do solo. Além disso, para todas as camadas avaliadas, não houve interação entre preparo do solo e manejo da palhada. Esse resultado provavelmente está associado a forma como a cana-de-açúcar foi colhida, já que nos dois tratamentos, com queima (CQ) e sem queima (SQ), a colheita na área do experimento foi manual, minimizando as possíveis diferenças entre os atributos físicos do solo. Já que diferenças significativas entre os tratamentos cana crua e queimada têm sido observadas para os atributos físicos do solo em condições com colheita de forma mecânica e manual (Garbiate et al., 2011; Araújo et al., 2013; Torres et al., 2013).

Ao contrário, os resultados obtidos por Ceddia et al. (1999), para diferentes sistemas de manejo da colheita (crua e queimada, mas ambas com corte manual) diferiram entre si, na mesma área de estudo. Porém, o experimento tinha apenas 5 anos e o preparo do solo em todas as parcelas era com plantio convencional. Os autores encontraram, na cana queimada e na profundidade de 0-5 cm, valores de densidade do solo significativamente superiores em relação a cana crua. Ainda, na cana queimada, o valor do diâmetro médio ponderado dos agregados foi significativamente menor que a cana crua, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, indicando a compactação superficial e consequente diminuição da velocidade de infiltração instantânea da água no solo.

Machado et al. (2010), avaliando as propriedades físicas de Latossolo Vermelho Distrófico em Paraguaçu Paulista-SP, sob cultivo de cana-de-açúcar, utilizando dois sistemas de manejo, com (CCQ – corte manual de cana queimada com carregamento mecânico) e sem queima (CSQ – colheita mecânica de cana picada, crua), comparados com solo sob mata nativa, constatou que o CSQ apresentou características físicas mais próximas às da área de mata nativa, com teores de matéria orgânica estatisticamente iguais, valores semelhantes de resistência a penetração ao longo do perfil do solo. Por outro lado o CCQ mostrou menor teor de matéria orgânica e maior resistência a penetração principalmente nos 35 e 55 cm de profundidade do solo, quando comparado aos outros tratamentos. E quanto a densidade do solo, os sistemas sob cultivo de cana (CSQ e CCQ) mostraram maiores valores quando comparados ao valor da mata nativa, comprovando a influência do cultivo agrícola sob essa propriedade física do solo.

Os dados de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, são apresentados na Tabela 15. Onde em todas as camadas não houve interação entre preparo do solo e manejo da palhada. Também não ocorreu diferença significativa entre os manejos da palhada e os tipos de preparo do solo, exceção para as camadas de 0-5 e 5-10 cm, onde o CM apresentou maiores valores de DMP e DMG em relação ao PC.

Esse resultado pode ser explicado devido os teores de carbono orgânico total (Tabela 4) do CM apresentar-se superior ao do PC, o que possibilita a formação de agregados de tamanhos maiores e com maior estabilidade. Diversos estudos (Ceddia et al., 1999; Vasconcelos et al., 2010; Rosset, 2012; Souza et al., 2012) relatam a correlação positiva entre teores de carbono orgânico total e o DMP dos agregados.

Além disso, no momento da aração e gradagens nas parcelas com o tratamento PC os agregados possivelmente foram rompidos, pelo impacto físico entre implementos agrícolas e as partículas do solo. Segundo Leonel (2010), em estudo em Guariba – SP em Latossolo Vermelho Distrófico, com diferentes formas de preparo do solo para cultivo da cana-de-açúcar, o plantio direto e o cultivo mínimo proporcionaram maior agregação do solo em comparação ao plantio convencional, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.

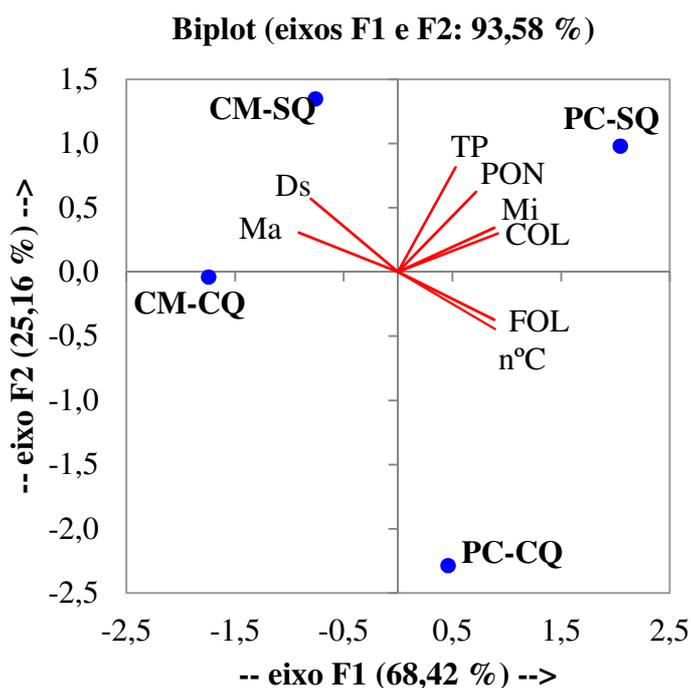
**Tabela 15.** Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados em diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada da cana-de-açúcar, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de Argissolo Amarelo

Trat	DMP			DMG		
	----- mm -----					
	SC	CQ	Média	SC	CQ	Média
0-5 cm						
PC	3,989	3,950	3,969 B	3,022	2,940	2,981 B
CM	4,118	4,689	4,404 A	3,238	4,196	3,717 A
Média	4,054	4,320		3,130	3,568	
CV %		10,94			20,73	
5-10 cm						
PC	2,693	3,557	3,125 B	1,731	2,519	2,125 B
CM	4,045	4,198	4,121 A	3,124	3,417	3,271 A
Média	3,369	3,877		2,427	2,968	
CV %		19,53			31,59	
10-20 cm						
PC	3,043	2,775	2,909	2,142	1,843	1,993
CM	3,257	3,669	3,463	2,288	2,803	2,545
Média	3,150	3,222		2,215	2,323	
CV %		22,42			30,87	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para os sistemas de preparo do solo (PC e CM) e de letras minúsculas em colunas para os manejos da palhada (SQ e CQ) não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Trat = Tratamentos; PC = plantio convencional, CM = cultivo mínimo; SQ = sem queima e CQ = com queima.

### 3.5.7 Interações dos físicos do solo com a produtividade de biomassa da cultura

Os resultados da ACP dos atributos físicos do solo, referentes a profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, e produtividade de colmos, ponteiros e folhas, e número de colmos, podem ser observados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente. Na Figura 8 observa-se que a soma dos eixos F1 e F2 explicam 93,58% dos resultados, sendo o F1 o qual explica 68,42% e o F2 25,16%. As áreas avaliadas apresentam separação espacial entre si, onde a partir do eixo F1 nota-se que ocorreu dois principais grupos de variáveis, estando a densidade do solo (Ds) e o volume de macroporos (Ma) relacionadas ao cultivo mínimo (CM) e TP, PON, Mi, COL, FOL e n°C ao plantio convencional (PC). A partir dessa distribuição das variáveis em relação às áreas de estudo, infere-se que o total de poros (TP) e microporos (Mi) na camada de 0-10 cm podem ter favorecido o desenvolvimento radicular da cultura e, indiretamente, a produção de biomassa nas diferentes partes aéreas da planta (COL, PON, FOL) e também o números de colmos (n°C). Já a maior Ds e o Ma no CM, provavelmente causaram efeito contrário.

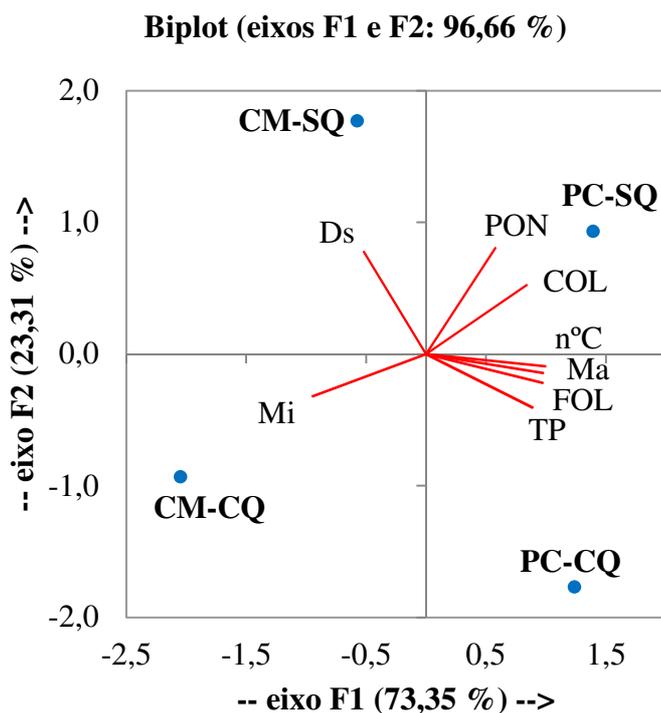


**Figura 8.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, na camada 0-10 cm, e produtividade de biomassa fresca nas diferentes partes da planta (referente a variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), em diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo.

PC: plantio convencional, CM: cultivo mínimo, SQ: sem queima e CQ: com queima; COL: produtividade de colmos, PON: ponteiros, FOL: folhas e n°C: número de colmos; TP: total de poros, Mi: microporos, Ma: macroporos e Ds: densidade do solo.

Em relação ao eixo F2, o qual explica apenas 25,26% dos resultados, verificou-se que independente do preparo do solo, o manejo sem queima da palhada (SQ) apresentou melhor relação com TP, PON, Mi, COL, Ds e Ma. Contudo a área PC-SQ foi a que apresentou a melhor combinação entre preparo do solo e manejo da palhada em relação a produtividade de biomassa vegetal. Também foi possível comprovar a relação positiva das folhas (FOL) com o número de colmos (n°C), já que as folhas estão inseridas nos entrenós dos colmos.

A ACP dos atributos físicos do solo, para a camada de 10-20 cm, e da produção de biomassa da planta é ilustrada na Figura 9, onde se observa comportamento análogo ao verificado na Figura 8. Exceção para os microporos (Mi) que se relacionam mais com o CM, e os macroporos (Ma) com o PC, indicando possível compactação do solo no CM, com potencial prejuízo ao desenvolvimento da cultura e menor rendimento de biomassa.



**Figura 9.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, na camada 10-20 cm, e produtividade de biomassa fresca nas diferentes partes da planta, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Linhares-ES.

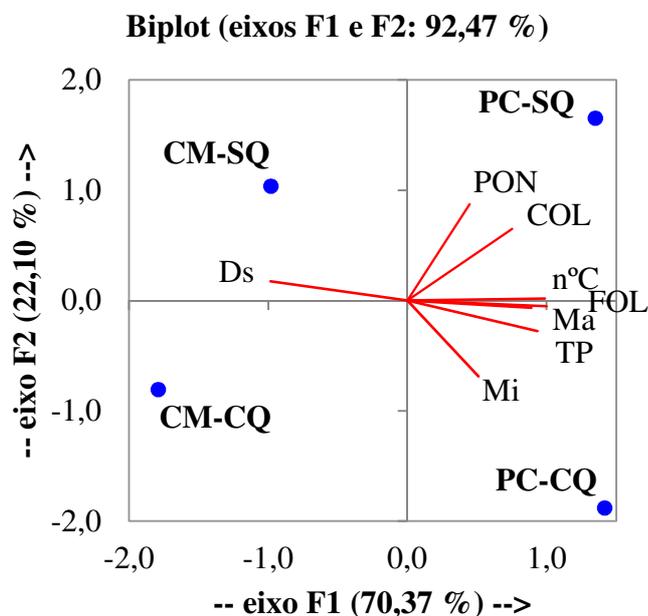
**PC:** plantio convencional, **CM:** cultivo mínimo, **SQ:** sem queima e **CQ:** com queima; **COL:** produtividade de colmos, **PON:** ponteiros, **FOL:** folhas e **n°C:** número de colmos; **TP:** total de poros, **Mi:** microporos, **Ma:** macroporos e **Ds:** densidade do solo.

Embora Blackburn (1984) relate valores da Ds entre 1,8-1,9 Mg m<sup>3</sup> como crítico ao crescimento da raiz da cana-de-açúcar, os estudos de Bangita & Rao (2012) e Silva Junior et al. (2013) mostram efeito negativo da compactação do solo na produção de colmos e nos atributos físicos do solo, de modo geral, para valores de Ds inferiores ao citado como crítico. Estes resultados indicam a sensibilidade do sistema de produção da lavoura em relação a forma de preparo do solo, principalmente para colheita mecanizada.

Porém, os dados de Carvalho et al. (2011), em estudo com diferentes tipos de preparo do solo a saber: preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD); no município de Rio Brilhante-MS, sob um Latossolo Vermelho Distrófico (textura média), apresentam diferenças nos valores de Ds e TP na camada de 20-40 cm, mas não ocorreu o mesmo para os valores de produtividade de colmos e números de perfilhos. A produção similar pode ser decorrente do tempo relativamente curto de implantação do experimento, pois quando o solo foi amostrado o experimento apresentava menos de um ano e, possivelmente, as próximas socas poderiam mostrar diferenças entre os tratamentos.

A ACP para atributos físicos da camada 20-40 cm (Figura 10) explica 92,47 % dos resultados, a partir da soma dos eixos F1 e F2, o F1 representando 70,37 % e o F2 22,10%, respectivamente. Também foi observada a separação espacial entre as áreas de estudo, onde em relação as formas de preparo do solo verificam-se dois grupos de variáveis, dessa forma

apresentando comportamento similar ao das outras camadas. Contudo, acredita-se que nessa camada o grau de compactação pode ser superior às demais, pois o CM apresenta relação positiva apenas com a Ds e o PC com a distribuição dos poros (Ma e Mi), porosidade total, e produção de biomassa nas diferentes partes aérea da planta, sendo que essas variáveis mostram alta relação entre si.



**Figura 10.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, na camada 20-40 cm, e produtividade de biomassa fresca nas diferentes partes da planta, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sistemas de preparo do solo (PC e CM), e manejo da palhada da cana-de-açúcar (CQ e SQ), em Argissolo Amarelo.

**PC:** plantio convencional, **CM:** cultivo mínimo, **SQ:** sem queima e **CQ:** com queima; **COL:** produtividade de colmos, **PON:** ponteiros, **FOL:** folhas e **n°C:** número de colmos; **TP:** total de poros, **Mi:** microporos, **Ma:** macroporos e **Ds:** densidade do solo.

Com base na ACP (Figura 8, 9 e 10) pode se afirmar que o manejo adotado nas áreas experimentais, em especial a forma de preparo do solo, resultou em mudanças dos atributos físicos do solo que interferiram na produtividade de colmos, ponteiros, folhas e número de colmos da cana-de-açúcar.

### 3.6 CONCLUSÕES

Os sistemas de preparo do solo (cultivo mínimo e plantio convencional) e manejo da palhada (com queima e sem queima) não afetaram significativamente a produtividade de colmos, palhada (soma de folhas e ponteiros), e o número de colmos por metro linear.

As médias das variáveis referentes à análise tecnológica do caldo e do colmo apresentaram-se similares nos diferentes sistemas de preparo do solo e manejo da palhada.

O sistema de preparo do solo com cultivo mínimo (CM) apresentou maiores teores de  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  e carbono orgânico total (COT), em todas as camadas avaliadas, e na camada de 10-20 cm para os de  $K^{+}$ .

O sistema de preparo do solo convencional (PC) associado à queima da palhada (CQ), no momento da colheita, influenciou negativamente nos teores de COT do solo, sobretudo nas camadas de 10-20 e 20-40 cm.

Os teores de COT, de carbono das frações húmicas: humina (C-HU), ácido húmico (C-AH) e ácido fúlvico (C-AF); e o carbono associado aos minerais do solo (CAM), mostraram-se indicadores mais sensíveis para avaliar o efeito do sistema de preparo do solo que do manejo da palhada.

O sistema de preparo do solo com CM possibilitou maior manutenção do teor de COT, do carbono das frações húmicas e do CAM.

De modo geral, os atributos físicos do solo foram mais sensíveis aos sistemas de preparo do solo que aos sistemas de manejo da palhada.

O cultivo mínimo repercutiu negativamente sobre, a densidade do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, os macroporos e total de poros nas camadas 10-20 e 20-40 cm, e positivamente nos valores de DMP e DMG nas camadas mais superficiais (0-5 e 5-10 cm), quando comparado ao plantio convencional.

O plantio convencional do solo favoreceu o acúmulo de nitrogênio e cálcio, nos colmos da cana-de-açúcar, em relação ao cultivo mínimo.

A cana sem queima acumulou maior quantidade de cálcio nos colmos e magnésio nos colmos e ponteiros que a cana com queima da palhada.

Os valores de fósforo inorgânico, orgânico e total, extraíveis em bicarbonato de sódio (lábil), ácido sulfúrico (moderadamente lábil) e em hidróxido de sódio (moderadamente resistente), foram semelhantes nos manejos sem queima e com queima.

A maior parte do fósforo total do solo dos sistemas avaliados está na forma inorgânica, sendo a solução de ácido sulfúrico (moderadamente lábil) a que mais extraiu essa fração.

O menor revolvimento do solo no sistema de cultivo mínimo favoreceu, o aumento de fósforo total (Pt-bic) e inorgânico (Pi-bic), da fração lábil, e a maior taxa de recuperação (TR) do fósforo total através do fracionamento realizado, em comparação ao plantio convencional.

## **4 CAPÍTULO II**

### **MANEJO DA PALHADA AO LONGO DE CADA CICLO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM LINHARES-ES**

#### 4.1 RESUMO

O uso do fogo como método despalhador e facilitador do corte manual da cana-de-açúcar está sendo abolido no Brasil, onde no estado de São Paulo, o maior produtor do país, mais de 70 % das áreas de cultivo de cana-de-açúcar já utiliza a colheita mecânica (cana crua – sem queima). Assim, a modificação do manejo da palhada no setor sucroalcooleiro instiga o aprofundamento de pesquisas que investiguem essas mudanças ao longo do tempo. Com isso, o objetivo nesse capítulo foi avaliar o efeito da manutenção, alternância e ausência da queima antes da colheita ao longo dos ciclos da cultura, sobre a produtividade da cana-de-açúcar em sexta soca da variedade SP79-1011; determinar o efeito desses tratamentos sobre as propriedades químicas e físicas do solo, na acumulação de nutrientes pela cultura e a distribuição do fósforo no solo em seus compartimentos. O experimento foi instalado em 1989, sob Argissolo Amarelo textura arenosa/média no município de Linhares (ES), inicialmente sob preparo convencional com cana crua e queimada. Em 1997, ocorreu a primeira renovação do canavial, onde o preparo convencional do solo foi substituído pelo cultivo mínimo, e além da cana crua e queimada, acrescentou-se a alternância da queima a esses manejos, obtendo quatro tratamentos, que após a segunda renovação em 2005, resultaram nas seguintes combinações: sem queima (SQ) e com queima (CQ) em todos os ciclos, e intercalando a cada ciclo com cana sem queima- com queima- sem queima (SQCQSQ) e cana com queima- sem queima- com queima (CQSQCQ). Para as análises, foram coletadas amostras de terra e planta em 2012, o que correspondeu à sétima safra (6ª soca) do terceiro ciclo de cultivo. Os resultados sugerem que as diferentes combinações de manejo da palhada não alteram significativamente a produtividade de colmo, palhada, e número de colmos por metro linear. De modo geral, os atributos químicos e físicos do solo apresentaram resultados similares, nas diferentes profundidades, entre as áreas avaliadas. Contudo, no acúmulo de macronutrientes nas partes aéreas da planta, a queima da cana ao longo ciclos (CQ) prejudicou o acúmulo de nitrogênio e potássio, pelos ponteiros, quando comparada a cana SQ, SQCQSQ e CQSQCQ. O fracionamento do fósforo do solo possibilitou identificar que os tratamentos que preservaram a palhada em longo prazo no solo (SQ e SQCQSQ) aumentaram os teores de fósforo orgânico lábil (Po-bic), e que independente do manejo da palhada a maior parte do fósforo do solo está na forma inorgânica (Pi).

**Palavras-chave:** Cana crua. Fertilidade do solo. Acúmulo de nutrientes.

## 4.2 ABSTRACT

The use of fire as a method to remove straw and to make easy the manual harvesting of sugarcane is being abolished in Brazil, where in the state of São Paulo, the largest producer in the country, over 70% of sugarcane fields already use mechanical harvesting (green cane – without burn). Thus, the modification of straw management in sugarcane sector motivates studies to investigate these changes over time. The objective in this chapter was to evaluate the effect of maintenance, alternation and absence of burning before harvesting along the crop cycles, on the sugarcane yield on the 6th ratoon of variety SP79-1011; to determine the effect of these treatments on the soil chemical and physical properties, in the accumulation of nutrients by the crop, and in the distribution of soil phosphorus in compartments. The experiment was established in 1989, in an Udult soil with sandy over medium texture, in Linhares municipality, (Espírito Santo State, Brazil), initially under conventional tillage with green and burnt cane. In 1997, it occurred the first renewal of the cane fields, where conventional tillage was replaced by minimum tillage, and besides the green and burnt cane, it was added to these management forms the alternation of burning treatment. Thus, reaching four treatments, which after the second renewal in 2005, resulted in the following combinations: green cane (GC) and cane with burning (WB) in all cycles; and for each cycle interspersed green cane- with burning- green cane (GCWBGC), and with burning- green cane- with burning (WBGCWB). For the analysis, soil and plant samples were taken in 2012, during the seventh production season (6th ratoon) of the third cycle of cultivation. The results suggest that the different combinations of straw management did not significantly alter the productivity of stalk, straw, and stalk number per meter. Generally speaking, the soil chemical and physical properties showed similar results, at the different depths, between the assessed areas. However, in the nutrients accumulation of the plant aerial parts, the sugarcane burning along cycles (WB) impaired the accumulation of nitrogen and potassium, by the pointers, when compared to GC, GCWBGC and WBGCWB treatments. The fractionation of soil phosphorus allowed identifying that the treatments that preserved the long-term straw in the soil (GC and GCWBGC) increased the levels of labile organic phosphorus (Po-bic), and that independent of the straw management most of the soil phosphorus is in inorganic form (Pi).

**Keywords: straw:** Green cane. Soil fertility. Nutrients accumulation.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A lavoura de cana-de-açúcar tem vários fins, destacando-se a produção de álcool e açúcar, onde o Brasil é o maior produtor e exportador mundial. Esse resultado é advindo das grandes áreas plantadas na região sudeste e centro oeste do país, e da aplicação pelos produtores de novas tecnologias e práticas de manejo que aumentam a produtividade. Contudo, o sistema sucroalcooleiro na última década vem passando por grande mudança na forma de colheita da cana-de-açúcar, sendo a colheita manual (cana queimada) substituída pela colheita mecânica (geralmente cana crua, ou seja, cana sem queima).

No estado de São Paulo, o qual detém aproximadamente 54% da área plantada no Brasil (Única, 2011), mais de 70% das lavouras de cana-de-açúcar são colhidas de forma mecânica (cana sem queima). Essa mudança representa economia na colheita (Ramão et al., 2007), aumento nos teores de carbono orgânico total do solo (Mendoza et al., 2000; Galdos et al., 2009; Pinheiro et al., 2010), melhoria da fertilidade do solo (Souza et al., 2012). A manutenção da palhada sobre a superfície do solo é apontada como a principal responsável pela melhoria dos atributos químicos do solo. Além disso, proporciona maior disponibilidade de água a cultura, pois, as perdas são menores (Urquiaga et al., 1991; Peres et al., 2010), refletindo positivamente na produtividade e longevidade do sistema, principalmente em áreas que utilizam o cultivo de sequeiro.

Alguns estudos apontam que a colheita mecânica afeta negativamente a qualidade física do solo (Machado et al., 2010; Garbiate et al., 2011), prejudicando o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar (Otto et al., 2011), consequentemente afetando a produtividade de colmos ao reduzir a absorção de água e nutrientes. Entretanto, Araújo et al. (2013) encontrou maior degradação estrutural do solo e menor conteúdo de água disponível em área com colheita manual (cana queimada), corroborando em partes resultados de Ceddia et al. (1999).

Dessa forma, torna-se necessário uma investigação mais detalhada de como a alternância de manejo da palhada, perante a colheita, influencia na produtividade de colmos, nos atributos químicos e físicos do solo e na absorção de nutrientes pela planta.

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da manutenção (cana queimada em todos os ciclos), alternância (inicialmente crua e queimada com posterior inversão, a partir da primeira renovação do canavial) e ausência da queima (cana crua em todos os ciclos) antes da colheita, sobre a produtividade da cana-de-açúcar; determinar o efeito dos tratamentos sobre as propriedades químicas e físicas do solo, na acumulação de nutrientes pela cultura e no comportamento do fósforo em seus compartimentos, em Argissolo Amarelo de textura arenosa/média, no ambiente de Tabuleiros Costeiros, em Linhares (ES).

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Descrição da área experimental

Idem ao item 3.4.1.

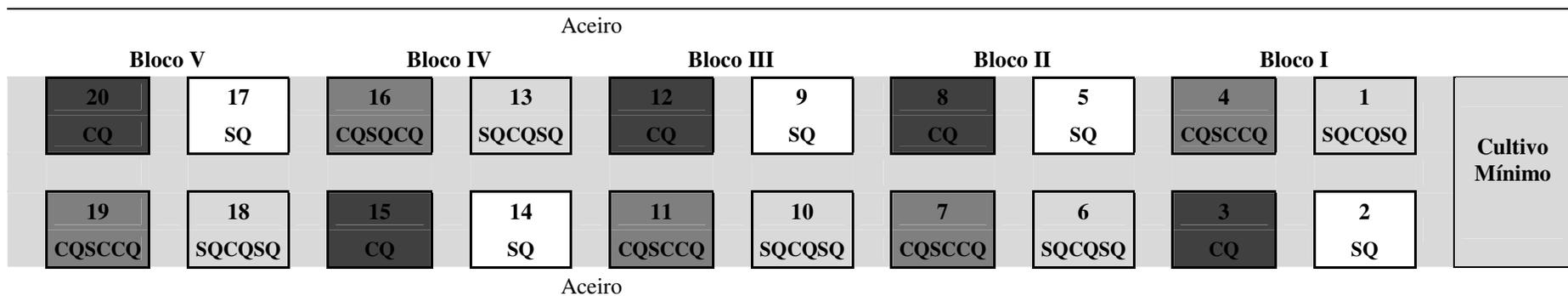
### 4.4.2 Tratamentos

A área experimental foi submetida a ciclos de cultivo de cana-de-açúcar, sendo implantada com plantio convencional do solo em 28/5/1989, com a primeira renovação no ano de 1997, quando substitui o plantio convencional (1 aração e 2 gradagens pesadas, a 30 cm de profundidade) pelo cultivo mínimo do solo. Esse cultivo consistiu na destruição da soqueira com a utilização de herbicidas e abertura de sulcos a 30 cm de profundidade, nas entre linhas, para o plantio dos toletes sem o prévio revolvimento do solo. Isso em experimento onde os principais tratamentos eram colheita sem queima (SQ) e com queima (CQ) da palhada da cana-de-açúcar.

Na primeira renovação do canavial (1997) foram incluídas as combinações de cana SQ-CQ e cana CQ-SQ. Em 2005 foi realizada a segunda renovação do canavial obtendo as seguintes combinações de manejo da palhada perante a colheita: cana sem queima em todos os ciclos (SQ), sem queima - com queima - sem queima (SQCQSQ), com queima - sem queima - com queima (CQSCCQ) e cana com queima em todos os ciclos (CQ). O histórico de uso da área experimental e o croqui com os tratamentos em 2012 podem ser observado na Figura 11 e 12, respectivamente.

Combinações de Manejo da Palhada			Tempo de Manejo
SQ	SQ	SQ	21 anos SQ
	CQ	SQ	7 anos SQ - 7 anos CQ - 7 anos SQ
CQ	SQ	CQ	7 anos CQ - 7 anos SQ - 7 anos CQ
	CQ	CQ	21 anos CQ
1º ciclo (1989-1996)	2º ciclo (1997-2004)	3º ciclo (2005-2012)	
Preparo Convencional	Cultivo Mínimo	Cultivo Mínimo	

**Figura 11.** Apresentação dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar e respectivos sistemas de manejo da palhada, aplicados ao longo do tempo, em Argissolo Amarelo, no município de Linhares-ES. SQ = cana sem queima (crua) e CQ = cana com queima da palhada.



**Figura 12.** Croqui do experimento com diferentes combinações de manejo da palhada da cana-de-açúcar ao longo de três ciclos da cultura (de 1989-1996, de 1997-2004 e de 2005-2012), na área da LASA, em Linhares (ES), no ano de 2012 - 6ª soca da variedade SP79-1011. SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSCCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Adaptado Tavares (2007).

A colheita sem queima consistiu na despalha manual, ou seja, não foi mecânica, na qual o cortador removeu com o podão as folhas do colmo, seguindo-se o corte do pé e da ponta (ponteiro). Esse material, após a colheita, foi espalhado uniformemente na área. Na colheita de cana com queima, o fogo foi ateado previamente em todo o perímetro, de tal forma que o seu término se processou na parte central da mesma. A seguir fez-se o corte como descrito anteriormente (Silva, 2000). Assim, independente do manejo da palhada (com ou sem queima), a colheita de toda área experimental foi realizada de forma manual, o que conferiu menor trânsito de máquinas e implementos agrícolas.

#### **4.4.3 Adubação**

Idem ao item 3.4.3.

#### **4.4.4 Amostragem e caracterização da fertilidade do solo**

Idem ao item 3.4.4.

#### **4.4.5 Fracionamento físico da matéria orgânica**

Idem ao item 3.4.5.

#### **4.4.6 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo**

Idem ao item 3.4.6.

#### **4.4.7 Fósforo orgânico**

Idem ao item 3.4.7

#### **4.4.8 Amostragem e caracterização dos atributos físicos do solo**

Idem ao item 3.4.8.

#### **4.4.9 Amostragem e determinação da estabilidade de agregados**

Idem ao item 3.4.9.

#### **4.4.10 Parâmetros tecnológicos**

Idem ao item 3.4.10.

#### **4.4.11 Determinação de nutrientes**

Idem ao item 3.4.11.

#### **4.4.12 Interpretação dos dados e avaliação estatística**

Idem ao item 3.4.12.

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Produtividade e parâmetros tecnológicos

O rendimento de colmo, ponteiro e folha (em Mg ha<sup>-1</sup>), o número de colmos m<sup>-1</sup> e a análise tecnológica do caldo e colmo são apresentados na Tabela 16. Neste experimento, foi avaliado o efeito do manejo da palhada ao longo dos ciclos da cultura sob diferentes combinações, sem queima (SQ) e com queima (CQ) em todos os ciclos, e intercalando a cada ciclo com cana sem queima – com queima – sem queima (SQCQSQ) e cana com queima – sem queima – com queima (CQSQCQ). Os rendimentos de colmo, palhada (soma de folhas e ponteiros), e números de colmos m<sup>-1</sup>, para a variedade SP79-1011 em 6<sup>a</sup> soca, não apresentaram diferença significativa.

Contudo, verificou-se tendência dos manejos que intercalam a queima a cada ciclo da cultura (CQSQC e SQCQS) apresentar melhores resultados de produção de colmo, ponteiro e folha, quando comparados aos que receberam apenas um manejo da palhada em todos os ciclos (SQ e CQ). Portanto, a ausência de diferença entre os tratamentos, ao longo dos ciclos de produção, pode ser devido às amostras das partes aérea da planta ser proveniente do ano de 2012, a qual correspondente a 6<sup>a</sup> soca do terceiro ciclo. É possível que as alterações sejam mais pronunciadas quando ocorre renovação do canavial, principalmente nos tratamentos de sofrem reversão do manejo da palhada.

Entretanto, mesmo na fase inicial do terceiro ciclo desse experimento, na primeira safra no ano de 2006 (cana-planta), Tavares (2007) também não observou diferença significativa entre a produtividade de colmos e folhas, mas notou maiores médias no rendimento dos ponteiros na cana SQ em relação aos manejos que intercalam o manejo da palhada, e desses a cana CQ. Além disso, o autor relatou tendência da cana SQ apresentar melhores rendimentos de colmos em relação aos demais tratamentos, onde a mesma atingiu 12,5 Mg ha<sup>-1</sup> a mais que a CQ. O que confirma que as variações entre os tratamentos são maiores na primeira safra (cana-planta) do terceiro ciclo, se comparada a sétima safra (6<sup>a</sup> soca) desse estudo, e que a cana SQ possivelmente tem maior potencial produtivo em relação a CQ. Estas diferenças enfatizam a importância de experimentos de longa duração, para que não se interprete de forma equivocada a produtividade da cana-de-açúcar alcançada em diferentes ciclos de manejo da palhada.

Os resultados de produção de colmos obtidos por Souza et al. (2005) confrontam com os dados desse trabalho. No experimento em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, no município de Jaboticabal-SP, com diferentes tipos de manejo da palhada: cana-de-açúcar com queima e corte manual, cana-de-açúcar sem queima e corte mecanizado, sem e com incorporação da palha triturada até 0,30 m, os autores observaram que o tratamento sem queima associado a incorporação da palha apresentou maior produção de colmos em relação aos demais. Os autores explicam que embora a cana sem queima deixe no solo em torno de 12 Mg ha<sup>-1</sup> de massa de resíduos orgânicos, a colheita mecânica conduziu a compactação do solo, desta forma o tratamento com incorporação da palhada até 0,30 m melhorou os atributos físicos do solo e, conseqüentemente, o rendimento de colmos. O que ajuda esclarecer a similaridade dos resultados encontrados nesse trabalho em Linhares (ES), já que em todos os tratamentos (SQ, SQCQSQ, CQSQCQ e CQ) a colheita é realizada manualmente.

Os teores de °Brix, Pol, Açúcares totais redutores (A.T.R.) não foram diferentes a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan. Entretanto, houve diferença para os teores de Fibra, Pureza e Açúcares redutores (A.R.), os quais decrescem na seguinte ordem para os tratamentos SQ > SQCQSQ > CQ > CQSQCQ; SQCQSQ > CQSQCQ > SQ > CQ; e, CQ > SQ, CQSQCQ > SQCQSQ. Esse resultado sugere que a manutenção da palhada sobre o solo favoreceu o aumento nos teores de fibra dos colmos, e que a intercalação do manejo da

palhada durante os ciclos da cultura influenciou positivamente na componente Pureza, ou seja, que esses tratamentos resultaram em mais sacarose comparados aos que não intercalaram o manejo da palhada e a queima, em todos os ciclos, pode aumentar os teores de açúcares redutores (glicose e frutose).

Contudo, acredita-se que a manutenção do conteúdo de água no solo nos sistemas SQ e SQCQSQ foi maior em relação a CQ e CQSQCQ. Porém, a densidade de raízes, nos sistemas que conservam a palhada, concentra-se preferencialmente na camada superficial, quando comparada aos manejos que queimam a palhada (Correia, 2010). Isso possibilita que em épocas de estiagem mais pronunciadas os sistemas CQ e CQSQCQ consigam ofertar mais água, pois possuem uma melhor distribuição das raízes no perfil do solo em relação aos sistemas SQ e SQCQSQ. Essa relação é importante, pois, a maior absorção de água pela cana-de-açúcar pode influenciar na qualidade tecnológica do caldo e do colmo.

Nesse sentido, Dias et al. (2012) verificaram que a maior ou menor disponibilidade de água, com e sem irrigação, respectivamente, para diferentes variedades de cana-de-açúcar (RB 72-454, SP79-1011 e SP80-1842) cultivadas em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, em Janaúba-MG, interferiu no % de Fibra dos colmos e °Brix do caldo. De acordo com os dados dos autores, em geral, a irrigação tende a diminuir o °Brix, mas em relação às variedades, a SP79-1011, sob irrigação, apresentou médias superiores. Porém, a ausência de irrigação resultou em médias superiores de °Brix, o que indica que a restrição hídrica propicia maior acúmulo de açúcares nos colmos. Além disso, que a variedade SP 9-1011 mostrou-se mais eficiente que as variedades RB 72-454 e SP80-1842, apresentando em média 25,15 °Brix, e as outras 22,16 e 22,62, respectivamente.

Em relação à porcentagem de Fibra nos colmos, Dias et al. (2012) observou que as condições hídricas interferiram nos resultados, e que a variedade SP79-1011 apresentou em média 11,14 % de fibra, a menor média em relação as RB 72-454 e SP80-1842, que tiveram 12,62 e 14,34 % de fibra, respectivamente. Os autores destacam que quanto maior o teor de sacarose das variedades, característica relevante nos programas de melhoramento, menor o teor de fibra apresentado por elas, fato comprovado pela variedade SP79-1011.

**Tabela 16.** Produtividade de colmo, ponteiro e folha ( $t\ ha^{-1}$ ), e análise tecnológica do caldo e colmo, da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura, em Argissolo Amarelo

Trat	Colmo	Palhada	Nº Colmos	°Brix	Teor de Fibra	Pol	Pureza	A.R.	A.T.R.
	----- $t\ ha^{-1}$ -----		m linear	----- % -----					
SQ	70,4	18,9	11,6	21,3	13,4 A	16,9	79,4 B	0,92 A	140,0
SQCQSQ	73,1	20,5	11,3	21,0	13,2 AB	17,5	83,1 A	0,79 B	143,9
CQSQCQ	77,5	20,5	11,7	21,5	12,8 B	17,3	80,8 AB	0,87 AB	144,5
CQ	70,2	16,9	11,2	21,5	13,0 AB	16,8	78,2 B	0,96 A	140,4
CV%	12,76	11,87	9,06	2,04	1,93	2,41	3,13	9,31	2,06

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Pol = Polarização, A.R.= açúcares redutores, A.R.T.= açúcares redutores totais. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

#### **4.5.2 Acúmulo de nutrientes nas partes aéreas da cana-de-açúcar**

Os dados de extração de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) da cana em sexta soca não mostram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan entre os tratamentos, nas diferentes partes aéreas da planta (Tabela 17). Exceção para o ponteiro, onde os tratamentos SQ, SQCQSQ e CQSQCQ apresentaram maiores médias de extração de potássio (K) em relação ao manejo CQ, e para o nitrogênio (N), onde o manejo SQ teve maior acúmulo em relação aos SQCQSQ e CQSQCQ, os quais foram superiores ao CQ. Ou seja, o acúmulo de N e K pelo ponteiro no manejo com queima em todos os ciclos (CQ), foi aquém dos demais tratamentos.

A manutenção da palhada sobre o solo, a qual varia de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> ano, na cana crua, favorece a disponibilidade e absorção de K, ao longo do ciclo da cultura (Schultz et al., 2010). Em experimento conduzido em Conceição da Barra - ES, em Argissolo Amarelo, aplicando diferentes doses de N e K, associado a diferentes fontes de K (cloreto de potássio e vinhaça), em cana crua e queimada, esses autores verificaram maior extração de K pelos colmos, e acúmulo na parte aérea total, na cana crua, mas não encontraram maior extração e acúmulo de N e P na cana-planta. Já na cana-soca, o acúmulo de K na palhada e a extração de N pelos colmos foram superiores na cana crua quando comparada a queimada.

No sistema CQ, as perdas de N ao longo dos ciclos de cultivo são maiores devido a queima do canavial (Soares et al., 2009), todavia com a queima o K permanece no sistema entre as cinzas, sendo facilmente disponível no solo. Entretanto, uma possível escassez de água pode ter afetado a absorção desses dois elementos, já que neste sistema o solo fica descoberto o que aumenta a evaporação da água.

**Tabela 17.** Extração de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio por componente da parte aérea de cana-de-açúcar, da variedade SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----				
	Colmo				
SQ	25,83	6,06	113,48	25,45	8,65
SQCQSQ	30,24	5,10	80,75	22,34	9,59
CQSQCQ	26,13	4,69	68,52	24,86	9,26
CQ	23,58	5,17	82,09	22,63	8,70
CV %	25,22	33,00	27,69	21,64	17,46
	Ponteiro				
SQ	22,39 A	4,41	84,67 AB	6,58	3,48
SQCQSQ	19,18 AB	4,16	86,53 A	7,50	4,17
CQSQCQ	19,86 AB	4,27	86,19 A	5,80	3,53
CQ	15,88 B	3,37	64,46 B	6,28	3,13
CV %	16,59	14,96	13,74	29,85	20,13
	Folha				
SQ	12,25	1,57	13,92	21,18	5,92
SQCQSQ	12,35	1,61	18,38	26,67	6,67
CQSQCQ	12,89	1,45	13,96	22,70	5,55
CQ	10,81	1,16	11,94	19,19	5,01
CV %	17,65	33,51	47,39	20,24	15,53

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.5.3 Propriedades químicas do solo

Os resultados das propriedades químicas das diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, seguem na Tabela 18. Independente da profundidade e da variável avaliada, não houve diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, entre as sequências de manejo da palhada utilizada ao longo de cada ciclo da cultura, ou seja, os diferentes manejos da palhada não diferiram entre si em relação a fertilidade do solo.

Embora não tenha encontrado diferença estatística entre os diferentes manejos, na camada superficial do solo (0-10 cm), a mais atingida pelo manejo da palhada, o sistema de cana CQ apresentou médias superiores de pH, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e inferiores de Al<sup>+3</sup>, em relação aos demais tratamentos. Redin et al. (2011) em sua revisão sobre o impacto da queima sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, relata que o uso fogo pode levar ao aumento nos teores de N, P, K, Ca, Mg, entre outros nutrientes em consequência das cinzas possuírem alta concentração desses nutrientes.

Divergindo em parte dos resultados de Correia & Alleoni (2011), em experimento de longa duração sobre Latossolo Vermelho Distrófico e sistemas de colheita da cana-de-açúcar com (CQ) e sem queima (SQ), em Pradópolis-SP, onde foi verificado que os teores de carbono e a fertilidade do solo foram mais elevados na cana SQ em comparação a CQ, principalmente nas camadas mais superficiais, exceção para os teores de P disponível.

Silva (2000) observou aumento dos teores de fósforo na superfície quando a palha foi mantida no sistema e explica o resultado pelo maior aporte de P ao sistema pela adição em ciclos anteriores. Já no sistema com queima, em maior profundidade diminuem os teores de fósforo, provavelmente devido à redução dos teores de matéria orgânica e ao aumento natural do teor de argila no perfil de solo, que possibilita a maior fixação de fósforo (Silva, 2000).

O que também discorda dos resultados de Souza et al. (2012), em estudo comparando os atributos químicos e microbiológicos do solo em sistemas de cana com queima, sem queima e floresta nativa, em Latossolo Vermelho Distrófico no município de Paraguaçu Paulista-SP. Neste estudo a cana sem queima apresentou maiores valores de pH, cátions trocáveis, P disponível, e menores de  $Al^{+3}$  e H+Al, sendo atribuídos ao fato do sistema sem queima receber adição de resíduos orgânicos no solo, o que também propiciou aumento no teor de carbono orgânico do solo, ainda que inferior ao da floresta nativa.

Os teores de carbono orgânico do solo (Tabela 18), apesar de não ter diferença estatística para os diferentes sistemas de manejo da palhada, mostram em todas as camadas um comportamento semelhante em relação as médias de cada sistema de colheita. Os tratamentos de cana SQ e CQ apresentam as maiores médias em relação aos que intercalam o manejo da palhada a cada ciclo (SQCQSQ e CQSQCQ). Observou-se ainda que o sistema de cana SQ, que conservou a palhada durante todo período de experimentação, teve as maiores médias de carbono orgânico total, seguido por CQ, CQSQCQ e SQCQSQ, na camada de 0-10 cm. Esse comportamento indica que essa intercalação de manejo da palhada, na colheita a cada ciclo, não favoreceu a manutenção e/ou aumento da matéria orgânica do solo.

Esse resultado similar entre os tratamentos para os teores de carbono orgânico total pode ser explicado pela textura do solo, pois em solos arenosos as mudanças nos teores de carbono orgânico total são mais sucintas em comparação aos argilosos (Luca et al., 2008). Segundo Cerri et al. (2011), a conversão da cana queimada para crua pode gerar aumento de 0,73 e 2,04 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de carbono no solo em solos arenosos e argilosos, respectivamente.

Silva (2000), na mesma área experimental, mas por ocasião da primeira renovação do canavial e, portanto, com os tratamentos SQ, CQ, SQCQ e CQSQ, verificou que o tratamento sem queima da palha promoveu aumento significativo nos teores de carbono do solo na camada de 20-30 cm. Ainda, na camada de 10-20 cm, os teores de carbono nos tratamentos SQ e CQ foram significativamente superiores ao tratamento SQCQ, e para CQSQ os valores foram significativamente mais elevados na camada de 20-30 cm, em relação aos tratamentos SQCQ e CQ.

Nesse mesmo experimento, Benazzi (2011), avaliando idênticos atributos químicos do solo e nas mesmas profundidades, encontrou resultados semelhantes. Contudo, a autora fez duas coletas, uma em fevereiro/2010, onde foram observados maiores teores de carbono orgânico total no sistema sem queima da palhada, e outra em novembro/2010, com os maiores teores na cana CQSQCQ. De acordo com Benazzi (2011), a variação dos teores de carbono na primeira coleta pode ser devida a qualidade do material orgânico depositado em superfície a cada ciclo da cultura, com posterior decomposição, contribuindo para a sua elevação na camada de 0-10 cm. Porém, na segunda coleta, no tratamento CQSQCQ, o manejo anterior (sem queima) pode ter influenciado os resultados.

Com base no que foi observado nesse estudo e avaliando os de trabalhos anteriores na mesma área experimental em Linhares (ES), considera-se que diversos fatores podem intervir no conteúdo de carbono do solo, incluindo o manejo (quantidade de palhada adicionada ao solo), época de amostragem, intercalação do manejo da palhada ao longo dos ciclos, tempo em relação à renovação do canavial e o tempo de instalação do experimento.

**Tabela 18.** Propriedades químicas de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm

Trat	pH	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	Valor S	Valor H	Valor T	V	K <sup>+</sup>	P	C(org)
	(H <sub>2</sub> O)	----- cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> de solo -----			-----			%	mg.kg <sup>-1</sup> de solo		g.kg <sup>-1</sup> de solo
0 - 10 cm de Profundidade											
SQ	5,24	0,46	0,30	0,52	0,80	4,59	5,38	14	14,21	1,36	12,29
SQCQSQ	5,31	0,42	0,30	0,42	0,74	4,42	5,16	14	8,81	0,80	8,23
CQSQCQ	5,45	0,48	0,24	0,44	0,76	4,52	5,28	14	15,76	1,69	8,53
CQ	5,58	0,58	0,42	0,35	1,05	4,52	5,58	18	21,16	1,14	10,32
CV%	3,88	42,00	53,20	22,36	42,85	13,28	15,71	34,88	52,33	27,21	28,75
10 - 20 cm de Profundidade											
SQ	5,16	0,22	0,22	0,73	0,45	4,88	5,33	8	2,63	0,93	9,69
SQCQSQ	5,10	0,28	0,16	0,57	0,44	5,02	5,46	8	0,31	0,44	7,42
CQSQCQ	5,31	0,34	0,18	0,55	0,53	5,08	5,61	10	3,40	0,76	6,84
CQ	5,24	0,30	0,24	0,58	0,55	5,15	5,70	10	2,63	0,32	8,94
CV%	4,98	40,52	50,0	23,91	33,28	10,04	9,86	32,01	5,54	81,74	23,76
20 - 40 cm de Profundidade											
SQ	5,18	0,30	0,22	0,81	0,53	5,64	6,17	8	2,63	0,32	8,41
SQCQSQ	4,95	0,24	0,32	0,85	0,56	5,05	5,61	10	0,31	0,18	6,61
CQSQCQ	5,25	0,26	0,18	0,63	0,45	5,45	5,90	8	4,17	0,16	6,31
CQ	5,21	0,32	0,28	0,72	0,60	5,78	6,38	10	0,31	0,29	7,92
CV%	6,69	71,06	12,28	24,00	54,98	13,42	13,23	50,90	45,84	7,66	21,92

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados referentes ao fracionamento químico da matéria orgânica do solo, na camada de 0-10 cm (Tabela 19), não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, entre as seqüências de manejo da palhada utilizada ao longo de cada ciclo da cultura. Mas, assim como nos teores de carbono orgânico do solo, as médias do carbono da fração humina (HU) e ácido fúlvico (AF) foram mais altas nos tratamentos SQ, CQ, SQCQSQ e CQSQCQ, respectivamente. Em relação ao carbono da fração ácido húmico (AH) as médias foram superiores nos sistemas que utilizaram o mesmo manejo da palhada em todos os ciclos (CQ e SQ) e inferiores nos que intercalaram (CQSQCQ e SQCQSQ).

Observou-se que independente do manejo da colheita da cana-de-açúcar, a maior parte do carbono do solo está associado a fração HU, apoiando os resultados encontrados por Loss et al. (2010) e Rossi (2013).

O tempo de queima dos canaviais a partir da implantação da cultura pode interferir no conteúdo de carbono orgânico do solo e em seus compartimentos químicos e físicos. Rossi (2013) avaliando áreas com queima da palhada da cana-de-açúcar em uma cronosseqüência de 1, 5, 10 e 20 anos, e área sob vegetação nativa (Cerrado) e pastagem, localizadas em Rio Verde-GO, em Latossolo Vermelho Distrófico (textura franco arenosa), em diferentes profundidades, verificou que a fração humina apresentou os maiores teores nas áreas de 10 e 20 anos nas profundidades de 0-5 cm e 40-60 cm, nas demais profundidades essas áreas não diferiram das de cana com 1 e 5 anos.

**Tabela 19.** Carbono (C) das frações húmicas (HU = humina, AF = ácido fúlvico, AH = ácido húmico), em Argissolo Amarelo sob diferentes seqüências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na profundidade de 0-10 cm

Trat	C-HU	C-AF	C-AH
----- g kg <sup>-1</sup> de solo -----			
SQ	7,74	1,12	0,75
SQCQSQ	5,10	0,97	0,56
CQSQCQ	4,34	0,89	0,60
CQ	6,27	1,07	0,77
CV %	30,75	30,03	39,38

Trat = tratamentos; SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados de fracionamento físico da matéria orgânica do solo, na camada de 0-10 cm (Tabela 20), não mostram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, entre as seqüências de manejo da palhada utilizadas ao longo de cada ciclo da cultura.

Porém, a partir desses dados foi possível inferir que a maior parte do carbono orgânico do solo está associada aos minerais (argila e silte) (CAM) e que as médias dos diferentes manejos da palhada têm comportamento semelhante aos dos teores de carbono orgânico total do solo. O contrário ocorreu com os dados de carbono orgânico particulado (COP), o da fração areia, pois as maiores médias foram encontradas nos sistemas SQ e CQSQCQ em comparação a SQCQSQ e CQ. O acúmulo de carbono orgânico do solo na fração particulada tem íntima relação com o aporte de resíduos orgânicos do solo sendo sensível a mudanças de manejo, mas a fração associada aos minerais geralmente retém a maior parte do carbono do solo (Campos et al., 2011; Blanco-Moure et al., 2013).

O fracionamento físico do carbono orgânico do solo realizado por Rossi (2013) em cronosequência de 1, 5, 10 e 20 anos da queima da palhada, e Cerrado, em condições descritas acima, mostrou maiores teores de carbono orgânico particulado (COP) nas áreas com cana de 1 e 5 anos na camada de 0-5 cm. A partir de 5 cm os teores da área de cana de 1 ano se igualaram aos da área de Cerrado, para a primeira coleta em setembro de 2009. Na segunda coleta (maio de 2010) a autora verificou a inversão nos teores da COP, com aumento significativo para as áreas de 10 e 20 anos em todas as profundidades avaliadas. A variação é explicada pela reforma do canavial, nas duas áreas e logo após a primeira coleta, com isso a produtividade aumentou em cerca de 30% nas áreas reformadas promovendo o acúmulo de material não queimado. Além disso, a autora destaca que em detrimento da reforma ocorre o revolvimento do solo, já que as áreas são conduzidas em plantio convencional, o que favorece os maiores teores de COP em profundidade. Enquanto nas áreas de 1 e 5 anos os teores de COP diminuem significativamente com a redução da produtividade da lavoura.

**Tabela 20.** Carbono orgânico total (COT), associado aos minerais (CAM) e particulado (COP), em Argissolo Amarelo, sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na profundidade de 0-10 cm

Trat	COT	CAM	COP
	----- g kg <sup>-1</sup> de solo -----		
SQ	12,29	10,30	1,98
SQCQSQ	8,23	6,66	1,56
CQSQCQ	8,53	6,62	1,92
CQ	10,32	8,94	1,38
CV %	28,75	33,89	38,06

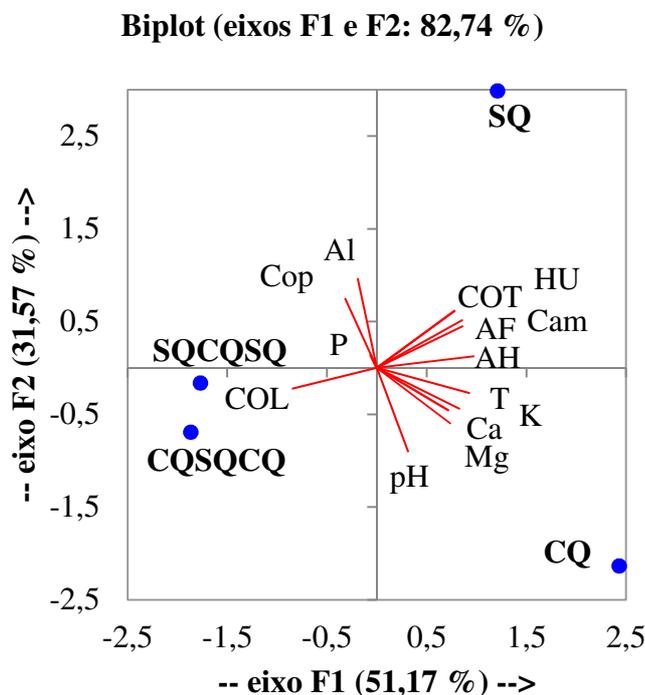
Trat = tratamentos; SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.5.4 Interação dos atributos químicos do solo com a produtividade de colmos em diferentes ciclos de manejo da palhada

A ACP dos atributos químicos do solo na camada mais superficial (0-10 cm) e produtividade de colmos é ilustrada na Figura 13. A soma dos eixos F1 e F2 podem explicar 82,74 % dos atributos avaliados, sendo que o eixo F1 ilustra 51,17 e o F2 31,57 %. Em relação à distribuição espacial, das áreas avaliadas, no Biplot (Figura 13), observa-se que os manejos que tiveram intercalação da queima em cada ciclo (SQCQSQ e CQSQCQ) apresentam maior proximidade entre si quando comparados aos manejos com apenas um tipo de manejo da palhada (SQ e CQ). Portanto, a intercalação do uso da queima, possivelmente, mascarou os efeitos do ciclo anterior e assim sucessivamente, diminuindo diferenças nas propriedades químicas do solo, entretanto favoreceu a produtividade de colmos (COL), mostrando que as variáveis avaliadas foram sensíveis aos efeitos dos diferentes tratamentos.

A maior interação ocorreu entre os teores de COT, HU, AH, AF e Cam, favorecidas pela forma de manejo que sempre conservou a palha sobre a superfície do solo (SQ), associados ainda aos teores de T, K, Ca, Mg e pH. Porém esses foram beneficiados pela queima da palhada em todos os ciclos (CQ), quando comparados aos manejos SQCQSQ e CQSQCQ, respectivamente. Além disso, nota que as variáveis Al, Cop e pH foram

pronunciadas em relação ao eixo F2, que explica 31,57 %, e o pH localizou-se em posição oposta ao Al e o Cop, que estão mais associados aos manejos SQ e CQ, respectivamente.



**Figura 13.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo, da camada 0-10 cm, e produtividade de colmos da variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca, sob diferentes ciclos de manejo da palhada (SQ, SQCQSQ, CQSQCQ e CQ) da cana-de-açúcar.

**SQ** = cana sem queima em todos os ciclos, **SQCQSQ** = sem queima - com queima - sem queima, **CQSQCQ** = com queima - sem queima - com queima e **CQ** = cana com queima em todos os ciclos; **COL**: produtividade de colmos; **COT**: carbono orgânico total; **AH**: carbono da fração ácido húmico; **AF**: carbono da fração ácido fúlvico; **HU**: carbono da fração humina; **Cop**: carbono orgânico particulado; **Cam**: carbono orgânico associado aos minerais; **Ca**: cálcio trocável; **Mg**: magnésio trocável; **K**: potássio trocável; **Al**: alumínio trocável; **P**: fósforo disponível; **T**: capacidade de troca catiônica.

#### 4.5.5 Fracionamento do fósforo orgânico do solo

As frações do fósforo (P) extraível em bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) são apresentadas na Tabela 21. Os valores de fósforo orgânico (Po-bic) mostram diferença significativa pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade, onde as áreas SQ e SQCQSQ proporcionaram maiores médias em comparação a CQSQCQ, e essa a CQ. Isso indica que a não queima da palhada pode favorecer o aumento do teor de fósforo na fração orgânica (Po-bic). Porém, em relação aos valores de fósforo total (Pt-bic) e inorgânico (Pi-bic) não houve diferença significativa entre os tratamentos. Entretanto, segundo Correia (2010) a elevada relação C:P da palha da cana não é favorável à mineralização do fósforo e ao acúmulo do mesmo na fração orgânica, mas a longo prazo isso pode ser alterado.

**Tabela 21.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível com bicarbonato de sódio (bic) (P lábil), em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm

Tratamentos	Pt-bic	Pi-bic	Po-bic
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
SQ	31,8	19,5	12,4 A
SQCQSQ	38,9	26,1	12,8 A
CQSQCQ	33,7	22,7	10,9 AB
CQ	26,9	18,9	8,0 B
CV %	30,85	50,12	22,23

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Em áreas de cana crua e queimada, Correia (2010), avaliando os teores de Po lábil, comparando com a vegetação nativa, em Latossolo Vermelho Distrófico (Pradópolis – SP), não encontrou diferenças significativas na camada superficial (0-5 cm). Porém, observou diferença significativa no Po moderadamente lábil, onde a cana queimada teve maiores teores do que a cana crua. Segundo o autor, as cinzas são fonte de fósforo inorgânico o que estimula a atividade microbiana e a formação de complexos Po-Ca.

Os valores das frações de P extraível em solução ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ou seja, a fração moderadamente lábil é apresentada na Tabela 22. As diferentes áreas avaliadas não diferiram significativamente entre si para os teores de fósforo total (Pt-H), inorgânico (Pi-H) e orgânico (Po-H). Mas, de modo geral observou-se que a maior parte do fósforo total (moderadamente lábil) está na forma inorgânica (Pi-H) e que os manejos que intercalaram a queima ao longo dos ciclos (SQCQSQ e CQSQCQ) possuem tendência de favorecer o incremento do Pt-H e Pi-H quando comparados aos manejos que não intercalaram a queima (SQ e CQ).

A maior parte do fósforo total do solo foi extraída em solução ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), corroborando resultados de outros autores (Beutler, 2012; Duda et al., 2013). Beutler (2012), em amostras de solo das camadas de 0-5 e 5-10 cm, em sistemas de integração lavoura pecuária (ILP), pastagem e cerrado, em Latossolo Vermelho, no município de Montividiu – GO, verificou que o sistema ILP apresentou, para as duas camadas, maiores teores de fósforo total extraível em solução ácida (Pt-H). O autor justifica o resultado pela adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial, ausência de revolvimento do solo e baixas taxas de erosão na área de estudo. Por outro lado, discordando de Rossi (2013), a qual observou que a maior proporção do fósforo total do solo foi extraída com NaOH (fração moderadamente resistente).

**Tabela 22.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução ácida (H) (P moderadamente lábil), em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm

Tratamentos	Pt-H	Pi-H	Po-H
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
SQ	146,0	92,4	53,6
SQCQSQ	187,4	117,0	70,4
CQSQCQ	201,8	113,0	88,7
CQ	174,6	95,8	78,7
CV %	37,59	40,79	53,09

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), extraível em solução alcalina (NaOH) são apresentados na Tabela 23, onde os mesmos não diferiram significativamente entre si. Mas, existe tendência dos manejos SQ e SQCQSQ favorecerem o acúmulo de Po-OH quando comparados aos CQSQCQ e CQ. Com isso, acredita-se que a manutenção da palhada no solo, além do fósforo orgânico lábil, também pode aumentar a fração orgânica do fósforo moderadamente resistente (Po-OH).

Além disso, observou-se que o padrão de distribuição de Pt-OH e Pi-OH não é homogêneo, pois os tratamentos SQ e SQCQSQ apresentaram maiores médias de Pt-OH em relação a CQSQCQ e CQ. Porém, para as médias de Pi-OH os manejos SQCQSQ e CQSQCQ foram maiores em comparação aos SQ e CQ, o que indica que o tipo de manejo da palhada ao longo dos ciclos da cana-de-açúcar pode influenciar nas formas de fósforo do solo.

**Tabela 23.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução alcalina (OH) (P moderadamente resistente), em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm

Tratamentos	Pt-OH	Pi-OH	Po-OH
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
SQ	38,0	26,7	11,2
SQCQSQ	40,0	28,3	11,7
CQSQCQ	36,6	28,7	7,9
CQ	32,0	24,2	7,8
CV %	18,93	12,36	50,33

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

O resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo é apresentado na Tabela 24. Observou-se que não houve diferença significativa para os valores de fósforo total (Pt), inorgânico (Pit), orgânico (Pot) e residual (Presidual), porcentagem da taxa de recuperação (TR) e de fósforo orgânico em relação ao P total (Po). Contudo, os manejos que intercalaram a queima da palhada (SQCQSQ e CQSQCQ) apresentaram os maiores valores de Pt e Pit em relação aos manejos SQ e CQ; além disso a forma inorgânica do fósforo superou a orgânica.

Os resultados de Busato et al. (2005), embora em Cambissolo Háplico Ta eutrófico vértico, confirmam que independente do manejo aplicado na produção da cana-de-açúcar, ou seja, cana colhida crua ou queimada, com ou sem aplicação de vinhaça, a maior parte do fósforo é encontrada na forma inorgânica. Os maiores teores de P total, P disponível, P orgânico, P inorgânico e P nas substâncias húmicas, foram encontrados na cana colhida crua (Busato et al., 2005). Porém, esses autores afirmam que a cana crua apresentou menor teor de fósforo orgânico, em comparação ao inorgânico, devido a sua mineralização, o que o disponibilizou para a solução do solo.

Já Nogueira et al. (2008), avaliando as formas de fósforo no solo em sistemas de manejo do solo agroflorestal e convencional, em diferentes profundidades, no município de Sobral – CE, verificaram que o sistema agrosilvipastoril apresentou maior conteúdo de P total inorgânico e orgânico, em relação aos outros tratamentos, quando extraídos em solução ácida (moderadamente ácida), e que essa solução foi a que extraiu a maior proporção do fósforo total do solo.

**Tabela 24.** Resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, na camada 0-10 cm

Trat	Pt	Pit	Pot	Presidual	TR	Po
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				----- % -----	
SQ	256,0	138,6	77,2	40,2	84,2	29,6
SQCQSQ	310,8	171,4	94,9	44,4	84,9	30,7
CQSQCQ	314,5	164,4	107,6	42,5	85,6	32,8
CQ	273,1	138,9	94,6	39,6	85,0	34,0
CV %	27,48	35,70	43,46	17,03	4,34	30,09

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima – sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos.. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Pt: fósforo total; Pit: fósforo inorgânico total; Pot: fósforo orgânico total; Pres: fósforo residual; TR: taxa de recuperação; Po: porcentagem de fósforo orgânico em relação ao P total.

#### 4.5.6 Atributos físicos do solo

Os resultados de granulometria do solo (areia grossa e fina, silte e argila), nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, são apresentados na Tabela 25. Para a textura do solo, em todas as profundidades, não houve diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, entre as sequências de manejo da palhada utilizada ao longo de cada ciclo da cultura. Embora, os teores de argila, na camada de 0-10 cm, e de silte na camada de 10-20 cm, seguem a seguinte ordem: CQ > SQCQSQ > CQSQCQ = SQ e SQ > CQ > SQCQSQ > CQSQCQ.

As pequenas variações observadas não resultam em diferenças em propriedades físicas e químicas no solo, pois os teores de argila e silte são baixos e a areia é a fração mais expressiva neste solo.

**Tabela 25.** Granulometria do solo sob diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm

Trat	Profundidade (cm)											
	0-10				10-20				20-40			
	Areia		Silte	Argila	Areia		Silte	Argila	Areia		Silte	Argila
	Grossa	Fina			Grossa	Fina			Grossa	Fina		
	..... g kg <sup>-1</sup> .....											
SQ	754	118	62	65 B	705	145	72 A	78	712	129	50	110
SQCQSQ	617	263	45	75 AB	752	113	37 BC	97	682	134	67	117
CQSQCQ	734	127	69	70 B	743	137	20 C	99	676	144	60	120
CQ	731	135	42	92 A	719	146	50 AB	84	690	123	81	106
CV%	22,18	94,62	55,09	16,69	6,62	27,79	43,45	21,20	9,94	32,36	59,20	16,41

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Trat = tratamentos.

Os resultados de densidade do solo (Ds), profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (Tabela 26), mostram que as médias não diferem entre as sequências de manejo da palhada usadas ao longo de cada ciclo da cultura, nas diferentes profundidades. Esses resultados discordam dos dados de Ceddia et al. (1999), que encontraram, na mesma área experimental porém em sua fase inicial, para a camada de 0-5 cm, efeito da queima da cana diminuindo os microporos, total de poros e o diâmetro médio ponderado (DMP), e aumentando a Ds, quando comparada a área de cana colhida crua.

De modo geral os valores de Ds aumentaram em profundidade, o que pode ser devido a compactação do solo pelo cultivo ao longo dos anos e/ou a presença de horizontes com caráter coeso (adensamento natural), comuns nos solos de tabuleiros costeiros, e até mesmo aos teores de argila que mostram leve aumento em profundidade.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006) define o caráter coeso como material de solo adensado, muito resistente à penetração da faca com consistência seca muito dura a extremamente dura, passando a friável ou firme quando úmido. Com isso, solos com esse caráter, para cultivo de cana-de-açúcar, sob condições de sequeiro ou com irrigação, necessitam de maiores cuidados quanto ao preparo do solo e colheita, para evitar a degradação pela compactação (Oliveira et al., 2010).

**Tabela 26.** Densidade do solo, sob diferentes seqüências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	..... Mg m <sup>-3</sup> .....		
SQ	1,57	1,69	1,65
SQCQSQ	1,67	1,64	1,65
CQSQCQ	1,60	1,67	1,66
CQ	1,58	1,70	1,57
CV%	7,27	5,78	7,71

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados de densidade da partícula (Dp), nas profundidades de 0-5, 5-10, 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm (Tabela 27), não mostram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, entre as seqüências de manejo da palhada utilizada ao longo de cada ciclo da cultura, nas diferentes profundidades. Porém, nota-se leve aumento das médias em profundidade, possivelmente pela redução nos teores de carbono orgânico.

**Tabela 27.** Densidade da partícula, em diferentes seqüências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de Argissolo Amarelo

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
	..... Mg m <sup>-3</sup> .....		
SQ	2,65	2,66	2,66
SQCQSQ	2,66	2,66	2,67
CQSQCQ	2,62	2,66	2,65
CQ	2,64	2,65	2,67
CV%	1,32	1,12	0,87

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados de macroporosidade, microporosidade e total de poros, nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm, das diferentes seqüências de manejo da palhada em cada ciclo da cultura, seguem na Tabela 28. Nota-se que em todas as profundidades avaliadas não houve diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

**Tabela 28.** Distribuição dos poros e porosidade total do solo, em diferentes sequências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm

Tratamentos	Macroporosidade	Microporosidade	Total de Poros
	..... % .....		
0-10 cm			
SQ	10,3	30,4	40,7
SQCQSQ	6,4	33,4	39,9
CQSQCQ	8,0	33,2	41,2
CQ	7,2	34,1	41,3
CV %	49,29	13,28	8,17
10-20 cm			
SQ	6,9	31,4	38,3
SQCQSQ	9,7	30,3	40,0
CQSQCQ	9,8	31,0	40,8
CQ	10,0	29,0	39,0
CV %	69,2	12,03	10,36
20-40 cm			
SQ	11,0	29,7	40,7
SQCQSQ	8,1	30,0	38,1
CQSQCQ	8,9	30,2	39,1
CQ	11,9	31,6	43,5
CV %	41,91	12,15	9,38

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

O diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, são apresentados na Tabela 29. Não houve diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan entre os tratamentos. Porém, os tratamentos SQ e CQSQCQ apresentaram médias de DMP, conseqüentemente de DMG, relativamente superiores aos SQCQSQ e CQ, na camada de 0-5 cm, provavelmente devido a cana SQ ter maior teor de COT no solo. E embora os tratamentos CQSQCQ e SQCQSQ tenham proporcionado menores valores de COT em relação a cana CQ, a quantidade de biomassa vegetal produzida e deixada nesses sistemas, quando comparadas ao tratamento que sempre queimou a cana, foi superior ao longo dos ciclos, o que possivelmente favoreceu a maior agregação entre as partículas do solo.

Em lavouras com queima da palhada da cana-de-açúcar para a colheita, boa parte da biomassa produzida é perdida em forma de CO<sub>2</sub> e metano, e outra parte, principalmente a biomassa dos ponteiros, que possui maior umidade, resistem ao fogo. Conseqüentemente, os sistemas de cana-de-açúcar que produzem elevados teores de biomassa vegetal, aportam ao solo maior quantidade de resíduos, o que foi verificado em experimento com queima para todos os tratamentos (Rossi, 2013).

A menor agregação do solo na área com cultivo de cana-de-açúcar queimada, na região de tabuleiros costeiros, no município de Campos dos Goytacazes-RJ, também foi relatada por Fontana et al. (2010). O autor compara esse uso com pastagem e floresta e conclui que o sistema de cana colhida queimada desfavorece a agregação do solo. Além disso,

os autores observaram correlação positiva de DMP e DMG com os teores de carbono orgânico total do solo, carbono da fração humina e ácidos húmicos, em especial sob floresta.

A distribuição de agregados do solo e sua estabilização na camada superficial dependem do teor de matéria orgânica do solo e da ação dos ciclos sucessivos de umedecimento e secagem do solo (Vasconcelos et al., 2010). Esses autores, em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar: com irrigação, com fertirrigação com vinhaça e área com aplicação de vinhaça e torta de filtro; e uma área testemunha-padrão (fragmento de Mata Atlântica), Latossolo Amarelo Distrocoeso de tabuleiros costeiros em Alagoas, verificaram aumento no diâmetro médio ponderado dos agregados (via úmida) pela adição de resíduos da cana-de-açúcar (vinhaça adicionada à torta e da vinhaça isoladamente).

**Tabela 29.** Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados em diferentes seqüências de manejo da palhada ao longo de cada ciclo da cultura da cana-de-açúcar, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm

Trat	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
	DMP			DMG		
	----- mm -----					
SQ	4,353	2,934	2,012	3,551	1,958	1,200
SQCQSQ	3,978	3,626	1,667	3,041	2,675	0,977
CQSQCQ	4,497	4,060	2,300	3,775	3,157	1,491
CQ	3,732	3,907	2,089	2,698	2,857	1,311
CV %	11,46	18,38	41,29	20,84	24,80	49,66

SQ = cana sem queima em todos os ciclos, SQCQSQ = sem queima - com queima - sem queima, CQSQCQ = com queima - sem queima - com queima e CQ = cana com queima em todos os ciclos. Médias seguidas com letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

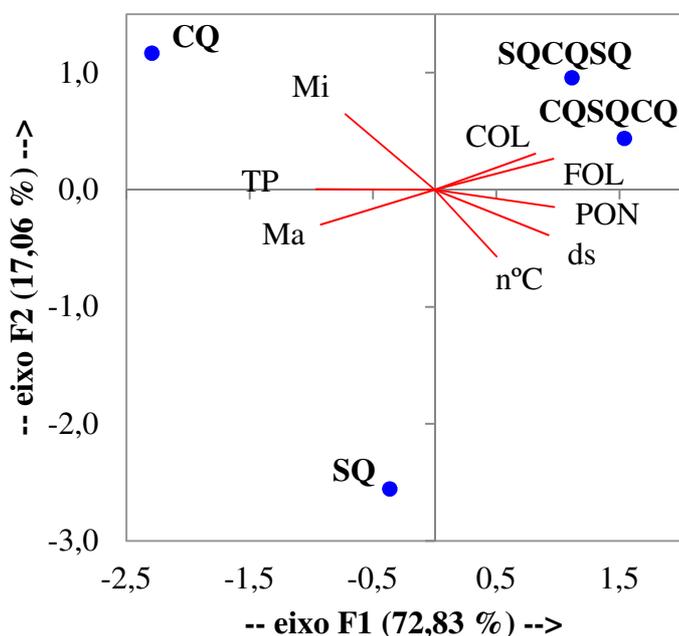
#### 4.5.7 Interação dos atributos físicos do solo com a produtividade de biomassa nas partes aéreas da planta

Os resultados da ACP dos atributos físicos do solo, na profundidade de 0-10, e produtividade de colmos, ponteiros e folhas, e número de colmos, podem ser observados na Figura 14. A soma dos eixos F1 e F2 explicam 89,90% dos resultados, sendo o F1 o qual explica 72,83% e o F2 17,06%. Os tratamentos com apenas uma forma de manejo (CQ e SQ) se distribuem em posições opostas em relação aos que intercalaram as formas de manejo (SQCQSQ e CQSQCQ), isso para o eixo F1, o qual explica a maior parte dos resultados. Além disso, as áreas SQCQSQ e CQSQCQ apresentam maior similaridade entre si quando comparadas as CQ e SQ.

Em relação as variáveis avaliadas, o Biplot (Figura 14) apresenta dois principais grupos de variáveis a partir do eixo F1, com a porosidade total (TP) e distribuição de poros (Ma e Mi) mais associadas às áreas CQ e SQ, e do outro lado a produção de COL, FOL, PON, ds e n°C mais relacionadas às áreas SQCQSQ e CQSQCQ. Essa distribuição indica que a porosidade total do solo e os volumes de macroporos e microporos possuem alta correlação entre si, porém não se refletiram em aumento da produção de biomassa na parte aérea da planta e número de colmo, na área estudada.

Segundo Cerri & Magalhães (2012), a correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade da cana-de-açúcar não é suficiente para explicar as variações de produtividade, o que indica que outras variáveis devem ser analisadas. Os autores verificaram que o carbono, nitrogênio e H+Al, influenciam positivamente na produtividade da cana, o contrário ocorre com o pH (CaCl<sub>2</sub>), fósforo disponível e índice de cone (baseado na resistência do solo à penetração de uma haste, a qual após o recebimento de um impacto provocado pelo deslocamento vertical de um bloco de ferro colocado na parte superior da haste, por uma distância conhecida, normalmente em torno de 400 mm, quando o aparelho atinge zonas compactadas, o número de impactos necessários para penetração da haste é maior, indicando as zonas de compactação).

**Biplot (eixos F1 e F2: 89,90 %)**



**Figura 14.** Análise de componentes principais (ACP) dos atributos físicos do solo, da camada 0-10 cm, e produtividade de biomassa nas partes aéreas da planta (variedade de cana-de-açúcar SP79-1011 em 6ª soca), sob diferentes ciclos de manejo da palhada da cana-de-açúcar (SQ, SQCQSQ, CQSQCQ e QQQ).

**SQ** = cana sem queima em todos os ciclos, **SQCQSQ** = sem queima - com queima - sem queima, **CQSQCQ** = com queima - sem queima - com queima e **CQ** = cana com queima em todos os ciclos; **COL**: produtividade de colmos, **PON**: ponteiros, **FOL**: folhas e **n°C**: número de colmos; **TP**: total de poros, **Mi**: microporos, **Ma**: macroporos e **ds**: densidade do solo.

#### 4.6 CONCLUSÕES

As diferentes seqüências de manejo da palhada da cana-de-açúcar (SQ: sem queima em todos os ciclos; SQCQSQ: sem queima- com queima- sem queima; CQSQCQ: com queima- sem queima- com queima e CQ: com queima em todos os ciclos) não alteraram a produtividade de colmo, ponteiro e folha, e número de colmos por metro linear.

Os atributos químicos do solo (pH, bases trocáveis, fósforo disponível e carbono orgânico total do solo, carbono das frações húmicas, carbono associado aos minerais e carbono orgânico particulado) não apresentam respostas significativas aos diferentes sistemas de manejo da palhada nas diferentes camadas avaliadas.

Para a densidade do solo e da partícula, distribuição de macroporos e microporos, total de poros, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), não houve diferença significativa entre os manejos da palhada aplicados, nas diferentes profundidades.

A partir da análise dos componentes principais e das médias dos atributos químicos e físicos do solo, e da produtividade de colmos, ponteiros e folhas, observou-se que as áreas que sofreram intercalação da queima da palhada (CQSQCQ e SQCQSQ), para a maioria das variáveis analisadas, apresentaram maior similaridade entre si quando comparadas as que receberam sempre o mesmo manejo (SQ e CQ).

O acúmulo de nitrogênio (N) e potássio (K) pelos ponteiros foi sensível as diferentes seqüências de manejo da palhada.

Os manejos que mantiveram a palhada por mais tempo ao longo dos ciclos de cultivo (SQ e SQCQSQ) propiciaram maiores valores de fósforo orgânico lábil (extraível com bicarbonato de sódio) quando comparados aos manejos que passaram por mais colheitas com queima (CQSQCQ e CQ).

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

Os sistemas de preparo do solo, manejo da palhada, incluindo os que intercalaram a queima ao longo dos ciclos, não influenciaram de forma significativa a produtividade de colmos, palhada (soma de ponteiros e folhas) e números de colmos por metro linear.

O tipo de preparo do solo alterou os atributos químicos e físicos do solo, porém as mudanças para os manejos da palhada, quando presentes foram mais sucintas.

O preparo convencional do solo e a colheita com queima da cana-de-açúcar apresentam menor potencial para conservação do carbono orgânico total, carbono das frações húmicas e carbono associado aos minerais.

O acúmulo de nitrogênio e cálcio pelos colmos foi favorecido no plantio convencional do solo, e os teores de cálcio e magnésio nos colmos e magnésio, potássio e também de nitrogênio, nos ponteiros, pela manutenção da palhada ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar.

O fracionamento do fósforo orgânico do solo permitiu visualizar que a maior parte do fósforo total do solo, independente dos tratamentos, está na forma inorgânica (Pi), que a solução ácida (fósforo moderadamente lábil) apresentou os maiores teores de P total, P inorgânico e P orgânico, além disso que a taxa de recuperação do fósforo total do solo foi alta em todas as áreas avaliadas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBRUZZINI, T.F. Qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo em cultivo convencional e orgânico de cana-de-açúcar. 2011. 92p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP.
- ARAÚJO, F.S.; SOUZA, Z.M.de.; SOUZA, G.S.de.; MATSURA, E.E.; BARBOSA, R.B. Espacialização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho em dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, p.651-660, 2013.
- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.337-345, 2004.
- AZEVEDO, M.C.B. Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar. 2008. 100p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Londrina, Londrina- PR.
- AZEVEDO, M.C.B.; CHOPART, J.L.; MEDINA, C.C. Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. *Sci. Agric.*, v.68, p.94–101, 2011.
- BANGITA, B.; RAO, B. K. Impacts of compaction relief treatments on soil physical properties and performance of sugarcane (*Saccharum spp.*) under zonal tillage system. *Geoderma*, v. 189, p. 351-356, 2012.
- BAQUERO, J.E.; RALISCH, R.; MEDINA, C.D.C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M.D.F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 63-70, 2012.
- BENAZZI, E.S. Produtividade, fertilidade e fauna do solo em um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita. 2011. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, E.S.; SCHAEFER, C.E.R.; MARTIN-NETO, L. Caracterização dos ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Vermelho Amarelo e de um Podzol por análise termodiferencial e pela espectroscopia de absorção no infravermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.543-551, 1999.
- BEUTLER, S.J. Avaliação de atributos do solo sob diferentes usos da terra no cerrado Goiano. 2012. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- BLACKBURN, F., 1984. SUGAR-CANE. LONGMAN, HARLOW, UK.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt.1, p.377-382. (Agronomy Monography, 9).
- BLANCO-MOURE, N.; GRACIA, R.; BIELSA, A.C.; LOPEZ, M.V. Long-term no-tillage effects on particulate and mineral-associated soil organic matter under rainfed Mediterranean conditions. *Soil Use and Management*, v. 29, p. 250–259, 2013.

- BOUJILA, A.; GALLALI, T. Land use effect on soil and particulate organic carbon, and aggregate stability in some soils in Tunisia. *African Journal of Agricultural Research*, v.5, p.764–774, 2010.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.53, p.362-366, 1989.
- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Science*, v.125, p.95-101, 1978.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, v.21, p.73-85, 1974.
- BUSATO, J.G.; CANELLAS, L.P.; RUMJANEK, V.M.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo num cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. II- Análise de ácidos húmicos por RMN<sup>31</sup>P. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 945-953, 2005.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J. Soil*, v.56, p.777-783, 1992.
- CAMPOS, B.C.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R.S.; FIORIN, J.E. Carbon stock and its compartments in a subtropical Oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.
- CANÇADO, J.E.D. A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba - SP. São Paulo, 2003, 201p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo.
- CANELAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.935-944, 2003.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A., eds. *Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005. 287p.
- CARVALHO, L.A.D., SILVA JUNIOR, C.A.D., NUNES, W.A.G.D.A., MEURER, I.; SOUZA JÚNIOR, W.S.D. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, v.34, n.1, p.199-211, 2011.
- CEDDIA, M.B. Efeitos do sistema de corte na produção de cana-de-açúcar e em propriedades físicas de solo de tabuleiro no Espírito Santo. *Seropédica*, 1996, 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1996.
- CEDDIA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L.A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.1467-1473, 1999.
- CERRI, C.C.; GALDOS, M.V.; MAIA, S.M.F.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; POWLSON, D.; CERRI, C.E.P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. *European Journal of Soil Science*, v.62, n.1, p.23-28, 2011.
- CERRI, D.G.P.; MAGALHÃES, P.S.G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 4, p. 613-620, 2012.

- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, v.84, p. 133-144, 1957.
- CHEN, H.; HOU, R.; GONG, Y.; LI, H.; FAN, M.; KUZYAKOV, Y. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.*, v.106, p.85-94, 2009.
- Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2013 - Companhia Nacional de Abastecimento. - Brasília : Conab 2013.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira : cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2013.
- CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.541-549, 2008.
- CORRÊA, M.M.; ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; SHAEFER, C.E.G.R.; PEREIRA, T.T.C. & ALMEIDA, C.C. Ácidos orgânicos de baixo peso molecular, ácidos húmicos e alterações em algumas propriedades físicas e químicas de Latossolos, Plintossolo e Neossolo Quartzarênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.121-131, 2008.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURTI, N. & TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.297-313, 2008.
- CORREIA, B.L. Formas de fósforo em Latossolo sob cana-de-açúcar colhida sem queima. 2010. 103p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba - SP.
- CORREIA, B.L.; ALLEONI, L.R.F. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.8, p.944-952, 2011.
- COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1503-1514, 2007.
- CULMAN, S.W.; SNAPP, S.S.; FREEMAN, M.A.; SCHIPANSKI, M.E.; BENISTON, J.; LAL, R.; DRINKWATER, L.E.; FRANZLUEBBERS, A.J.; GLOVER, J.D.; GRANDY, A.S.; LEE, J.; SIX, J.; MAUL, J.E.; MIRKSY, S.B.; SPARGO, J.T.; WANDER, M.M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.76, p.494-504, 2012.
- CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no Norte Fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 667-672, 2007.
- CUNHA, T.J.F.; CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada em solos brasileiros. In: CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A., eds. *Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes, 2005. Cap. 3, p. 54-80.

- DIAS, C.M.de.O.; CORSATO, C.E.; SANTOS, V.M. dos; SANTOS, A.F.S. Indicadores fitotécnicos, de produção e agroindustriais em cana de açúcar cultivada sob dois regimes hídricos. *Revista Caatinga*, v. 25 (3), p. 58-65, 2012.
- DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO, F.C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.6, p.576-583, 2008.
- DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO, F.C. Avaliação de atributos químicos do solo após a colheita da cana-planta em sistema de plantio direto e convencional. *Científica*, v. 8, p. 69–77, 2010.
- DUDA, G.P. Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. 2000. 158 f. Tese (Doutorado Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.
- DUDA, G.P.; GUERRA, J.G.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; RIBEIRO, M.R. Avaliação da biodisponibilidade de fósforo em diferentes classes de solos do Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, v.3, n. 4, p. 1563-1576, 2013.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed., rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. Boletim técnico, Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA/SNLCS, n.45, 1978, 461 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.
- FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S. W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência do sistema de preparo nas propriedades química e física do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.1097-1104, 2003.
- FERNANDES, O.W.B. Avaliação de variedades de cana-de-açúcar para a produção de cachaça artesanal e a interferência dos resultados no comportamento do produtor na região de Salinas-MG. 2005. 83 p. Dissertação (Mestrado em Educação Agrícola) – UFRRJ, Seropédica, 2005.
- FONTANA, A.; BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolo de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, p.291-297, 2010.
- FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. *Bragantia*, v.66, p.699-674, 2007.
- GAJDA A.M. Microbial activity and particulate organic matter content in soils with different tillage system use. *Int. Agrophysics*, v.24, p.129-138, 2010.
- GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, v.153, p.347–352, 2009.

GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.2145-2155, 2011.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. In: ARAÚJO, P.A.; ALVES, B.J.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*, v. VIII. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 141-187.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt.1, p.383-411. (Agronomy Monography, 9).

GUEDES, C.A.B. Volatilização de N e alterações químicas do solo sob cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça e diferentes formas de colheita. 2002. 92 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 31, n. 4, p. 291-299, 1996.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. *Austr. J. Soil Res.*, v.43, p.189-202, 2005

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, 1982.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

IVANOFF, D.B., REDDY, K.R., ROBINSON, S. Chemical fractionation of organic phosphorus in selected histosols. *Soil Science*, v. **163**, p. 36-45, 1998.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R.P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Advances in Agronomy*, v. 56, p. 139-185, 1996.

JACOMINE, P.K.T. Fragipans em solos de "tabuleiros"; características, gênese e implicações no uso agrícola. Recife, PE. 1974. 83p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1974.

JADOSKI, C.J.; TOPPA, E.V.B.; JULIANETTI, A.; HULSSHOF, T.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v. 3, n. 2, p. 169-176, 2010.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L. (Eds). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.

LEONEL, C.L. Influência do preparo do solo em área de reforma de canal na qualidade física do solo e na cultura do amendoim. 2010. 78 p. Tese (Doutorado em Agronomia-Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – Unesp, Jaboticabal.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI,

R.C.; NEVES, J.C.L. (ed.), Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 1, p. 1-64.

LOPES, S.A.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, 2004. 110 p.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. *Bragantia*, v.69, p.1-10, 2010.

LUCA, E.F. DE; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.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*, v.32, p.789-800, 2008.

MACHADO, W.; TELLES, T.S.; FILHO, J.T.; GUIMARÃES, M.F.; ALVES, G.B.; BORGES, J.L.B.. Physical properties of a Rhodic Haplustox under two sugarcane harvesting systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p.1803-1809, 2010.

MAGRO, J.A. Sistema cana crua, uma opção ecológica e moderna. *Revista Agropecuária CooperCitrus*, Edição: 133, 2011. Disponível em: <<http://www.revistacoopercitrus.com.br/?pag=home&edicao=133>>; Acesso em: 12 ago. 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 2.ed., 1997, 319 p.

MENDOZA, H.N.S. Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo. Seropédica: UFRRJ, 1996. 112p. (Dissertação de Mestrado).

MENDOZA, H.N.S.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, L.A.; CEDDIA, M.B.; ANTUNES, M.V.M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.1, p.201-207, 2000.

MONTEIRO, A.C.G.; PONCIANO, N.J. Índice da qualidade do solo com cana-de-açúcar colhida crua e queimada. *Revista Científica Internacional*, v.1, p.58-70, 2012.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analítica Chemica Acta*, v.27, p.31-36, 1962.

NOGUEIRA, R.S.; OLIVEIRA, T.S.; SÁ MENDONÇA, E.; FILHO ARAÚJO, J.A. Formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral - CE. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, p. 494-502, 2008.

NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. *Bragantia*, v. 62, p. 101-109, 2003.

OLIVEIRA, E.C.A.de.; FREIRE, F.J.; DE OLIVEIRA, R.I.; DE OLIVEIRA, A.C.; DOS SANTOS FREIRE, M.B.G. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n. 3, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, E.C.A.de.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.; SIMOES NETO, D.E.; SILVA, S.A.M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar

cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n. 4, p. 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, F.M. de.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M.K.; BORGES, I.D.; PEGORARO, R.F.; VIANNA, E.J. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. *Revista Ceres*, v. 59, p. 832-840, 2012.

OLIVEIRA, F.R.A.. Sustentabilidade e qualidade do solo em propriedades de cana-de-açúcar orgânica e convencional, 2009. 66f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.

OLIVEIRA, V.S.; ROLIM, M.M.; VASCONCELOS, R.F.B.; PEDROSA, E.M.R. Compactação de um Argissolo Amarelo Distrocoeso submetido a diferentes manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 914-920, 2010.

OLIVERA, A.P.P. Atributos edáficos e adubação nitrogenada em cana de açúcar em tabuleiros costeiros: respostas a sistemas de colheita com e sem queima da palhada. 2013. 76f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PAULINO, A.F.; MEDINA, C.C.; AZEVEDO, M.C.B.; SILVEIRA, K.R.P.; TREVISAN, A.A.; MURATA, I.M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.911-917, 2004.

PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo – Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.911-920, 2008.

PAVINATO, S.P.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C.A. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. *Soil & Tillage Research*, v.105, p.149-155, 2009.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. ; PACHECO, M.P.; LAPROVITERA, R.O. Adsorção de fósforo em solos formados a partir de diferentes tipos de material de origem. *Agronomia (UFRRJ)*, v. 34, p. 07-13, 2000.

PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. *Engenharia Agrícola*, v. 30, p. 875-886, 2010.

PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. *Plant and Soil*, v.333, p.71-80, 2010.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena*, v.7, p.1-13, 2011.

RAMÃO, F.P.; SCHNEIDER, I E.; SHIKIDA, P.F.A. Padrão tecnológico no corte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no Estado do Paraná. *Revista de Economia Agrícola, São Paulo (SP)*, v.54, n.1, p.21-32, 2007.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1609-1623, 2007.

RAVELLI NETO, A.; LIMA, E. Caracterização de uma topossequência de solos sobre sedimentos do Terciário e Quaternário em Linhares-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. Programas e resumos... Campinas: SBCS, p.166, 1987.
- REDEL, Y.D.; RUBIO, R.; ROUANET, J.L.; BORIE, F. Phosphorus bioavailability affected by tillage and crop rotation on a Chilean volcanic derived Ultisol. *Geoderma*, v. 139, p. 388–396, 2007.
- REDIN, M.; SANTOS, G.F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G.L.; LUPATINI, M. ; DONEDA, A.; SOUZA, E.L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, p. 381-392, 2011.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.151-160, 2001.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Sorção de fósforo em função do teor inicial e de sistemas de manejos de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.41-49, 2003.
- RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C.; SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.713-721, 1998.
- RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. *Rev. Saúde Pública*, vol. 42, n.2, p.370-376, 2008.
- RIBEIRO, H.; FICARELLI, T. R. Queimadas nos canaviais e perspectivas dos cortadores de cana-de-açúcar em Macatuba, São Paulo. *Revista saúde e sociedade*, São Paulo, v.19, n.1, p.48-63, 2010.
- RODRIGUES, E.B.; ABI SAAB, O.J.G. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região de Bandeirantes – PR. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.28, n.4, 2007.
- ROQUE, A.A. de O.; SOUZA, Z.M. de; BARBOSA, R.S.; SOUZA, G.S. de. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.744-750, 2010.
- ROSSET, J.S. Matéria orgânica e agregação de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. 2012. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana.
- ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; DIAS, F.L.F.; LANDELL, M.G.A.; VITTI, A.C. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. *Informações Agronômicas*, p.8-13; 2008.
- ROSSI, C.Q. Dinâmica da matéria orgânica do solo e fósforo orgânico em cronosequência de cana-de-açúcar cultivada no Cerrado. 2013. 127f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- SACHS, R.C.C. Remuneração da tonelada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 55-66, 2007.
- SANTOS, D.C.dos.; FARIAS, M.de.O.; LIMA, C.L.R.de.; KUNDE, R.J.; PILLON, C.N.; FLORES, C.A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Ciência Rural*, v. 43, n. 5, p. 838-844, 2013.

SÃO PAULO (Estado). Lei n. 11.241, de 11 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.legislacao.sp.gov.br/legislacao/index.htm>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

SCHMIDT, J.P.; BUOL, S.W.; KAMPRATH, E.J. Soil phosphorus dynamics during seventeen years of continuous cultivation: Fractionation analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 60, p. 1168–1172, 1996.

SCHNEIDER, C.F.; SCHULZ, D.G.; LIMA, P.R.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C. Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.5, p.08-17, 2013.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.811-820, 2010.

SILVA JUNIOR, C.A.da.; CARVALHO, L.A.de.; CENTURION, J.F.; OLIVEIRA, E.C.A.de. Comportamento da cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo, sob diferentes tipos de preparo. *Bioscience Journal*, v. 29, p. 1489-1500, 2013.

SILVA, F.I.C.; GARCIA, A. Colheita mecânica e manual da cana-de-açúcar: histórico e análise. *Nucleus*, v.6, n1, p.1-16, 2009.

SILVA, L.A.da. Efeitos da renovação do canavial com diferentes sistemas de colheita, implantado com cultivo mínimo, sobre as propriedades químicas do solo, análise do crescimento, produtividade e acúmulo de nitrogênio em cana soca. 2000. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

SOARES, L.H.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14p. (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 27).

SOUSA, G.B.; MARTINS FILHO, M.V.; MATIAS, S.S. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba - SP. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.3, p.490-500, 2012.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; ARAÚJO, F.S.; BARBOSA, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 603-612, 2012.

SOUZA, H.A.; MARCELO, A.V.; CENTURION, J.F. Carbono orgânico e agregação de um latossolo vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n 4, p. 658-663, 2012.

SOUZA, R.A.; TELLES, T.S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; FILHO, J.T.; GUIMARÃES, M.F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*: v.155, p.1-6, 2012.

SOUZA, Z.M.; BEUTLER, A.N.; PRADO, R.M.; BENTO, M.J.C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Científica*, v.34, p.31-38, 2006.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.271-278, 2005.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L., (Ed). Methods of soil analysis: part 3. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020.

TAVARES, O.C.H. Crescimento da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes sistemas de plantio e colheita. 2007. 94p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

TAVARES, O.C.H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v.32, n.1, p.61-68, 2010.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; CUNHA, M.de.A.; MARTINS, M.E.; VIEIRA, D.M.da.S. Atributos físicos, químicos do solo e biomassa em sistemas de colheita de cana-de-açúcar. Revista Ciências Agrárias, v. 56, p. 311-318, 2013.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUÊS, J.C.S.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.31, p.89-99, 1996.

ÚNICA; CANA-de-açúcar Disponível em : <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=63>; acesso em 27 ago. 2013.

UNICA; CANA-de-açúcar; Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>; acesso em 16 ago. 2012.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D.H.V. Importância de não queimar a palha da cana-de-açúcar. Comunicado Técnico. EMBRAPA, n.5, 1991. 12p.

VALE, D.W.; PRADO, R.M.; AVALHÃES, C.C.; HOJO, R.H. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, p.189-196, 2011.

VASCONCELOS, R.F.B. de.; CANTALICE, J.R.B.; OLIVEIRA, V.S.D.; COSTA, Y.D.J.D.; CAVALCANTE, D.M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34 (2), p. 309-316, 2010.

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

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa: v.3, n.3, p.491-498, Mai./Jun, 2007.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., v19, p.1467-1476, 1988.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Journal of the American Society of Agronomy, v.28, p.337-351, 1936.

ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; FORESTIERI, E. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no Norte Fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n.3, p. 1191-1197, 2008.