

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLO CULTIVADO COM CANA DE  
AÇÚCAR, COM E SEM APLICAÇÃO DE VINHAÇA, COLHIDA DE FORMA  
MANUAL E MECANIZADA, NO OESTE PAULISTA**

**CLAUDINEI ALBERTO CARDIN**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLO CULTIVADO COM CANA DE  
AÇÚCAR, COM E SEM APLICAÇÃO DE VINHAÇA, COLHIDA DE FORMA  
MANUAL E MECANIZADA, NO OESTE PAULISTA**

**CLAUDINEI ALBERTO CARDIN**

Dissertação de mestrado apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos

631.83  
C267a

Cardin, Claudinei Alberto.

Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana de açúcar, com e sem aplicação de vinhaça, colhida de forma manual e mecanizada, no Oeste Paulista / Claudinei Alberto Cardin – Presidente Prudente, 2014.

70 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP, 2014.

Bibliografia.

Orientador: Carlos Henrique dos Santos

1. Potássio. 2. Densidade do Solo. 3. Porosidade. 4. Matéria Orgânica. I. Título.

**CLAUDINEI ALBERTO CARDIN**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE SOLO CULTIVADO COM CANA DE  
AÇÚCAR, COM E SEM APLICAÇÃO DE VINHAÇA, COLHIDA DE FORMA  
MANUAL E MECANIZADA, NO OESTE PAULISTA**

Dissertação de mestrado apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Presidente Prudente, 26 de setembro de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Carlos Henrique dos Santos  
Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE  
Presidente Prudente-SP

---

Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan  
Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE  
Presidente Prudente-SP

---

Dr. Sandro Roberto Brancalião  
Instituto Agronômico de Campinas - IAC  
Ribeirão Preto-SP

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico à minha família e aos amigos, que sempre me incentivaram para a realização dos meus ideais, encorajando-me a enfrentar todos os momentos difíceis da vida.**

**Com muito carinho, aos meus pais, pela compreensão, pelo apoio e pela contribuição para minha formação acadêmica.**

## **AGRADECIMENTOS**

### **À Deus**

Pela dádiva da vida, e por ter ajudado a manter a fé nos momentos mais difíceis.

### **Aos meus Pais**

Que sempre me incentivaram na continuação do curso, sendo verdadeiros amigos, companheiros e confidentes, que hoje sorriem orgulhosos ou choram emocionados, que muitas vezes, na tentativa de acertar, cometeram falhas, mas que inúmeras vezes foram vitoriosos, se doaram inteiros e renunciaram aos seus sonhos, para que, muitas vezes, eu pudesse realizar o meu sonho. A vocês que compartilharam o meu ideal e os alimentaram, incentivando a prosseguir na jornada, mostrando que o nosso caminho deveria ser seguido sem medo, fossem quais fossem os obstáculos. Minha eterna gratidão vai além de meus sentimentos, pois a vocês foi cumprido o dom divino. O dom de ser Pai, o dom de ser Mãe.

### **Às minhas filhas**

Júlia e Carina que souberam entender minha ausência, por vários momentos.

### **Ao professor, Carlos Henrique dos Santos**

Que dedicou seu tempo e compartilhou sua experiência para que minha formação fosse também um aprendizado de vida, meu carinho e meu agradecimento. O seu olhar crítico e construtivo me ajudou a superar os desafios desta dissertação, serei eternamente grato.

### **À todos**

Que ouviram os meus desabafos; que presenciaram e respeitaram o meu silêncio; que partilharam este longo passar de anos, de páginas, de livros e cadernos; que tantas vezes machucamos; que fez meu mundo um mundo melhor; que me acompanharam, choraram, riram, sentiram, participaram, aconselharam, dividiram; as suas companhias, os seus sorrisos, as suas palavras e mesmo as ausências foram expressões de amor profundo. As alegrias de hoje também são suas, pois seus amores, estímulos e carinhos foram armas para essa minha vitória.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*  
*(Marthin Luther King)*

## RESUMO

### **Atributos químicos e físicos de solo cultivado com cana de açúcar, com e sem aplicação de vinhaça, colhida de forma manual e mecanizada, no Oeste Paulista**

O objetivo deste trabalho foi avaliar alterações nos atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo em função dos manejos de aplicação de vinhaça em conjunto com as formas de colheita manual e mecanizada de cana queimada e cana crua, no oeste paulista. O experimento foi desenvolvido, na safra 2012/2013, em área de produção de uma empresa do setor de bioenergia, no distrito de Ameliópolis, em Presidente Prudente/SP. As avaliações das áreas foram realizadas seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x5, caracterizados por quatro sistemas de manejo: SVSQ (Sem Vinhaça e Sem Queima), SVCQ (Sem Vinhaça e Com Queima), CVSQ (Com Vinhaça e Sem Queima), CVCQ (Com Vinhaça e Com Queima), além da área de mata nativa (MN) e cinco profundidades de amostragem do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40; 40-50 cm), com quatro repetições. A área MN foi utilizada como testemunha para demonstração das alterações nas propriedades químicas e físicas do solo pela aplicação dos manejos. As amostras coletadas foram transportadas para o laboratório de análise de solos da UNOESTE para a determinação dos parâmetros teor de K, COT (carbono orgânico), MOS (matéria orgânica), ECT (estoque de carbono total), Ds (densidade do solo), Dp (densidade de partículas), Pt (porosidade total), e  $\theta_s$  (umidade de saturação) nas camadas referenciadas acima. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. A aplicação de vinhaça associada ao sistema de colheita sem queima incrementou a concentração de K nas camadas de solo até 40 cm de profundidade. A textura arenosa do solo possibilitou a movimentação do K no perfil. Os manejos SVCQ, SVSQ, CVCQ e CVSQ não aumentaram os teores de MOS, COT e ECT. Nas profundidades estudadas também não foram observadas diferenças marcantes. A Ds e a Dp não foram influenciadas pelos manejos agrícolas e pelas profundidades amostradas. A área manejada no sistema CVSQ apresentou maior  $\theta_s$  nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm comparada com os demais manejos estudados. Os atributos químicos e físicos avaliados dentro dos respectivos manejos devem ser avaliados por um período maior de tempo, destacando que o COT poder ser fracionado e o comportamento da rizosfera da cana de açúcar poderá ser estudado.

**Palavras-chave:** Potássio, Densidade do Solo, Porosidade, Matéria Orgânica, *Saccharum Officinarum*.

## ABSTRACT

### **Soil chemical and physical attributes and cultivated with sugar cane, with and without application of vinasse, harvested manual and mechanized way, the west of Sao Paulo**

The objective of this study was to evaluate different management in the cultivation of sugar cane and possible changes in chemical and physical properties of an Alfisol Red Yellow. The experiment was carried out in 2012/2013 harvest in agricultural production area of a company located in the district of Ameliópolis in Presidente Prudente/SP. Areas were assessments made following completely randomized design in a 5x5 factorial design, characterized by four management systems applied to culture of sugar cane: Without Vinasse and No Burning, Without Vinasse and Burning, With Vinasse and Without Burning e With Vinasse and With Burning), plus native forest, in five soil sampling depths (0-10 10-20, 20-30, 30-40; 40-50 cm), with four replications. The native forest was used as a control to statement of changes in soil properties due to the application of managements cited. After collection, samples were transported to the laboratory soil analysis of UNOESTE for the determination of chemical and physical soil parameters, content of K (potassium), OCS (organic carbon in soil), SOM (organic matter in soil), TOCS (total organic carbon stock), Bd (bulk density), Pd (particle density), Tp (total porosity), and  $\theta_s$  (saturation humidity) in the above referenced layers in sample undisturbed. The application of vinasse associated with the harvest without burning system increased the concentration of K in the soil layers up to 40 cm deep. The sandy texture of the soil enabled the movement of K in the profile. The managements did not increase SOM levels, OCS and TOC. Studied depths also no marked differences were observed. The Bd and Pd were not influenced by agricultural management and the depths sampled. The area managed in With Vinasse and Without Burning showed the highest  $\theta_s$  at 0-10 and 10-20 cm depth compared with the other studied managements. The chemical and physical attributes evaluated within the respective managements should be evaluated over a longer period of time.

**Keywords:** Potassium, Density, Porosity, Organic Matter, *Saccharum Officinarum*.

## LISTA DE SIGLAS

°C - Graus Celsius

Ca - Cálcio

CQ - com queima (colheita manual)

CV - com aplicação de vinhaça

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

cm - centímetro

CH<sub>4</sub> - metano

CO - monóxido de carbono

CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono

CTC - Capacidade de troca catiônica

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DIC - Delineamento Inteiramente Casualizado

DQO - Demanda Química de Oxigênio

g - gramas

ha - hectare

K - Potássio

Kg - Kilograma

L - litro

mg - miligrama

Mg - Megagrama

mL - mililitro

MN - mata nativa remanescente

MO - matéria orgânica

MOS - matéria orgânica do solo

N - Nitrogênio

N<sub>2</sub>O - óxido nitroso

Na - Sódio

ns - não significativo

O<sub>3</sub> - ozônio

P - Fósforo

pH - Potencial Hidrogeniônico

S - Enxofre

SB - Soma de bases

SQ - Sem queima (colheita mecanizada)

SV - Sem aplicação de vinhaça

UNICA - União da Indústria de Cana de Açúcar

$\Theta_s$  - Umidade de Saturação

## LISTA DE FIGURAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| FIGURA 1 -  | Localização das áreas avaliadas.....  | 32 |
| FIGURA 2 -  | Temperaturas mínima, média, máxima e precipitação pluviométrica ocorridas nas áreas de manejo de 2008 a 2013.....                                 | 33 |
| FIGURA 3 -  | Vista da cultivar RB867515 aos 120 dias após o 3º corte, março de 2013.....   | 34 |
| FIGURA 4 -  | Localização da área de manejo (A) SVSQ.....   | 35 |
| FIGURA 5 -  | Localização da área experimental (B) CVSQ.....  | 35 |
| FIGURA 6 -  | Localização da área experimental (C) CVCQ.....  | 36 |
| FIGURA 7 -  | Localização da área experimental (D) SVCQ.....  | 36 |
| FIGURA 8 -  | Localização da área experimental (E) MN.....  | 37 |
| FIGURA 9 -  | Vista da trincheira aberta nas dimensões 50cm (C) x 30cm (L) x 80cm (P).....  | 41 |
| FIGURA 10 - | Instrumentos utilizados na coleta das amostras indeformadas: marreta, amostrador tipo Uhland e anéis volumétricos com 0,92 dm <sup>-3</sup> ..... | 42 |
| FIGURA 11   | Obtenção da massa de solo deformado e seco.....   | 43 |
| FIGURA 12 - | Erlenmeyer de 50 mL com solo e pronto para a determinação.....  | 43 |
| FIGURA 13 - | Adição de álcool etílico nas amostras.....  | 44 |
| FIGURA 14   | Mistura de solo e álcool etílico.....   | 44 |
| FIGURA 15 - | Vista das amostras indeformadas preparadas para o procedimento de saturação em água.....  | 45 |

## LISTA DE TABELAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| TABELA 1 -  | Análise química de solo (0 - 25 cm) das áreas de manejo coletadas antes do plantio da cana de açúcar, 2009.....  | 37 |
| TABELA 2 -  | Análise química de solo (25 - 50 cm) das áreas de manejo coletadas antes do plantio da cana de açúcar, 2009.....   | 38 |
| TABELA 3 -  | Análise granulométrica do solo das áreas de manejo em cada profundidade amostrada, 2013.....   | 39 |
| TABELA 4 -  | Resultados do teste F, calculados para atributos químicos do solo nos sistemas de manejo e nas camadas avaliadas.....  | 47 |
| TABELA 5 -  | Teores de potássio (K), carbono orgânico (COT), matéria orgânica (MOS) e estoque de carbono orgânico total (ECT) nos sistemas de manejo e nas profundidades avaliados..... | 48 |
| TABELA 6 -  | Teor de potássio (K), biomassa da matéria seca (BMS) e acúmulo de K na biomassa seca total nos sistemas de manejo avaliados.....   | 50 |
| TABELA 7 -  | Teor de matéria orgânica do solo (MOS), em $\text{g dm}^{-3}$ , considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados.....             | 53 |
| TABELA 8 -  | Teor de carbono orgânico do solo (COT), em $\text{g dm}^{-3}$ , considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados.....             | 54 |
| TABELA 9-   | Estoque de carbono (ECT), $\text{Mg ha}^{-1}$ , considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados.....                             | 55 |
| TABELA 10-  | Resultados do teste F, calculados para atributos físicos do solo nos sistemas de manejo e nas profundidades avaliados .....  | 57 |
| TABELA 11 - | Valores do teste de médias, calculados para os atributos físicos nos sistemas de manejo e nas profundidades avaliados .....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| TABELA 12 - Umidade de Saturação ( $\theta_s$ ), $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados..... | 61 |
|---|----|

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 17 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA.....   | 19 |
| 2.1 Influência da Cana de Açúcar na Economia e na Qualidade do Solo .....  | 19 |
| 2.2 Aspectos Básicos sobre o Manejo da Cana de Açúcar: Aplicação de Vinhaça e Formas de Colheita .....   | 19 |
| 2.2.1 Aplicação de vinhaça.....  | 19 |
| 2.2.2 Colheita manual (cana queimada).....   | 21 |
| 2.2.3 Colheita mecanizada (cana crua).....   | 22 |
| 2.3 Reflexos dos Manejos da Cultura nos Atributos Químicos do Solo.....  | 24 |
| 2.3.1 Aplicação de vinhaça.....  | 24 |
| 2.3.1.1 Disponibilidade de K no solo .....   | 25 |
| 2.3.2 Acúmulo de matéria orgânica e estoque de C no solo .....   | 26 |
| 2.4 Reflexos dos Manejos nos Atributos Físicos do Solo .....   | 28 |
| 2.5 Impacto da Aplicação da Vinhaça no Solo e da Queima da Cana de Açúcar no Ambiente .....  | 30 |
| 2.6 Produtividade de Colmos .....  | 30 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....   | 32 |
| 3.1 Localização da Área Experimental .....   | 32 |
| 3.2 Delineamento Estatístico e Caracterização Química e Granulométrica do Solo nas Áreas de Manejo .....   | 34 |
| 3.2.1 Caracterização dos manejos executados nas áreas estudadas.....   | 40 |
| 3.3 Parâmetros de avaliação.....   | 41 |
| 3.3.1 Quantificação dos teores de K, de matéria orgânica (MOS), do carbono orgânico (COS), do estoque de carbono total (ECT) e da densidade do solo (Ds) ..... | 41 |
| 3.3.2 Determinação da densidade de partículas (DP) e porosidade total (PT) .....   | 43 |
| 3.3.3 Determinação da umidade de saturação do solo ( $\theta_s$ ) .....  | 44 |
| 3.3.4 Determinação do acúmulo de K e quantificação da biomassa da matéria seca (palhada) da superfície do solo.....  | 45 |
| 3.3.5 Produtividade da cultura da cana de açúcar .....   | 46 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 47 |
| 5 CONCLUSÕES.....  | 63 |
| REFERÊNCIAS.....   | 64 |

## 1 INTRODUÇÃO

A cana de açúcar possui grande importância econômico-social e política para o Brasil. A produção canavieira no Brasil vem crescendo nos últimos anos, impulsionada por fatores como a demanda do mercado externo por açúcar, pelo consumo interno de álcool como combustível de veículos automotores e pela adição de álcool anidro aos combustíveis fósseis, com o objetivo de reduzir a emissão de poluentes.

A área cultivada com cana de açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 está estimada em 8.810,79 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores conforme suas características. O Estado de São Paulo permanece como o maior produtor com 51,66% (4.552.040 hectares) da área plantada (CONAB, 2013).

Para a safra 2013/14, a cultura da cana de açúcar continua em expansão. A previsão é que o Brasil tenha um acréscimo na área de cerca de 325,8 mil hectares, equivalendo a 3,8% em relação à safra 2012/13. O acréscimo é reflexo do aumento de área da região Centro-Sul. São Paulo deverá ser o estado com maior acréscimo de áreas com 132,6 mil hectares. Este crescimento se deve à expansão de novas áreas de plantio das novas usinas em funcionamento que estão consolidando suas áreas (CONAB, 2013).

O avanço do cultivo da cana no Oeste Paulista vem mudando a paisagem da região, que na década de 80, era conhecida como "Capital da Pecuária de Corte". A partir de 2001, o boi deixou de reinar sozinho, os pastos foram sendo substituídos pela cana de açúcar. Pecuáristas passaram a arrendar suas terras para as usinas de açúcar e etanol.

A retirada da mata natural para o plantio de qualquer cultura promove inúmeras modificações no solo, sobretudo no conteúdo de matéria orgânica com reflexos sobre alguns atributos do solo responsáveis pelo o crescimento de raízes, infiltração e movimento de água no perfil do solo, trocas gasosas, atividade biológica e mineralização de carbono, que são, em parte, relacionados a propriedades e processos físicos do solo (BURGER; KELTING, 1999).

Um dos grandes desafios nas regiões tropicais é desenvolver sistemas de produção vegetal que possam manter a alta produtividade e a sustentabilidade ambiental. Em geral, nesses agroecossistemas, há predominância de solos muito

intemperizados, que necessitam de práticas conservacionistas para manter e melhorar a qualidade dos componentes desse meio físico. Esta condição dos sistemas agropecuários deve-se, principalmente, ao estado de conservação do solo, que pode mudar com o passar do tempo devido a ocorrências naturais ou de ações geradas pelo homem (PIGNATARO NETO; KATO; GOEDERT, 2009). Nesse contexto, alguns indicadores físicos como a densidade do solo, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e infiltração de água das chuvas, trocas gasosas entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva (ALCÂNTARA; FERREIRA, 2000), podem acarretar uma degradação da estrutura do solo, diminuindo seu potencial produtivo.

A topografia das áreas ocupadas com canaviais no Estado de São Paulo permite que cerca de 60% da área plantada seja passível de colheita mecanizada (GONÇALVES, 2002), o que permite a coexistência de colheita mecanizada e manual.

O objetivo deste trabalho foi avaliar alterações nos atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo em função dos manejos de aplicação e não aplicação de vinhaça em conjunto com as formas de colheita manual e mecanizada de cana queimada e cana crua, no oeste paulista.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Influência da Cana de Açúcar na Economia e na Qualidade do Solo**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, com quase nove milhões de hectares plantados, produzindo mais de 600 milhões de toneladas de cana, o que coloca o país na liderança mundial em tecnologia de produção de etanol. Além de matéria-prima para a produção de açúcar e álcool, seus subprodutos e resíduos são utilizados para co-geração de energia elétrica, fabricação de ração animal e fertilizante para as lavouras (EMBRAPA, 2014a).

Apesar dos benefícios, é destacado que o uso intensivo do solo com o cultivo da cana de açúcar modifica significativamente as propriedades químicas e físicas do solo. Uma série de estudos tem documentado as mudanças significativas trazidas pela substituição de ecossistemas naturais por plantações de cana de açúcar (SILVA; CABEDA; CARVALHO, 2006).

### **2.2 Aspectos Básicos sobre o Manejo da Cana de Açúcar: Aplicação de Vinhaça e Formas de Colheita**

#### **2.2.1 Aplicação de vinhaça**

A vinhaça tem como seu principal constituinte a matéria orgânica que vem sendo utilizada na fertirrigação, pelas usinas há pelo menos 30 anos. Esta fertirrigação surgiu como solução para o descarte da vinhaça, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente de potássio e, quase toda empresa do setor bioenergético brasileiro tem adotado a utilização da vinhaça na fertirrigação de lavouras de cana de açúcar, conforme afirmam Silva, Gomes e Alsina (2007). As normas para fertirrigação devem atender as legislações pertinentes, que geralmente variam de um estado para outro; em São Paulo, por exemplo, a CETESB regulamenta a disposição de vinhaça no solo, com demarcações de áreas protegidas e núcleos populacionais, caracterização de solo e da vinhaça, doses máximas a serem aplicadas, realiza estudos da geologia e hidrogeologia locais, monitoramento das águas subterrâneas e impermeabilização de tanques e dutos. Estabelece ainda critérios a serem obedecidos por lei, e todas

as condutas de boas práticas de proteção ao meio, que repercutem em maior rentabilidade agrícola e industrial (DINIZ, 2010).

A vinhaça produzida na industrialização da cana de açúcar é utilizada como fonte de nutrientes, matéria orgânica e água no sistema produtivo da cana de açúcar. Avaliando as propriedades químicas de diferentes solos submetidos à aplicação de vinhaça por um período de 20 anos, Orlando Filho et al. (1983) concluíram que não houve efeitos negativos nas propriedades químicas dos solos estudados, verificando-se efeito favorável à aplicação do resíduo, traduzido por elevação dos teores de K, Ca, Mg, soma de bases, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), elevação do pH, aumento da disponibilidade de alguns íons e da capacidade de retenção de água, além da melhoria da estrutura do solo. Recomenda-se que a vinhaça seja disposta ao solo permitindo que a planta retire dele os nutrientes elevando a produtividade agrícola (COPERSUCAR, 1978).

Também importante, o uso da vinhaça, como fonte de nutrientes, matéria orgânica e água, foi uma das grandes revoluções no manejo da cultura (GLÓRIA; ORLANDO FILHO, 1983). Este subproduto constitui o principal efluente das destilarias de álcool, onde cada litro de álcool produzido gera aproximadamente 13 litros de vinhaça que, até no início da década de 80, eram depositados nos rios, poluindo-os (RESENDE et al., 2006).

De maneira geral, a vinhaça apresenta elevadas concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), potássio (K) e matéria orgânica (MO) e, sua utilização pode alterar as características do solo promovendo modificações em suas propriedades químicas, favorecendo o aumento da disponibilidade de alguns elementos para as plantas. Por outro lado, a vinhaça também pode promover modificações das propriedades físicas do solo, de duas formas distintas: essas alterações podem melhorar a agregação, ocasionando a elevação da capacidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de lixiviação de íons, de forma a contaminar as águas subterrâneas quando em concentrações elevadas, além de promover a dispersão de partículas do solo, com redução da sua taxa de infiltração de água e elevação do escoamento superficial, com possível contaminação de águas superficiais (SILVA; CABEDA; CARVALHO, 2006).

### 2.2.2 Colheita manual (cana queimada)

Nos países em que há o cultivo da cana de açúcar, é comum queimar o canavial antes de realizar a colheita, pois a queima da densa biomassa foliar (palhada) torna mais fácil o corte manual dos colmos. Porém, a queimada provoca problemas ambientais, como a liberação de monóxido de carbono e outros gases poluentes na atmosfera, a deposição de cinzas em áreas urbanas e a exposição do solo (LUCA et al., 2008).

Na colheita manual, de 24 a 48 horas antes, é realizada a queimada do canavial, para reduzir a folhagem e diminuir o risco de acidente com animais peçonhentos. A queima da palhada (o resíduo do processo de colheita, que inclui a palha e a ponteira da cana) é realizada para permitir um maior acesso à cultura, possibilitando a elevação do rendimento na colheita. Estima-se que, com a queima da cana, há a duplicação da quantidade média de cana cortada por um trabalhador, que é de 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> (JÚNIOR; ABRAHÃO; TERESOI, 2013) e a colheita e o transporte da cana queimada são mais baratos do que os custos relacionados à cana verde.

Portanto, há preferência pelo corte da cana queimada, apesar da maior exposição dos trabalhadores à maiores níveis de poeira e fuligem. Por sua vez, a colheita mecanizada da cana apresenta algumas restrições: alto investimento, elevada capacidade operacional e risco de tombamento das máquinas em topografia com declividade acima de 12% (RIBEIRO; PESQUERO, 2010).

Estudos foram realizados no Brasil e no exterior para avaliar efeitos da queimada de cana de açúcar na saúde da população que vive em seus arredores, e a grande maioria deles preocupou-se em avaliar efeitos agudos de episódios de queima à saúde da população, em curto prazo. Indicaram que, em períodos de queima da cana, há maior quantidade de visitas hospitalares, inalações e internações por doenças respiratórias em cidades próximas (RIBEIRO; PESQUERO, 2010).

O tipo de colheita da cana de açúcar pode influenciar ainda na produção e na longevidade da cultura, nos atributos físicos, químicos e biológicos, no meio ambiente e na saúde pública (SOUZA et al., 2006). O sistema de colheita por cana queimada produz grandes impactos ambientais, como eliminação da biomassa presente na superfície e o aumento da concentração de gás carbônico na

atmosfera, contribuindo com o efeito estufa e com a diminuição da matéria orgânica no solo (GARBIATE et al., 2011).

Um dos pontos mais críticos sobre a queima da palha da cana de açúcar são as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, principalmente o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), como também o monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o metano (CH<sub>4</sub>), a formação do ozônio (O<sub>3</sub>) além da poluição do ar atmosférico pelas fumaça e fuligem. Assim, o sistema de colheita por cana queimada elimina a massa seca vegetal e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo com o efeito estufa e diminuindo o teor de matéria orgânica no solo (SOUZA et al., 2005).

No Estado de São Paulo, a Lei nº 11.241 de 2002 controla a queima da cana de açúcar para despalha e detalha um cronograma para que a totalidade dos canaviais deixe de ser queimados. A norma exige um planejamento que deve ser entregue anualmente à CETESB, de modo a adequar as áreas de produção ao plano de eliminação de queimadas. O prazo máximo seria 2021 para áreas mecanizáveis e 2031 para áreas não mecanizáveis, mas no Protocolo Ambiental assinado entre o Governo do Estado e a UNICA em 2007, ocorreu a antecipação dos prazos. No ano de 2014, plantações que estiverem em áreas com declividade de até 12%, não poderão mais ser queimadas, existindo somente a colheita mecanizada da cana crua. Nas demais áreas, o prazo será até o ano de 2017 (ANTUNES; AZANIA; AZANIA, 2014).

### **2.2.3 Colheita mecanizada (cana crua)**

Os efeitos negativos da prática de queima dos canaviais, como elevada emissão de gases à atmosfera, degradação dos solos e poluição de mananciais e centros urbanos (SPAROVEK et al., 1997), têm levado a indústria sucroalcooleira a utilizar processos menos impactantes, visando à sustentabilidade do sistema. Entre esses processos está incluída a colheita mecanizada da cana sem a queima prévia ou sem a despalha a fogo, amplamente conhecida como colheita da cana crua ou cana verde (CAVALIERI et al., 2011).

Neste contexto, objetivando amenizar esses problemas, desenvolveram-se máquinas que realizam a colheita sem a necessidade de queimar o canavial. Portanto, a palhada que seria queimada e transformada em gases e

cinzas passa a cobrir o solo, protegendo-o contra intempéries e melhorando suas condições de conservação. No processo de decomposição, parte da palhada é incorporada ao solo, fazendo com que funcione como um compartimento seqüestrador de C atmosférico, uma vez que a palhada foi produzida no processo fotossintético de assimilação de CO<sub>2</sub> do ar (LUCA et al., 2008).

Em pesquisas de manejo de resíduos vegetais de colheita, um dos atributos do solo mais freqüentemente avaliados é o teor de C, usado para calcular a concentração da matéria orgânica do solo (MOS), sabidamente porque esta melhora suas condições químicas, físicas e biológicas (SIX et al., 2004); e a estabilidade dos agregados, pois uma estruturação adequada favorece a fertilidade do solo, aumenta seu potencial produtivo e diminui a sua erodibilidade, sendo fator chave para moderar o seqüestro de C no solo, sendo indicador da estrutura do solo e da estabilidade dos agregados (LUCA et al., 2008).

A colheita mecanizada da cana de açúcar está cada vez mais presente nos sistemas de produção no Brasil. Sem a queima, as folhas, as bainhas, os ponteiros além de uma quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palha ou palhada (TRIVELIN et al., 1996).

A quantidade de palhada em canaviais colhidos sem queima varia de 10 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> e, a mecanização da colheita da cana de açúcar não só aumenta o rendimento operacional do procedimento como também reduz seu impacto ambiental, por dispensar a queima de resíduos (SOUZA et al., 2005). Não somente é economicamente mais interessante, como permite padronização, pré-processamento da matéria-prima e, principalmente, maior segurança para o processo produtivo, com melhor controle das atividades de corte e sua compatibilização com o ritmo da indústria. Além disso, contribui para a redução da migração de trabalhadores na época da safra, que causa problemas sociais graves nas cidades próximas aos canaviais. Assim, a mecanização é especialmente recomendável do ponto de vista de modernização e redução de custos de produção do setor (UNICA, 2014).

## **2.3 Reflexos dos Manejos da Cultura nos Atributos Químicos do Solo**

No sistema de colheita da cana de açúcar sem queima são depositados sobre o solo de 10 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> por ano de palha, cuja decomposição afeta o ciclo do C e a dinâmica da MO (LUCA et al., 2008). Este aporte é de fundamental importância em solos tropicais de regiões úmidas, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos, pois melhora a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca de cátions (CTC) e a complexação de elementos tóxicos (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A deposição e a manutenção de palhada sobre a superfície do solo, mesmo contribuindo com a sua conservação, podem causar problemas relacionados ao manejo da cultura (FURLANI NETO; RIPOLI; VILA NOVA, 1997). Entre eles podem ser citadas dificuldades durante as operações de cultivo e adubação da soca, baixa taxa líquida de mineralização de N no período de um ano agrícola (TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995), dificuldade de execução de controle seletivo de plantas daninhas e aumento das populações de pragas que se abrigam e se multiplicam sob a palhada (MACEDO; BOTELHO; CAMPOS, 2003). Além disso, o grande volume de palha sobre a cana soca dificulta a sua emergência, causando falha na rebrota, especialmente nas variedades melhoradas que foram desenvolvidas para o sistema de colheita com queima, que favorecia a maior taxa de emergência da cana soca (VASCONCELOS, 2002).

### **2.3.1 Aplicação de vinhaça no solo**

Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana de açúcar, mas poucos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (LYRA; ROLIM; SILVA, 2003) já que, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente potássio, quase toda destilaria brasileira tem adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana de açúcar (CUNHA et al., 1981).

Glória e Orlando Filho (1983) enumeraram os seguintes efeitos da vinhaça no solo: a) elevação do pH; b) aumento da disponibilidade de íons K, Ca e Mg; c) aumento da capacidade de troca catiônica (CTC); d) aumento da capacidade

de retenção de água; e) melhoria da estrutura física do solo. A vinhaça deve ser vista, também, como agente do aumento da população e atividade microbiana no solo. O pH dos solos tratados com vinhaça aumenta (SILVA; RIBEIRO, 1998) principalmente em áreas cultivadas há mais tempo, embora nos primeiros dez dias após sua aplicação o pH sofra redução considerável para, posteriormente, elevar-se abruptamente, podendo alcançar valores superiores a sete. Atribui-se este efeito à ação dos microrganismos (ROSSETTO, 1987).

A matéria orgânica pode ser considerada fator importante na produtividade agrícola devido à influência que exerce sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (AZEREDO; MANHÃES, 1983). No momento em que a matéria orgânica contida na vinhaça é incorporada ao solo, é colonizada por fungos, os quais a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio preparando, deste modo, o caminho para proliferação bacteriana; assim, quando adicionada como fertilizante, favorece também o desenvolvimento desses microrganismos os quais atuam na mineralização e imobilização do N e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica, bem como de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007).

### **2.3.1.1 Disponibilidade de K no solo**

A importância da aplicação de vinhaça resulta não apenas do grande volume em que é gerada (12 a 15 vezes o volume de álcool produzido, segundo BUZOLIN, 1997), mas também da economia de insumos que se obtêm com a prática do seu aproveitamento na forma de fertilizante e/ou como condicionadora de solos, em sua maioria, cultivados com cana de açúcar (TASSO JÚNIOR et al., 2007).

Na fração mineral, integrando a composição química da vinhaça, o K é o elemento predominante. Os teores normalmente encontrados variam de acordo com o tipo de mosto que foi fermentado. Orlando Filho et al. (1983) quantificaram os níveis de K em vinhaças de origens diversas e encontraram os seguintes valores expressos em  $\text{kg m}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ : 1,15 a 1,94 (mosto de caldo), 2,18 a 3,34 (mosto de misto) e 3,95 a 7,59 (mosto de melaço).

Brito, Rolim e Pedrosa (2005) verificaram que doses crescentes de vinhaça aumentam a concentração de K trocável, em especial nas camadas mais

superficiais do Argissolo estudado. Semelhantemente, Camargo, Valadares e Geraldi (1983) e Sengik, Ribeiro e Condé (1988), estudando os efeitos de doses de vinhaça provenientes de mosto misto sobre dois tipos de solo, também observaram acréscimo de bases trocáveis e pH na camada superior e em profundidade, quando aplicaram a dose mais elevada.

De acordo com Cambuim (1983) o K apresenta comportamento mais dependente de períodos de incubação ao longo da profundidade que com doses de vinhaça. Glória (1976) constatou maiores teores de K em linhas de cana irrigadas com vinhaça que as sem irrigação, principalmente a partir do terceiro ano.

Tendo em vista os altos teores de nutrientes, como K, Ca, Mg e, principalmente, de matéria orgânica, a disposição da vinhaça no solo como fertilizante, não deve ultrapassar, quando aplicada em grandes quantidades, a capacidade de retenção de água do solo (SILVA; GOMES; ALSINA, 2007), uma vez que pode ocorrer lixiviação de vários desses elementos, principalmente do K, presente em grande quantidade nesse resíduo, com a possibilidade de alcançar as águas subsuperficiais.

Bueno et al. (2009), pesquisando o impacto causado pela adição de vinhaça nas propriedades de dois solos, um de textura arenosa e outro de textura argilosa, concluíram que o Vertissolo tem maior capacidade de retenção da concentração salina introduzida pela aplicação da vinhaça, devido ao alto teor de argila. Os autores afirmam, ainda, que o aumento na salinidade pode afetar algumas propriedades biológicas e bioquímicas dos solos.

### **2.3.2 Acúmulo de matéria orgânica e estoque de C no solo**

Os diversos sistemas de manejo adotados com a cana de açúcar têm alterado as características químicas do solo, como o teor de carbono orgânico e suas frações (CERRI; FELLER; CHAUVEL, 1991; BLAIR, 2000).

A matéria orgânica pode ser considerada fator importante na produtividade agrícola devido à influência que exerce sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (AZEREDO; MANHÃES, 1983). No momento em que a matéria orgânica contida na vinhaça é incorporada ao solo, ela é colonizada por fungos, os quais a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio preparando, deste modo, o caminho para proliferação bacteriana; assim,

quando adicionada como fertilizante, favorece também o desenvolvimento desses microrganismos os quais atuam na mineralização e imobilização do nitrogênio e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica, bem como de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos (SILVA; GOMES; ALSINA, 2007).

Os estoques de matéria orgânica do solo (MOS) em qualquer agroecossistema são obtidos pela interação dos fatores que determinam sua formação e aqueles que promovem sua decomposição. A hipótese mais aceita estabelece um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas (HOUGHTON; SKOLE; LEFKOWITZ, 1991). Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação de carbono (C) orgânico do solo e às menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente a florestas nativas (LEITE et al., 2003).

A preservação e a intensidade dos efeitos benéficos da matéria orgânica (MO) na fertilidade estão associadas à formação de complexos argilo-orgânicos e têm correlação positiva com o teor de argila do solo (ZINN; LAL; RESCK, 2005). Segundo (SILVA; MENDONÇA, 2007) a disponibilização dos nutrientes imobilizados na camada de palha diretamente em contato com o solo dependem da composição química do material, do tempo de decomposição e de fatores ambientais, como temperatura, disponibilidade hídrica e oxigênio (PESSOA et al., 2012).

Segundo Neves, Lima e Dobereiner (1983) a adição de vinhaça, juntamente com a incorporação de matéria orgânica, pode melhorar as condições físicas do solo e promover maior mobilização de nutrientes, em função da também maior solubilidade proporcionada pelo resíduo líquido.

Cunha et al. (1981) relataram que a dinâmica do nitrogênio no solo tratado com resíduos orgânicos, tal como a vinhaça, é complexa, devido às transformações bioquímicas. O nitrogênio está presente na vinhaça, predominantemente na forma orgânica, e a mineralização é a primeira transformação biológica que ocorre no solo. Uma vez que a relação C/N na vinhaça é baixa, uma significativa mineralização das formas imobilizadas de nitrogênio no solo pode ocorrer. Contudo, Madejón et al. (2001) trabalhando com associação de vinhaça e outros materiais orgânicos no condicionamento do solo, observaram

pequena elevação em sua salinidade, elevação no conteúdo de matéria orgânica e no nitrogênio total. Lyra, Rolim e Silva (2003), concordaram com Madejón et al. (2001) ao sugerirem que se pode esperar uma elevação na concentração de sais no solo e potencial risco de salinização com a aplicação de vinhaça ao longo dos anos, considerando-se a taxa de absorção de potássio pela planta, sua concentração na vinhaça e a baixa condutividade elétrica (CE) observada no lençol freático, indicativo de reduzida lixiviação.

#### **2.4 Reflexos dos Manejos Culturais nos Atributos Físicos do Solo**

A compactação do solo também é função dos seus atributos físicos e químicos, que dão ao solo o seu nível atual de compactabilidade. O efeito dos sistemas de colheita de cana de açúcar, especialmente utilizando uma forma intermediária de manejo da cana crua mediante o uso de escarificadores na incorporação parcial da palhada, e a conseqüente repercussão positiva nos atributos físicos do solo, precisam ser melhor entendidos (DE SOUZA et al., 2005).

O sistema de cultivo de cana crua foi desenvolvido com a finalidade de eliminar a queima da cultura, a mobilização superficial dos solos e mantê-los cobertos com restos culturais. Nesse sistema, busca-se a redução da erosão e o aumento do teor de matéria orgânica, mas pode provocar a compactação superficial do solo pelo aumento do tráfego de máquinas, ou seja, aumento da densidade do solo e redução de sua porosidade total, a qual poderá restringir o desenvolvimento radicular das culturas (BLAIR, 2000; VASCONCELOS, 2002).

Uma das características do sistema de colheita mecanizada da cultura da cana de açúcar é a utilização de colhedoras e transbordos com massa total de 20-30 toneladas, cujo tráfego é repetido durante os vários ciclos da cultura sob condições variáveis de conteúdo de água no solo, com elevado potencial de compactação (BRAUNACK; ARVIDSSON; HAKANSSON, 2006). Como conseqüência, o crescimento das raízes e das plantas é negativamente alterado devido ao empobrecimento da qualidade física dos solos, culminando com a redução da produtividade e, ou, encurtando o ciclo de produção da cultura. Nesse sentido, a avaliação e monitoramento da qualidade física dos solos durante o período de cultivo da cultura, que é de pelo menos sete anos, são estratégicos na definição de

sistemas de manejo para diminuir a degradação estrutural e física dos solos (CAVALIERI et al., 2011).

Com o incremento das áreas agrícolas, há maior preocupação com os problemas relacionados à compactação do solo resultante das operações mecanizadas, realizadas em condições de umidade elevadas (SILVA; CABEDA; CARVALHO, 2006).

O processo de compactação em um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana de açúcar foi investigado por Paulino et al. (2004), que verificaram que o manejo de pós-colheita em soqueiras da cana de açúcar alterou a densidade do solo, a macro e a micro porosidade. Porém, não observaram redução na área, no comprimento de raízes e na produção de cana de açúcar decorrentes do alto nível de compactação do solo. Souza et al. (2005), na avaliação de sistemas de colheita de cana queimada e crua com e sem incorporação da palhada de cana de açúcar, observaram que os sistemas de colheita alteraram os valores da densidade do solo, a macroporosidade e a estabilidade de agregados até a profundidade de 0,3 m (SOUZA et al., 2005).

Vasconcelos (2002), estudando o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana de açúcar sob dois sistemas de colheita, crua mecanizada e queimada manual, verificou que a alteração do sistema de colheita da cana queimada manual para cana crua mecanizada reduz a amplitude térmica do solo, aumenta o teor de água e de matéria orgânica no solo. O elevado tráfego de máquinas e veículos de transbordo causou aumento da densidade do solo até a profundidade de 0,40 m (SOUZA et al., 2005).

Ao definir atributos do solo que melhor se relacionam com o potencial produtivo das lavouras é importante, pois possibilita identificar limitações ao rendimento e traçar estratégias para contorná-los. A ausência de revolvimento do solo, aliada ao tráfego de máquinas, cada vez maiores e mais pesadas, traz reorganizações estruturais do perfil do solo sob sistema de plantio direto (SPD) e leva à redução da macroporosidade, o que se traduz em compactação do solo próximo da superfície (TORMENA; ROLOFF; SÁ, 1998) e maior resistência mecânica ao crescimento das raízes (PICCININ; ESPÍNDOLA; TORRES, 2000), com potenciais efeitos negativos no crescimento das plantas devido à redução da disponibilidade de água e nutrientes (GIAROLA et al., 2009).

## **2.5 Impacto da Aplicação da Vinhaça no Solo e da Queima da Cana de Açúcar no Ambiente**

A vinhaça caracterizada por ser um líquido de odor forte, coloração marrom-escuro, baixo pH, alto teor de potássio e com alta demanda química de oxigênio (DBO), ou seja, com alta carga de matéria orgânica contida no efluente, torna-se um material altamente poluidor (SILVA; BONO; PEREIRA, 2014).

Para Giachini e Ferraz (2009) o uso de vinhaça em áreas agrícolas, especialmente em lavoura canavieira, traz benefícios indiscutíveis tanto do ponto de vista agrônômico quanto do econômico e social. É um efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante; o poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Quando depositada no solo, a vinhaça pode promover melhoria em sua fertilidade; todavia, quando usada para este fim, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser mensuradas de acordo com as características de cada solo, uma vez que este possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários desses íons, sobretudo do nitrato e do potássio (SILVA; GOMES; ALSINA, 2007).

Cunha et al. (1981) estudando a utilização de vinhaça como fertilizante e condicionador de solos, observaram que a acumulação de potássio no perfil não foi grande, ficando este elemento retido na camada de 0,50 m de profundidade, sendo que sua lixiviação foi pequena, acompanhando a drenagem interna no perfil.

## **2.6 Produtividade de Colmos**

A expansão das áreas e a qualidade do manejo agrícola fazem com que a cana seja cultivada nos solos do oeste de São Paulo, sul do Mato Grosso do sul e noroeste do Paraná. Entretanto, deve-se destacar que estas áreas apresentam características edafoclimáticas típicas, sendo uma delas a ocorrência de longos veranicos, que dificultaram a atividade agrícola nesta região (FREITAS et al., 2011).

Ressalta-se que, em muitas áreas onde ocorrem solos de textura arenosa em superfície e acentuado incremento de argila em profundidade o que, associado ao relevo suave ondulado e ondulado e rampas longas, os tornam de elevada vulnerabilidade aos processos erosivos. Há necessidade de emprego de manejos e de práticas conservacionistas, sendo interessante adoção do sistema de plantio direto. Uma alternativa a ser viabilizada é a incorporação de espécies oleaginosas como soja e amendoim para produção de biocombustíveis por ocasião da reforma do canavial. Para tanto, uma série de atividades estão sendo executadas para a caracterização e aprimoramento destes sistemas de produção considerando a sustentabilidade nas dimensões socioeconômica e ambiental (FREITAS et al., 2011).

A cana de açúcar possui um sistema radicular diferenciado em relação à exploração das camadas mais profundas do solo quando comparado com o sistema radicular das demais culturas, principalmente as anuais. Por ser apresentar ciclo semiperene e com cultivo viável de cinco a sete anos, o seu sistema radicular se desenvolve em maior profundidade e assim passa a ter uma estreita relação com pH, saturação por bases, porcentagem de alumínio e teores de cálcio nas camadas mais profundas do solo. E estes fatores, por sua vez, estão correlacionados com a produtividade alcançada principalmente em solos de baixa fertilidade e menor capacidade de reter umidade (EMBRAPA, 2014b).

Resultados de pesquisas obtidos nas condições do Estado de São Paulo indicam que, independente da textura, a produtividade decresce dos solos eutróficos, os mais férteis (alta saturação por bases), para os álicos (alta saturação por alumínio), menos férteis. Como exemplo de extremos de produtividade, temos que em Nitossolo Vermelho eutrófico as produtividades têm variado entre 110 e 91  $\text{Mg ha}^{-1}$ , enquanto em Neossolo Quartzarênico estão entre 72 e 64  $\text{Mg ha}^{-1}$  de cana de açúcar. Considerando-se somente o tipo de solo, no caso o Latossolo Vermelho, a produtividade também tende a ser função da fertilidade, sendo os eutróficos mais produtivos (94  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) do que os distróficos (90  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) ou álicos (87  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (EMBRAPA, 2014c).

Pesquisas mostram que solos arenosos são menos indicados para o cultivo da cana, pois não apresentam boa capacidade de armazenamento de água e, ainda, favorecem perdas de nutrientes por lixiviação e o aumento da população de nematóides. Solos com deficiência hídrica podem oferecer grandes riscos de perda

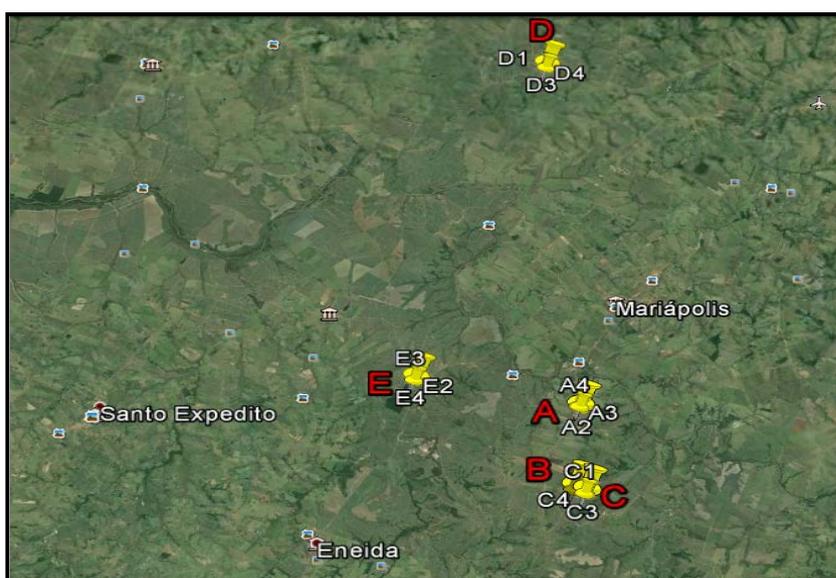
de produtividade, sobretudo quando a cana estiver no quinto ou sexto mês de desenvolvimento, fase de maior demanda de água. O solo ideal deve apresentar, também, boa capacidade de infiltração, para que a planta possa absorver a água de modo satisfatório e para que os excessos sejam drenados (EMBRAPA, 2014c).

A cana de açúcar é bastante tolerante à acidez e alcalinidade. Seu cultivo desenvolve-se em solos com pH entre 4,0 e 8,5, sendo que o ideal gira em torno de 6,5. (EMBRAPA, 2014 c). É evidente que, para obter produtividade satisfatória é necessário recuperar a fertilidade dos solos, tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas, quando estes não apresentarem condições ideais para o cultivo da cana. Para isso, quantidades adequadas de corretivos (calcário e gesso) devem ser utilizadas de maneira a atingir tais objetivos e, conseqüentemente, aumentar a produtividade (EMBRAPA, 2014c).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da Área Experimental

O experimento foi desenvolvido, na safra 2012/2013, em área de produção agrícola de uma empresa situada no distrito de Ameliópolis, em Presidente Prudente/SP, cujas coordenadas geográficas são: latitude: 21°51'57" S e Longitude: 51°15'35" W (Figura 1), com altitude de 329,35 m.

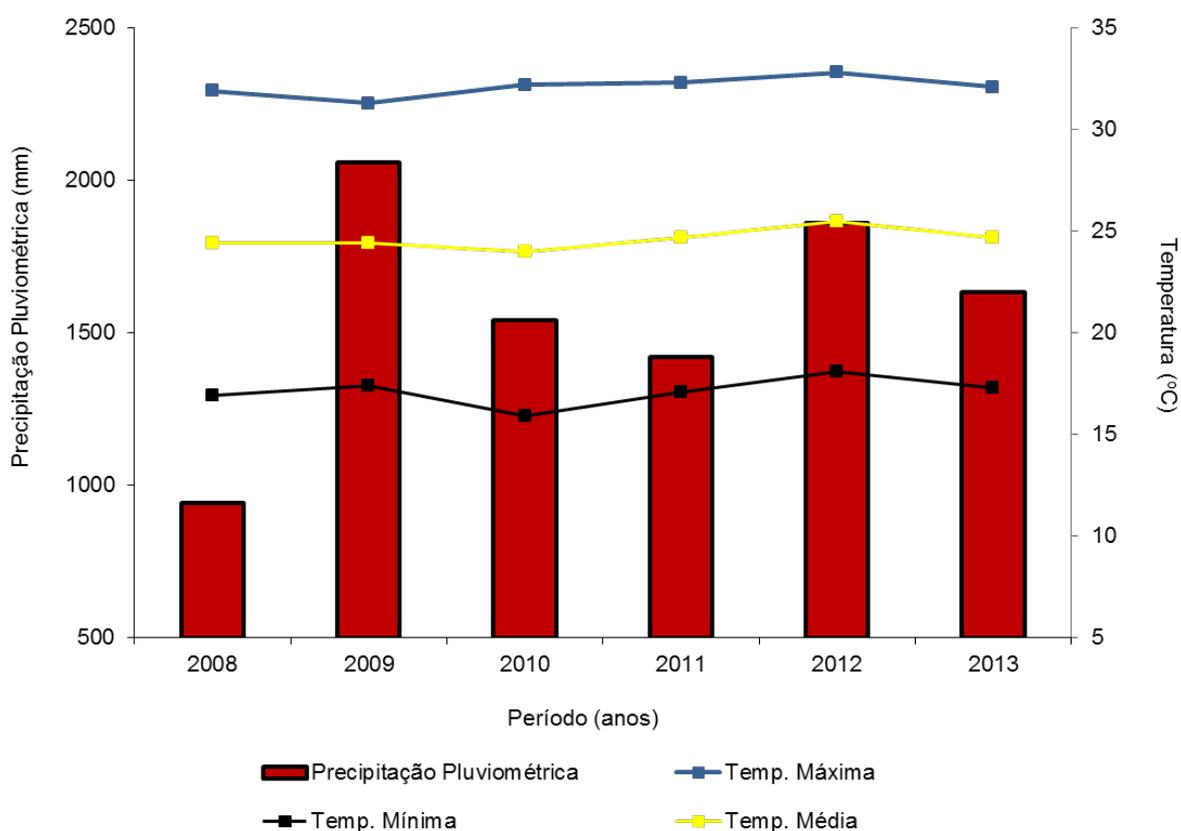


**Figura 1.** Localização das áreas avaliadas.

Fonte: adaptado do Google Earth (2014).

A precipitação pluviométrica e a temperatura média anual nas áreas foram, respectivamente, 1.858,7 mm e 25,5°C em 2012, e 1.633,6 mm e 24,8°C em 2013, sendo o tipo climático classificado como Aw, segundo caracterização internacional de Köppen.<sup>1</sup>

Os dados de temperatura e precipitação pluviométrica são apresentados na Figura 2.



**Figura 2.** Temperaturas mínima, média, máxima e precipitação pluviométrica das áreas de manejo de 2008 a 2013.

As áreas de manejo destinadas à avaliação apresentam solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013). A caracterização química e granulométrica do solo foi realizada nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm seguindo as metodologias descritas por RAIJ et al. (2001) e EMBRAPA (1997), respectivamente.

<sup>1</sup> Dados obtidos junto ao departamento técnico de planejamento da empresa cedente das áreas para a pesquisa.

As avaliações foram realizadas em áreas de terceiro corte da cana soca (4º ciclo), cultivar RB 867515 (Figura 3). A escolha desta variedade deveu-se à sua adaptação e grande cultivo na região oeste de São Paulo, por apresentar média produtividade, crescimento rápido e tolerante a solos de baixa/média produtividade (UDOP, 2012) e presença marcante em todas as áreas de manejos estudadas.



**Figura 3.** Vista da cultivar RB 867515 aos 120 dias após o 3º corte, março de 2013.

### **3.2 Delineamento Estatístico e Caracterização Química e Granulométrica do Solo nas Áreas de Manejo**

As avaliações das áreas foram realizadas seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x5, caracterizado por quatro sistemas de manejo aplicados à cultura da cana de açúcar, além da área de mata nativa e cinco profundidades de amostragem do solo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40; 40-50 cm), com quatro repetições. A área de mata nativa foi utilizada como testemunha para demonstração das alterações nas propriedades químicas e físicas do solo em função da aplicação dos manejos citados abaixo (Figuras de 4 a 8):



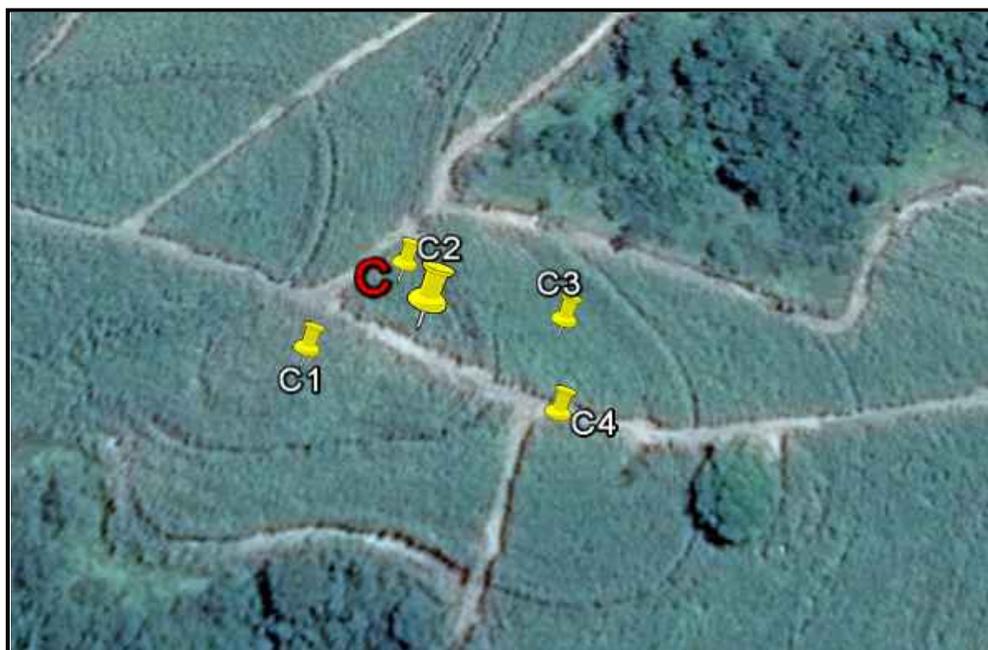
**Figura 4.** Localização da área de manejo **(A)** SVSQ: Área de cana de açúcar sem aplicação de vinhaça (SV) e com colheita mecanizada (sem queima - SQ).

Fonte: adaptado do Google Earth (2014).



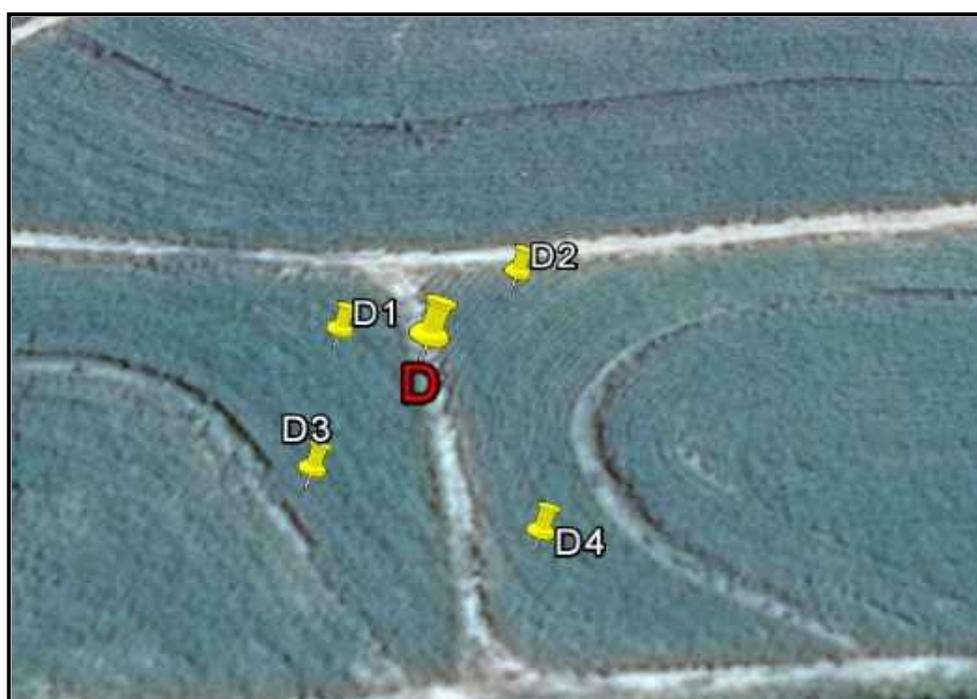
**Figura 5.** Localização da área experimental **(B)** CVSQ: Área de cana de açúcar com aplicação de vinhaça (CV) e com colheita mecanizada (sem queima - SQ).

Fonte: adaptado do Google Earth (2014).



**Figura 6.** Localização da área experimental (C) CVCQ: Área de cana de açúcar com aplicação de vinhaça (CV) e com colheita manual com queima (CQ).

Fonte: adaptado do Google Earth (2014).



**Figura 7.** Localização da área experimental (D) SVCQ: Área de cana de açúcar sem aplicação de vinhaça (SV) e com colheita manual com queima (CQ).

Fonte: adaptado do Google Earth (2014).



**Figura 8.** Localização da área experimental (**E**) MN: Área de mata nativa remanescente, acima de 30 anos.

Fonte: adaptado do Google Earth (2014).

A caracterização química e física do solo das áreas citadas, nas profundidades de 0-25 e 25-50 cm, antes do plantio em 2009, está apresentada nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Análise química de solo (0 - 25 cm) das áreas de manejo coletadas antes do plantio da cana de açúcar, 2009.

| Área    | pH                   | MO                 | P <sub>resina</sub> | K                                  | Ca   | Mg  | H+Al | Al | SB | CTC | V  |
|---------|----------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|------|-----|------|----|----|-----|----|
|         | (CaCl <sub>2</sub> ) | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |      |     |      |    |    |     | %  |
| 0-25 cm |                      |                    |                     |                                    |      |     |      |    |    |     |    |
| SVSQ    | 4,4                  | 13                 | 5,0                 | 1,3                                | 11,0 | 3,0 | 18,0 | 2  | 15 | 33  | 46 |
| SVCQ    | 4,1                  | 11                 | 9,0                 | 1,0                                | 10,0 | 2,0 | 20,0 | 3  | 13 | 37  | 40 |
| CVSQ    | 4,8                  | 15                 | 10,0                | 3,7                                | 12,0 | 4,0 | 16,0 | 1  | 20 | 36  | 55 |
| CVCQ    | 4,8                  | 15                 | 10,0                | 3,7                                | 12,0 | 4,0 | 16,0 | 1  | 20 | 36  | 55 |
| MN      | 4,8                  | 12                 | 23,0                | 2,8                                | 12,0 | 4,0 | 15,0 | 1  | 19 | 34  | 56 |

**Tabela 2.** Análise química de solo (25 - 50 cm) das áreas de manejo coletadas antes do plantio da cana de açúcar, 2009.

| Área     | pH                   | MO                 | P <sub>resina</sub> | K     | Ca   | Mg  | H+Al                                     | Al | SB | CTC | V  |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|-------|------|-----|--|----|----|-----|----|
|          | (CaCl <sub>2</sub> ) | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | ----- |      |     | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |    |    | %   |    |
| 25-50 cm |                      |                    |                     |       |      |     |  |    |    |     |    |
| SVSQ     | 4,5                  | 13                 | 7,0                 | 1,3   | 13,0 | 3,0 | 17,0                                     | 2  | 17 | 34  | 49 |
| SVCQ     | 4,0                  | 10                 | 9,0                 | 0,8   | 12,0 | 4,0 | 25,0                                     | 4  | 17 | 42  | 40 |
| CVSQ     | 4,5                  | 10                 | 22,0                | 1,5   | 14,0 | 6,5 | 17,0                                     | 3  | 19 | 37  | 53 |
| CVCQ     | 4,5                  | 10                 | 22,0                | 1,5   | 14,0 | 6,5 | 17,0                                     | 3  | 22 | 39  | 55 |
| MN       | 4,8                  | 12                 | 23,0                | 2,8   | 12,0 | 4,0 | 15,0                                     | 1  | 19 | 34  | 56 |

**Tabela 3.** Análise granulométrica do solo das áreas de manejo em cada profundidade amostrada, 2013.

| Manejo | Argila (g kg <sup>-1</sup> ) |         |         |         |         |
|--------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|        | Profundidade (cm)            |         |         |         |         |
|        | 0 - 10                       | 10 - 20 | 20 - 30 | 30 - 40 | 40 - 50 |
| SV SQ  | 95                           | 100     | 107     | 160     | 199     |
| SV CQ  | 74                           | 63      | 101     | 127     | 128     |
| CV SQ  | 161                          | 155     | 193     | 216     | 234     |
| CV CQ  | 66                           | 61      | 81      | 73      | 96      |
| MN     | 133                          | 108     | 88      | 93      | 119     |

| Manejo | Silte (g kg <sup>-1</sup> ) |         |         |         |         |
|--------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|
|        | Profundidade (cm)           |         |         |         |         |
|        | 0 - 10                      | 10 - 20 | 20 - 30 | 30 - 40 | 40 - 50 |
| SV SQ  | 62                          | 45      | 49      | 66      | 45      |
| SV CQ  | 12                          | 37      | 28      | 34      | 32      |
| CV SQ  | 55                          | 61      | 65      | 74      | 74      |
| CV CQ  | 64                          | 64      | 62      | 79      | 64      |
| MN     | 73                          | 74      | 73      | 55      | 105     |

| Manejo | Areia Total (g kg <sup>-1</sup> ) |         |         |         |         |
|--------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|        | Profundidade (cm)                 |         |         |         |         |
|        | 0 - 10                            | 10 - 20 | 20 - 30 | 30 - 40 | 40 - 50 |
| SV SQ  | 843                               | 856     | 845     | 774     | 756     |
| SV CQ  | 914                               | 900     | 871     | 839     | 840     |
| CV SQ  | 784                               | 784     | 742     | 710     | 692     |
| CV CQ  | 870                               | 875     | 857     | 849     | 840     |
| MN     | 795                               | 819     | 839     | 852     | 777     |

### 3.2.1 Caracterização dos manejos executados nas áreas estudadas

#### Áreas: A-1 a A-4 (Sem Vinhaça / Corte Mecanizado)

Coleta das amostras: 25/04/2013;

Lote: C-6 Fazenda Maehara; Talhões: 1 e 2. Data de plantio: 7/03/09;

Variedade: RB-867515. Nº de cortes: 4;  
Calcário Magnésiano (PRNT 80%) na quantidade de 1,92 Mg ha<sup>-1</sup>;

**Áreas: B-1 a B-4 (Com Vinhaça / Corte Mecanizado)**

Coleta das amostras: 26/04/2013;  
Lote: C-8 Fazenda Maehara; Talhões: 20 e 21;  
Data de plantio: 13/3/09;  
Variedade: RB-867515. Nº de cortes: 4.  
Vinhaça (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>): 60,96 (2010); 71,13 (2011); 92,48 (2012) e 83,33 (2013);  
Calcário Magnésiano: 2,6 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Áreas: C-1 a C-4 (Com Vinhaça / Corte Manual)**

Coleta das amostras: 26/04/2013;  
Lote: C-8 Fazenda Maehara; Talhões: 36 e 37;  
Vinhaça (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>): 60,96 (2010); 71,13 (2011); 92,48 (2012) e 83,33 (2013);  
Data de plantio: 13/3/09;  
Variedade: RB-867515. Nº de corte: 4;  
Calcário Magnésiano: 2,4 Mg ha<sup>-1</sup>;

**Áreas: D-1 ao D-4 (Sem Vinhaça / Corte Manual)**

Coleta das amostras: 29/04/2013;  
Lote: H-2 Fazenda Darcy; Talhões: 14 e 15. Data de plantio: 27/09/09;  
Variedade: RB-867515. Nº de cortes: 4;  
Calcário Magnésiano: 3,5 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Áreas: E-1 ao E-4 (Mata Nativa)**

Coleta das amostras: 29/04/2013;  
Lote: E-17 - Fazenda Santa Genoveva.

### **3.3 Parâmetros de Avaliação**

As avaliações foram realizadas, em áreas previamente definidas e georreferenciadas, seguindo os manejos estudados, em março de 2013, aproximadamente 120 dias após o terceiro corte da cana de açúcar.

### 3.3.1 Quantificação dos teores de K, da matéria orgânica (MOS), do carbono orgânico (COT), do estoque de carbono total (ECT) e da densidade do solo (Ds)

A determinação dos teores de K e de matéria orgânica do solo (MOS) foi realizada através da coleta de amostras deformadas, em quatro trincheiras abertas nas dimensões de 50 (C) x 30 (L) x 80 cm (P) (Figura 9), em quatro pontos, com distância de 50 m entre os mesmos, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm.



**Figura 9.** Vista da trincheira aberta nas dimensões 50cm (C) x 30cm (L) x 80cm (P).

Duas amostras simples foram coletadas de cada profundidade, uma de cada lado da trincheira e misturadas para compor uma amostra composta em cada repetição e profundidade. No total, 100 amostras foram submetidas ao método de extração para K pela resina trocadora de íons e quantificação pelo método de espectrofotometria de absorção atômica (RAIJ et al., 2011), com equipamento modelo AA200, PerkinElmer.

A MOS foi extraída pelo método de Walkley-Black (1934) também descrito em Raij et al. (2001) e quantificada pelo método colorimétrico em espectrofotômetro FEMTO, modelo 600 Plus. Posteriormente, o teor MOS obtido por este método foi convertido em COT através da aplicação do fator de van Bemmelen,

com base no pressuposto de que a matéria orgânica do solo contém 58% de C orgânico.

O estoque de carbono orgânico total no solo (ECT), nas amostras indeformadas, em cada área foi calculado com base em massa equivalente de solo (ELBERT; BETTANY, 1995) de acordo com a seguinte equação:  $ECT (Mg ha^{-1}) = \{Teor\ de\ C \times E \times D\}$ , em que C = valor em  $g\ kg^{-1}$ , E = espessura da camada (cm) e D = densidade do solo ( $g\ cm^{-3}$ ) na camada. Posteriormente, seguindo recomendação de Sisti et al. (2004), o ECT dos sistemas de manejo foi corrigido para a mesma massa de solo, tendo as condições de MN como referência de valores.

Para a obtenção dos valores de densidade do solo ( $D_s$ ), utilizados no cálculo do ECT foram coletadas duas amostras indeformadas em cada profundidade, uma de cada lado das trincheiras acima citadas, totalizando 200 amostras. Para tal procedimento, foram utilizados cilindros de aço inox, com volume de  $92\ cm^3$ , devidamente identificados, acoplados a um instrumento denominado de amostrador tipo Uhland (Figura 10). Ainda no campo, os anéis passaram por uma limpeza, onde foi retirado o excesso de solo da sua parte inferior, para serem colocadas as tampas de polietileno, em ambas as extremidades, com o objetivo de evitar as perdas de solo no transporte e da umidade natural.



**Figura 10.** Instrumentos utilizados na coleta das amostras indeformadas: marreta, amostrador tipo Uhland e cilindros de aço inox.

Ao término da coleta, as amostras foram transportadas ao laboratório de análise química e física de solos da UNOESTE para a determinação da  $D_s$ . As mesmas foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 105 °C, e retiradas após 48 horas para pesagem em balança semi-analítica, com duas casas decimais e precisão de 0,001 g, para a obtenção da massa de solo seco. O cálculo da  $D_s$  foi realizado utilizando a equação: Densidade do solo ( $D_s$ ) =  $m/v$ , onde  $m$  = massa de solo seco (g);  $v$  = volume do anel de aço inox ( $\text{cm}^3$ ) (EMBRAPA, 1997).

### 3.3.2 Determinação da densidade de partículas ( $D_p$ ) e da porosidade total ( $P_t$ ) do solo

Para a determinação da densidade de partículas ( $D_p$ ), as amostras deformadas também foram coletadas nas mesmas trincheiras e nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40 e 40-50 cm, totalizando 100 amostras.

No procedimento analítico foram adicionados 20 g de solo deformado e seco (105 °C) (Figura 11), em erlenmeyer de 50 mL, calibrado com balão volumétrico certificado de mesmo volume (Figura 12). Com o auxílio de um dispensador manual de 25 mL, marca Brand, devidamente calibrado (Figura 13) e de uma bureta digital, com volume de 50 mL, marca Brand, completou-se o volume dos balões volumétricos com álcool etílico (Figura 14) e anotou-se o volume gasto (EMBRAPA, 1997).



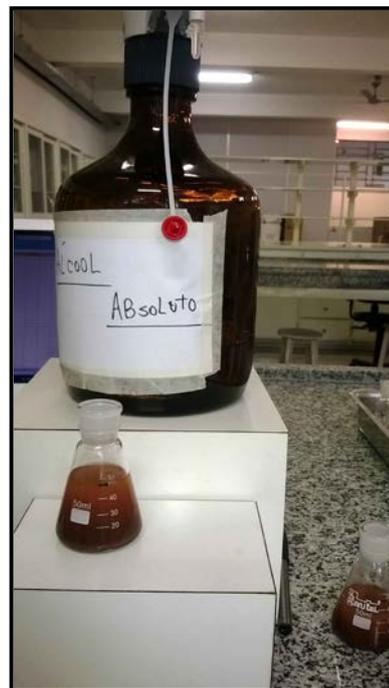
**Figura 11.** Obtenção da massa de solo deformado e seco.



**Figura 12.** Erlenmeyer, de 50 mL com solo e pronto para a determinação.



**Figura 13.** Adição de álcool etílico nas amostras.



**Figura 14.** Mistura de solo e álcool etílico.

A  $D_p$  foi calculada por meio da seguinte equação:  $D_p = M_s / (V_b - V_{alc})$ , onde:  $D_p$  = Densidade de partículas ( $g\ cm^{-3}$ );  $M_s$  = Massa de solo deformado e seco (g);  $V_b$  = Volume do erlenmeyer de 50 mL calibrado com balão volumétrico de 50 mL;  $V_{alc}$  = Volume de álcool etílico gasto (mL).

Com os resultados de  $D_s$  juntamente com os de  $D_p$  foi possível calcular a Porosidade Total ( $P_t$ ) do solo, utilizando a equação:

$P_t = 1 - (D_s / D_p)$ , onde:  $P_t$  = Porosidade total ( $cm^3\ cm^{-3}$ );  $D_s$  = Densidade do solo ( $g\ cm^{-3}$ );  $D_p$  = Densidade de partículas ( $g\ cm^{-3}$ ) (EMBRAPA, 1997).

### 3.3.3 Determinação da umidade de saturação do solo ( $\theta_s$ )

Os anéis volumétricos de aço inox coletados para a obtenção do valor de  $D_s$  também foram utilizados para a obtenção da umidade de saturação. Para isso, em duplicata, os conjuntos solo e anel foram pesados para a obtenção da massa natural. Posteriormente, a amostra foi colocada em bandeja contendo água até 2/3 da altura do cilindro, por 24 horas, para saturação completa (Figura 15). Para evitar a perda de solo, foi inserido um tecido de poliéster importado, utilizado na atividade de serigrafia, com malha de  $120\ fios\ cm^{-2}$ , fixados por um

elástico, na parte inferior do anel. Ao final do período de saturação, o excesso de água das amostras foi retirado, dispondo os anéis sobre duas folhas dobradas de papel absorvente, e determinou-se a massa da amostra saturada. Na sequência, as mesmas passaram pela secagem em estufa com circulação forçada de ar a 50 °C, por 72 horas, e a massa seca do solo e anel foi determinada. Com a diferença da massa da amostra de solo saturada e da massa seca calculou-se a umidade de saturação do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) (EMBRAPA, 1997).



**Figura 15.** Vista das amostras indeformadas preparadas para o procedimento de saturação em água.

### **3.3.4 Determinação do acúmulo de K e quantificação da biomassa da matéria seca (palhada) da superfície do solo**

No mesmo período da amostragem de solo, em março de 2013, também foram realizadas amostragens da palhada (biomassa seca) das culturas na superfície do solo nas parcelas específicas. Para isso, foi coletada uma amostra deste material, em cada repetição, usando um quadro de madeira com dimensões de 50 cm x 50 cm, totalizando 20 amostras. O material coletado foi lavado, com água deionizada para a retirada de impurezas, e levado à estufa com circulação forçada de ar à 65 °C, até obtenção de massa constante, para a determinação da biomassa da matéria seca (BMS), em  $\text{Mg ha}^{-1}$ . O teor de K foi determinado nas mesmas amostras, coletadas da superfície do solo, seguindo os procedimentos de

extração e de determinação elementar descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). De posse do teor de K, calculou-se seu acúmulo em função da quantidade de biomassa produzida em cada área de manejo.

### **3.3.5 Produtividade da cultura da cana de açúcar**

A produtividade da cana de açúcar foi obtida pela quantificação de colmos por unidade de área colhida ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em cada sistema de manejo e uso do solo na safra atual á coleta, como demonstrado abaixo. Porém, estes dados não foram analisados estatisticamente, pois foram originados pela colheita do talhão inteiro e não especificamente de cada parcela experimental. Mesmo assim, estes dados podem colaborar na interpretação do efeito dos manejos em cada área avaliada.

#### **Área: A-1 a A-4 (Sem Vinhaça / Corte Mecanizado - SVSQ)**

Produtividade do ano anterior, 3º corte:  $53,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  / Atual 4º corte:  $32,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;

#### **Área: B-1 a B-4 (Com Vinhaça / Corte Mecanizado - CVSQ)**

Produtividade do ano anterior, 3º corte:  $60,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  / Atual, 4º corte:  $52,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;

#### **Área: C-1 a C-4 (Com Vinhaça / Corte Manual - CVCQ)**

Produtividade do ano anterior, 3º corte:  $55,00 \text{ Mg ha}^{-1}$  / Atual, 4º corte:  $58,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;  
Reforma do canavial planejada em  $50 \text{ Mg ha}^{-1}$ ;

#### **Área: D-1 a D-4 (Sem Vinhaça / Corte Manual - SVCQ)**

Produtividade do ano anterior, 3º corte:  $31,75 \text{ Mg ha}^{-1}$  / Atual, 4º corte:  $27,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

### **3.4 Análise Estatística dos Dados**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias calculadas foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade. A significância da interação entre os fatores sistemas de manejo vegetal e profundidades de solo também foi verificada pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância efetuada para cada um dos manejos revelou que os atributos químicos: K, carbono orgânico (COT), matéria orgânica (MOS) e estoque de carbono total do solo (ECT), avaliados após o 3º corte da cana de açúcar, foram influenciados significativamente pelos manejos estudados. Exceto para o K, o teste F mostra que houve interação entre os fatores manejo e profundidades (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resultados do teste F, calculados para atributos químicos do solo nos sistemas de manejo e nas camadas avaliados

| FV                    | K                  | COT      | MOS      | ECT      |
|-----------------------|--------------------|----------|----------|----------|
| Manejo                | 29,53 **           | 39,92 ** | 38,62 *  | 29,40 ** |
| Profundidade          | 2,00 <sup>ns</sup> | 54,38 ** | 52,85 ** | 33,25 ** |
| Manejo x Profundidade | 0,70 <sup>ns</sup> | 14,17 ** | 14,04 ** | 10,27 ** |

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 = p < 0,05$ ); ns não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

A aplicação de vinhaça aumentou a concentração de K no solo, apenas nos sistemas de manejo CVSQ e CVCQ, não sendo verificada diferença significativa entre as profundidades de solo (Tabela 5). Também não houve diferença entre os manejos SVSQ e SVCQ, indicando que, neste caso, o tipo de colheita não influenciou na disponibilização de K no solo. Como esperado, as amostras de solo coletadas da área de MN também apresentaram concentração de K similar aos manejos SVSQ e SVCQ (Tabela 5).

Apesar de não ter sido verificada significância para o fator profundidade, houve um comportamento de redução da concentração de K em direção às camadas de solo mais profundas (40-50 cm), provavelmente, diante da característica de textura arenosa do solo nesta profundidade (Tabela 3) e do período definido de chuvas na região (Figura 2). Para Flores et al. (2012), a elevada precipitação pluviométrica pode possibilitar a solubilização do K trocável e seu possível deslocamento no perfil do solo, reduzindo os teores deste nutriente no solo nas camadas superficiais, mesmo em solo com textura mais argilosa e com elevada CTC.

**Tabela 5.** Teores de potássio (K), carbono orgânico (COT), matéria orgânica (MOS) e estoque de carbono orgânico total (ECT) nos sistemas de manejo e nas profundidades avaliados

| Manejo               | K<br>(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | COT<br>(g dm <sup>-3</sup> ) | MOS<br>(g dm <sup>-3</sup> ) | ECT<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|--|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| SV SQ                | 0,48 c                                     | 4,33 b                       | 7,46 b                       | 5,96 b                        |
| SV CQ                | 0,59 c                                     | 4,70 b                       | 8,09 b                       | 6,46 b                        |
| CV SQ                | 3,83 a                                     | 5,16 b                       | 8,88 b                       | 7,08 b                        |
| CV CQ                | 2,28 b                                     | 4,61 b                       | 8,03 b                       | 6,34 b                        |
| MN                   | 0,66 c                                     | 8,06 a                       | 13,85 a                      | 10,98 a                       |
| Profundidade<br>(cm) |  |                              |                              |                               |
| 0 - 10               | 2,14 a                                     | 8,19 a                       | 14,08 a                      | 10,88 a                       |
| 10 - 20              | 1,72 a                                     | 5,04 b                       | 10,39 b                      | 8,10 b                        |
| 20 - 30              | 1,53 a                                     | 4,67 c                       | 8,12 c                       | 6,42 c                        |
| 30 - 40              | 1,26 a                                     | 4,07 c                       | 7,02 c                       | 5,79 c                        |
| 40 - 50              | 1,19 a                                     | 3,89 c                       | 6,69 c                       | 5,65 c                        |
| CV (%)               | 76,76                                      | 20,16                        | 20,32                        | 23,08                         |
| DMS                  | 1,06                                       | 2,14                         | 3,72                         | 3,36                          |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Zolin et al. (2011) encontraram movimentação do K, entre as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nas áreas correspondentes à aplicação de vinhaça durante 20 anos, destacando, ainda, que o longo tempo de aplicação de vinhaça intensificou o deslocamento do elemento para a camada mais profunda. Silva, Bono e Pereira (2014) encontraram que o teor de K trocável foi reduzido, em média 54,5% e 50%, respectivamente, principalmente, no decorrer do 1º para o 3º cortes, nas camadas de 0-10 e de 20-40 cm, no mesmo período, ressaltando que, em solos arenosos a vinhaça apresentou importante incremento de K nas camadas até 40 cm de profundidade.

O deslocamento de K no solo, também conhecido como lixiviação é um fenômeno importante em solos com baixa CTC, especialmente em áreas com alta precipitação pluvial, que consiste no movimento vertical de íons para profundidades

abaixo daquelas exploradas pelas raízes. Esta lixiviação é significativa em solos arenosos, que se caracterizam por apresentar baixa CTC efetiva, reduzida capacidade de retenção de água e, pelo aumento de outros íons no solo, como o Ca e Mg, que deslocam o K das cargas negativas dos colóides, deixando-os na forma trocável, porém, totalmente livre na solução do solo (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) e Silva, Cabeda e Lima (2005) consideraram que o teor de  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de K no solo é adequado para o cultivo da cana de açúcar, atendendo, portanto, às suas exigências nutricionais. Dentro deste contexto, os resultados de K apresentados na Tabela 5 destacam que o teor de  $3,83 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no manejo CVSQ, equivalente a  $149,4 \text{ mg dm}^{-3}$  de K, estaria adequado ao desenvolvimento da cultura, enquanto que o manejo CVCQ adicionou ao solo apenas  $2,28 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K, ou seja,  $88,9 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Esta diferença existente na concentração de K no solo entre os manejos CVSQ e CVCQ pode estar associada à forma de colheita da cana de açúcar. O solo da área CVSQ apresentou maior concentração de K (Tabela 5) e a cana de açúcar produziu  $7,74 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biomassa seca, apresentando, portanto, potencial de aporte de  $20,93 \text{ kg ha}^{-1}$  de K ao solo, enquanto o manejo CVCQ produziu apenas  $0,33 \text{ Mg ha}^{-1}$  de palhicho e potencial de ciclagem de apenas  $1,19 \text{ kg ha}^{-1}$  de K. O restante foi disponibilizado pela queima de uma só vez e de maneira rápida (Tabela 6), sendo boa parte perdida por lixiviação ou lavagem superficial.

Os solos das áreas SVSQ e SVCQ não apresentaram diferença estatística no teor de K entre si e, mostram valores muito baixos deste elemento comparado com as áreas CVSQ e CVCQ (Tabela 5). Nestas áreas sem aplicação de vinhaça (SVSQ e SVCQ), a produção de biomassa foi de  $7,1$  e  $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, e o potencial de contribuição de K foi, respectivamente, de  $14,7$  e  $3,9 \text{ kg ha}^{-1}$  de K. Apesar da diferença na produção da biomassa seca, não houve diferença na concentração de K no solo (Tabela 6). Estes dados demonstram a importante contribuição da vinhaça no fornecimento de K para o solo de áreas cultivadas com cana de açúcar, mas também destacam o impacto negativo na redução da palhada remanescente com a prática de queimada dos canaviais para a realização da colheita manual.

Com a queimada, são perdidas cerca de  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de palha, que contém diversos nutrientes, dentre os quais se destacam o C, N e S (RESENDE

et al., 2006). Além disso, ocorre rápida mineralização de nutrientes, principalmente de K. A disponibilização total e rápida deste elemento favorece a sua rápida absorção bem como a lixiviação pelas camadas do solo. Portanto, a aplicação de vinhaça e a manutenção da palhada no sistema são essenciais para a produtividade da cultura a longo prazo (RESENDE et al., 2006).

**Tabela 6.** Teor de potássio (K), biomassa da matéria seca (BMS) e acúmulo de K na biomassa seca total nos sistemas de manejo avaliados

| Manejo | K<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | BMS<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Acúmulo K<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) |
|--------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| SV SQ  | 2,07 b                     | 7,05 b                        | 12,59 b                             |
| SV CQ  | 3,00 ab                    | 1,25 c                        | 3,95 c                              |
| CV SQ  | 2,72 ab                    | 7,74 b                        | 20,93 b                             |
| CV CQ  | 3,52 ab                    | 0,33 c                        | 1,19 c                              |
| MN     | 3,75 a                     | 12,4 a                        | 45,23 a                             |
| CV (%) | 22,29                      | 31,94                         | 22,89                               |
| DMS    | 1,47                       | 4,02                          | 8,40                                |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Desta forma, além da adição de K pela aplicação da vinhaça, a reciclagem de K da palhada depositada na superfície do solo pode contribuir satisfatoriamente para aumentar a disponibilidade deste elemento dentro do sistema (Tabela 6). Oliveira et al. (1999) também destacaram a significativa contribuição deste palhicho como reserva de nutrientes, que retorna ao sistema a partir de sua decomposição. Apesar de ser um material com alta relação C/N (CANTARELLA, 1998) apresentando, portanto, lenta taxa de mineralização (OLIVEIRA et al., 1999) a palhada contribui com o aporte de nutrientes como o K ao solo. Inclusive, Oliveira et al. (1999), observaram que, entre dois anos agrícolas, o K foi o elemento químico com liberação, em média 93%, mais rápida pela palhada da cana de açúcar.

A colheita da cana crua, sem despalha a fogo, vem crescendo de forma significativa no Brasil, resultando, normalmente, no acúmulo de grandes quantidades de palhada sobre a superfície do solo (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2005). No estado de São Paulo, estima-se que a massa da palhada que permanece sobre o

solo após o corte da cana apresente variação entre 10-20 Mg ha<sup>-1</sup>. Para Luca et al. (2008) a cultura pode proporcionar, em média, a entrada de 13,3 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palha no mesmo sistema de colheita, alterando a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas.

Para Carvalho et al. (2013) ocorre incremento na disponibilidade de K na camada de 0-20 cm após um ano de manejo com vinhaça, ressaltando, porém, que a presença do K pode ser atribuída, em parte, à sua disponibilização pela decomposição da palhada remanescente. Assim, a prática de despalha e a não queima dos resíduos de alta relação C/N podem contribuir com a melhoria dos atributos químicos do solo, ao longo dos demais ciclos produtivos da cana.

Os manejos agrícolas estudados não propiciaram resultados significativos nos teores de MOS, COT e ECT. Apenas foi observada diferença significativa ao se comparar os manejos SVSQ, SVCQ, CVSQ, CVCQ com a área de MN, a qual apresentou, praticamente, dobro da matéria orgânica em relação às áreas de produção (Tabela 5). É um resultado esperado, já que em solos tropicais é notadamente difícil aumentar os teores de matéria orgânica em solos agrícolas.

Os teores de MOS, COT e ECT na MN são superiores às áreas de cultivo e, este fato, torna evidente que, a alteração do uso do solo, com a retirada da vegetação nativa e a introdução de culturas, como a cana de açúcar, reduziu o teor da MOS, o que refletiu negativamente no teor de COT e, conseqüentemente, no ECT do solo. Segundo Canellas et al. (2003), a retirada da vegetação nativa visando à atividade agrônômica, causa a remoção de sistemas biológicos complexos, diversificados e estáveis, induzindo variações difíceis de se quantificar na ciclagem de elementos químicos necessários ao crescimento das plantas, acarretando, finalmente, a diminuição da fertilidade do solo. Este fato tem muito significado, pois o teor e a qualidade da matéria orgânica constituem atributos químicos dos solos que podem ser utilizados diretamente para avaliar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (MIELNICZUK, 1999).

Mesmo após quatro anos de cultivo, o manejo CVSQ, que adicionou maior quantidade de palha na superfície do solo, efetivamente, não proporcionou aumento significativo na MOS, COT e ECT comparado aos demais manejos (Tabela 5). Provavelmente, a textura arenosa do solo possibilitou rápida degradação da MOS, ao longo do tempo, de maneira a não se conseguir obter acúmulo significativo.

A supressão da queima com manutenção da palhada sobre o solo resulta em maior concentração da MOS, conforme relatos de Graham, Haynes e Meyer (2002).

Experimentos realizados em áreas canavieiras no Brasil, indicam que esse efeito ocorre frequentemente em solo muito argiloso (ORLANDO FILHO et al., 1998) e de textura média (SOUZA et al., 2005), mas não em solo muito arenoso (BALL-COELHO et al., 1993). Segundo Alexander (1977), em regiões de temperaturas elevadas, com excessiva mobilização de solo e submetidos à queimadas constantes ocorre redução nos teores de MOS. Além disso, como o teor de COT mantém relação direta com a taxa de adição de resíduos orgânicos, seu teor no solo também tende a reduzir.

Além da palhada que pode permanecer no solo em sistemas de colheita mecanizada de cana crua, a vinhaça também é uma fonte de matéria orgânica para o solo, embora, os manejos CVSQ e CVCQ, por quatro anos consecutivos, não tenham sido eficientes em colaborar com o aumento da MOS (Tabela 5). A vinhaça adiciona matéria orgânica ao solo, porém Camilotti et al. (2006) destacam que seus efeitos são passageiros.

Andrioli (1986), estudando os atributos químicos e físicos de um latossolo cultivado com cana de açúcar, após aplicações de 1200 m<sup>3</sup> de vinhaça, concluiu que não houve alteração na MOS, mas, destacou que a preservação da palhada e a adição de vinhaça podem ser estratégias importantes para proporcionar a manutenção e/ou o aumento da fertilidade do solo a longo prazo.

Apesar de não ter sido detectada diferença significativa na MOS entre as áreas de manejo da cultura da cana de açúcar, houve interação significativa entre os manejos e as profundidades avaliados (Tabelas 4 e 7).

**Tabela 7.** Teor de matéria orgânica do solo (MOS), em  $\text{g dm}^{-3}$ , considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados

| Manejo | Profundidade (cm)          |           |          |         |         |
|--------|----------------------------|-----------|----------|---------|---------|
|        | 0 - 10                     | 10 - 20   | 20 - 30  | 30 - 40 | 40 - 50 |
|        | MOS ( $\text{g dm}^{-3}$ ) |           |          |         |         |
| SV SQ  | 9,55 bA                    | 7,55 bA   | 6,95 aA  | 6,67 aA | 6,60 aA |
| SV CQ  | 10,58 bA                   | 9,15 bAB  | 7,45 aAB | 6,53 aB | 6,73 aB |
| CV SQ  | 9,47 bA                    | 8,70 bA   | 8,30 aA  | 6,93 aA | 6,75 aA |
| CV CQ  | 11,83 bA                   | 10,07 bAB | 9,75 aAB | 7,20 aB | 6,55 aB |
| MN     | 29,00 aA                   | 16,50 aB  | 9,15 aC  | 7,77 aC | 6,85 aC |

CV(%) geral = 20,32; DMS para colunas = 3,72 (letras minúsculas); DMS para linhas = 3,72 (letras maiúsculas). Letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Nos manejos SVSQ e CVSQ não houve diferenciação no teor de MOS entre as camadas de solo. Entretanto, nos manejos SVCQ e CVCQ houve redução no teor de MOS, sendo que os maiores teores foram encontrados nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm comparado com as profundidades de 30-40 e 40-50 cm (Tabela 7). Na MN houve maior incremento de MOS de 0-10 cm, comparado com a camada de 10-20 cm. Nas demais profundidades não houve diferença significativa (Tabela 7).

A tendência similar foi observada para o COT diante dos manejos estudados, pois as alterações no teor de MOS implicam diretamente em reflexos nos teores de COT. A Tabela 8 também mostra que, apesar de não ter sido observada diferença significativa no teor de COT entre as áreas de manejo houve interação significativa dos manejos com as profundidades avaliadas.

**Tabela 8.** Teor de carbono orgânico do solo (COS), em  $\text{g dm}^{-3}$ , considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados

| Manejo             | Profundidade (cm) |    |         |     |         |     |         |    |         |    |
|--------------------|-------------------|----|---------|-----|---------|-----|---------|----|---------|----|
|                    | 0 - 10            |    | 10 - 20 |     | 20 - 30 |     | 30 - 40 |    | 40 - 50 |    |
| $\text{g dm}^{-3}$ |                   |    |         |     |         |     |         |    |         |    |
| SV SQ              | 5,55              | bA | 4,40    | bA  | 4,00    | aA  | 3,87    | aA | 3,85    | aA |
| CV CQ              | 6,87              | bA | 5,85    | bAB | 5,10    | aAB | 4,15    | aB | 3,82    | aB |
| CV SQ              | 5,52              | bA | 5,05    | bA  | 4,57    | aA  | 4,02    | aA | 3,90    | aA |
| SV CQ              | 6,15              | bA | 5,32    | bAB | 4,35    | aAB | 3,77    | aB | 3,90    | aB |
| MN                 | 16,85             | aA | 9,60    | aB  | 5,32    | aC  | 4,52    | aC | 4,00    | aC |

CV(%) geral = 20,16; DMS para colunas = 2,14 (letras minúsculas); DMS para linhas = 2,14 (letras maiúsculas). Letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

O manejo SVCQ e CVCQ mostra que a aplicação de vinhaça durante quatro anos não foi suficiente para aumentar a MOS e o COT no solo, porém, em ambos os casos a colheita da cana queimada influenciou o teor de MOS entre as profundidades. Nas camadas superficiais, de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm o teor de MOS e COT foi maior, provavelmente, em função da rápida mineralização forçada pela queimada (Tabela 8).

Além destes fatores, a movimentação e o preparo do solo para o cultivo favorecem as reações de oxidação, diante do aumento da pressão parcial de oxigênio e da exposição de novas superfícies para o ataque microbiano. O balanço líquido desse efeito é a diminuição dos teores de matéria orgânica nos sistemas com preparo de solo mais intensivo. Sistemas mais conservacionistas tendem, com o tempo, a apresentar um incremento de matéria orgânica na superfície do solo (FREIXO et al., 2002). Graham, Haynes e Meyer (2002), avaliando o ECT em um experimento de manejo de palhada em áreas canavieiras e instalado à 59 anos na África do Sul, verificaram que o teor de C aumentou nas camadas amostradas até 10 cm (0-2,5; 2,5-5,0 e 5-10 cm) e o maior efeito ocorreu na primeira camada, com aumento para  $43 \text{ g kg}^{-1}$  no manejo com queimada e para  $55 \text{ g kg}^{-1}$  nas áreas sem queima.

No Brasil, Canellas et al. (2003) analisaram o efeito de 35 anos de manejo de cana crua e de cana queimada, e verificaram acréscimo de 70 e 77% de carbono

na camada 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Além do efeito direto da preservação da matéria orgânica na forma de resíduos vegetais na superfície do solo, que naturalmente favorece a concentração de carbono, nas áreas de cana crua, o canalial pode ficar mais tempo sem renovação. Também verificaram acréscimo nos teores de COT no solo na área de cultivo de cana de açúcar com vinhaça. Embora menos pronunciado que na área de cana crua, este acúmulo foi significativo e na ordem de 17 e 11%, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. A rápida decomposição da matéria orgânica da vinhaça quando atinge o solo proporciona este efeito. Ainda para os mesmos autores, apesar de baixo, acréscimos médios de 14% de carbono orgânico não são desprezíveis para solos tropicais, onde é notadamente difícil aumentar os teores de matéria orgânica no solo.

Quando se realiza o manejo de resíduos vegetais no solo, o C é frequentemente avaliado, pois é utilizado para calcular a concentração da MOS, sabidamente, porque melhora suas condições químicas, físicas e biológicas (SIX et al., 2004).

A Tabela 9 também mostra que, apesar de não ter sido observada diferença significativa no teor de ECT entre as áreas de manejo agrícola houve interação significativa dos manejos com as profundidades avaliadas. Com relação ao ECT, também foi observado nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm de profundidade (Tabela 5) apenas na área de MN. Não houve diferença significativa no ECT entre as camadas dentro das áreas de manejo da cana de açúcar. Assim, os manejos SVSQ, SVCQ, CVCQ e CVSQ não interferiram no ECT do solo.

**Tabela 9.** Estoque de carbono (ECT), Mg ha<sup>-1</sup>, considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados

| Manejo              | Profundidade (cm) |          |          |          |         |
|---------------------|-------------------|----------|----------|----------|---------|
|                     | 0 - 10            | 10 - 20  | 20 - 30  | 30 - 40  | 40 - 50 |
| Mg ha <sup>-1</sup> |                   |          |          |          |         |
| SV SQ               | 7,36 bA           | 5,88 bA  | 5,49 aA  | 5,50 aA  | 5,59 aA |
| SV CQ               | 8,17 bA           | 7,14 bA  | 6,01 aA  | 5,34 aA  | 5,67 aA |
| CV CQ               | 9,12 bA           | 7,84 bAB | 7,01 aAB | 5,92 aAB | 5,53 bB |
| CV SQ               | 7,30 bA           | 6,50 bA  | 6,29 aA  | 5,72 aA  | 5,65 aA |
| MN                  | 22,48 aA          | 12,91 aB | 7,31 aC  | 6,44 aC  | 5,81 aC |

CV(%) geral = 23,08; DMS para colunas = 3,36 (letras minúsculas); DMS para linhas = 3,36 (letras maiúsculas). Letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Segundo Luca et al. (2008), as maiores concentrações e estoques de C ocorreram em solos sem a queima do canavial, principalmente na camada 0-5 cm, onde apareceram diferenças significativas em relação ao solos cuja colheita foi precedida de queima. Além disso, as quantidades estocadas de C foram amplamente distintas entre os solos estudados. Considerando a camada 0-20 cm, os estoques de C variaram entre 47,9 e 54,2 Mg ha<sup>-1</sup> no LVdf, e entre 20,9 e 28,5 Mg ha<sup>-1</sup> para o PVAd e o RQo. A supressão da queima do canavial resultou em aumento no estoque de C, na camada de 0-20 cm, de 6,3 Mg ha<sup>-1</sup> no LVdf e 4,7 Mg ha<sup>-1</sup> no RQo.

Para Graham, Haynes e Meyer (2002), o teor de argila é importante para se conseguir aumentos significativos de ECT. Solos com teor de argila próximo a 580 g kg<sup>-1</sup> são capazes de acumular, na camada 0-30 cm, aproximadamente, 137 Mg ha<sup>-1</sup> para ambos os manejos com queima e sem queima. Solos com maior teor de argila estocam mais C, uma vez que no LVdf, a capacidade de estocagem de C foi 52,6%, para o PVAd de 47,2% e de 34,2% para o RQo, sendo que solos mais arenosos tenderam a apresentar humificação mais rápida da MOS. Isso é coerente com a característica de maior macroporosidade neste tipo de solo, o que proporciona melhores condições de aeração e atividade da microfauna decompositora (LUCA et al., 2008).

Dentro deste panorama, verificando os dados da Tabela 3 e associando-os àqueles presentes na Tabela 9, observa-se que o teor de argila das áreas de estudo é muito baixo, onde se destaca o elevado teor de areia total, o que, então, pode ter facilitado a rápida decomposição da MOS proveniente da vinhaça e da palhada remanescente.

A análise do teste F revelou que os atributos físicos densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (Pt) e umidade de saturação ( $\theta_s$ ) foram influenciados significativamente pelos manejos estudados e nas profundidades estudadas. O teste F mostra que houve interação entre os fatores manejo e profundidades apenas para o atributo  $\theta_s$  (Tabela 10).

**Tabela 10.** Resultados do teste F, calculados para atributos físicos do solo nos sistemas de manejo e nas profundidades avaliados

| FV                    | Ds                 | Dp                  | Pt                 | $\theta_s$ |
|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------|
| Manejo                | 55,36 **           | 3,10 *              | 19,36 **           | 142,03 **  |
| Profundidade          | 9,99 **            | 0,44 <sup>ns</sup>  | 3,46 *             | 29,28 **   |
| Manejo x Profundidade | 0,83 <sup>ns</sup> | *0,72 <sup>ns</sup> | 1,00 <sup>ns</sup> | 2,55 **    |

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); ns - não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

Os atributos físicos Ds e Dp não foram alterados significativamente nas áreas submetidas aos manejos estudados (Tabela 11). Entretanto, a Pt e a  $\theta_s$  foram influenciados pela diferenciação do manejo.

**Tabela 11.** Valores do teste de médias, calculados para os atributos físicos nos sistemas de manejo e nas profundidades avaliados

| Manejo       | Ds<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | Dp<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | Pt<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | $\theta_s$<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|
| SV SQ        | 1,72 a                      | 2,36 b                      | 26,39 c                                   | 0,28 d  |
| SV CQ        | 1,67 ab                     | 2,52 a                      | 33,40 b                                   | 0,28 d  |
| CV SQ        | 1,68 ab                     | 2,36 ab                     | 28,59 bc                                  | 0,31 b  |
| CV CQ        | 1,65 b                      | 2,46 ab                     | 32,65 b                                   | 0,29 c  |
| MN           | 1,38 c                      | 2,35 b                      | 41,06 a                                   | 0,39 a  |
| Profundidade |                             |                             |   |   |
| (cm)         |                             |                             |   |   |
| 0 - 10       | 1,52 b                      | 2,39 a                      | 36,32 a                                   | 0,35 a  |
| 10 - 20      | 1,62 a                      | 2,41 a                      | 32,45 ab                                  | 0,31 b  |
| 20 - 30      | 1,67 a                      | 2,45 a                      | 31,52 ab                                  | 0,30 b  |
| 30 - 40      | 1,66 a                      | 2,37 a                      | 31,90 ab                                  | 0,30 b  |
| 40 - 50      | 1,64 a                      | 2,42 a                      | 29,90 b                                   | 0,31 b  |
| CV (%)       | 5,11                        | 7,65                        | 17,65                                     | 0,33  |
| DMS          | 0,07                        | 0,16                        | 5,06                                      | 0,015   |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A aplicação de vinhaça e a forma de colheita da cana de açúcar, durante quatro anos consecutivos, não reduziram significativamente a Ds, destacando inclusive, que nas áreas com manejo agrícola o valor foi estatisticamente superior ao apresentada pela área de MN. Os valores reduzidos encontrados para os atributos MOS, COT e ECT (Tabela 5) nas áreas de manejo, também pode ser correlacionado com a Ds. A matéria orgânica é de extrema importância na estruturação de um solo e, portanto da Ds do mesmo. Torna-se evidente, que a conversão de ecossistemas naturais em áreas cultivadas promove alteração nas taxas de adição e perdas efetivas de MOS, provocando reflexos negativos diretamente na estruturação do solo (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000).

Viana et al. (2011) citaram que os valores de Ds em áreas de MN e cultivadas com cana de açúcar foram diferenciados em função do manejo. O menor valor de Ds foi verificado em MN e a maior Ds foi observada em solo cultivado com cana de açúcar. Para estes autores, o aumento da Ds nas áreas cultivadas com cana de açúcar está associado ao intenso uso do solo, provavelmente, devido ao excessivo tráfego de máquinas, além da perda de MOS e de COT diante do manejo agrícola. Além dos efeitos observados nas características químicas do solo, Souza, Marcelo e Centurion (2012) salientaram que o uso intensivo de solos com o cultivo da cana de açúcar modifica significativamente as propriedades físicas do solo.

O aumento da intensidade de uso da mecanização agrícola na cultura da cana de açúcar, principalmente com as operações de preparo convencional vem causando modificações físico-mecânicas ao solo, com consequente degradação da estrutura, seja promovendo a pulverização dos horizontes superficiais ou a compactação dos horizontes subsuperficiais. Por outro lado, as operações de colheita são as que, a cada ano, mais utilizam máquinas pesadas, conferindo ao solo pressões críticas que favorecem a compactação, principalmente quando utilizadas em condições inadequadas de umidade (OLIVEIRA et al., 2011).

Canellas et al. (2003) ainda argumenta que a vinhaça aumenta o teor de MOS, gerando, conseqüentemente, resultados significativos nas propriedades físicas do solo. Porém, os dados das Tabelas 4 e 5 mostram que não houve aumento significativo da MOS e do COT com a aplicação de vinhaça durante os quatro anos de manejo. Zolin et al. (2011) explicaram que resultados significativos no solo decorrentes da aplicação da vinhaça podem surgir em função do tempo de manejo. De acordo com seus resultados, a aplicação de vinhaça durante 20 anos

proporcionou maiores valores de MOS e também aumentou a Ds. De acordo com Andrioli (1986), a aplicação de 1200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de vinhaça não foi capaz de modificar atributos como a Ds e a Pt do solo, por não ocorrer aumento significativo da MOS. O autor cita que o tempo de manejo é mais importante que a quantidade aplicada em pouco tempo, devido a rápida degradação da palha.

De forma geral, para todos os manejos, a Ds foi reduzida significativamente apenas de 0-10 cm de profundidade (Tabela 11), a qual também apresentou aumento significativo no teor de COT e MOS (Tabela 11). A adição constante de resíduos orgânicos pode resultar no incremento do teor de matéria orgânica, alterando, portanto, seus atributos físicos (CANELLAS et al., 2003).

Braida et al. (2006) estudaram a compactação dos solos na camada de 0-5 cm e encontraram menor densidade onde se tinha maior acúmulo de matéria orgânica. Freddi et al. (2007), analisando o tráfego de máquinas em áreas canavieiras, também observaram alterações na densidade na camada mais superficial do solo. Contudo Zolin et al. (2011) encontraram relação entre os mesmos atributos na camada de 0-15 cm, uma vez que maiores valores de carbono orgânico implicaram em menores valores de densidade. De forma geral, os sistemas de manejo alteram a Ds somente até 10 cm de profundidade, destacando que, em sistema de cultivo de cana com colheita mecanizada, o tráfego de máquinas provoca aumento considerável densidade nesta profundidade (GARBIATTE et al., 2011).

Apesar da presença marcante do tráfego de máquinas nestas áreas, Garbiatte et al. (2011) salientaram que a colheita mecanizada de cana queimada apresentou valores mais elevados para a densidade, com incremento de 23% na profundidade de 0-5 cm, comparado com o sistema de colheita manual. Já, o sistema de colheita mecanizada de cana crua proporcionou valores intermediários neste atributo, sendo que na camada de 0-10 cm, o valor foi menor que no sistema com colheita mecanizada de cana queimada. Estes dados evidenciam que o solo com cobertura de resíduos vegetais de colheita pode minimizar o efeito do tráfego de colhedoras de cana, pois suporta maior pressão, em comparação com aqueles que não apresentam resíduos vegetais de colheita. Para Braida et al. (2006) o valor da densidade decresce diante da quantidade de palha que permanece na superfície do solo.

A Tabela 11 mostra que, independente da área de manejo, os valores de Ds são elevados, não foram diferentes estatisticamente e que variaram de 1,65 a

1,72 g cm<sup>-3</sup>. Garbiate et al. (2011) também verificaram a mesma tendência de valores, sendo que nas áreas de colheita mecanizada queimada os valores de Ds atingiram 1,84 g cm<sup>-3</sup>. Compactações significativas na camada de 0-10 cm foram diagnosticadas mesmo em solos arenosos (PVAd e RQo) sob o manejo sem queima e colheita mecanizada, comparado com a queima manual (Luca et al., 2008). Souza et al. (2005), em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média, observaram maior densidade do solo quando o sistema utilizado foi a colheita mecanizada da cana sem queima, em relação à colheita manual com queima. Nestes casos, o que prevaleceu foi o impacto da mecanização da colheita.

Zolin et al. (2011) mostraram que a aplicação de vinhaça durante 20 anos proporcionou maiores valores de Ds na camada de 15 a 30 cm, com exceção da área que recebeu aplicação de vinhaça durante 12 anos, que apresentou o maior valor de densidade na camada superficial do solo (0-15 cm).

A Dp também não foi modificada diante da diferenciação dos manejos tampouco em função das profundidades avaliadas (Tabela 11). No entanto, Zolin et al. (2011) citaram que os maiores valores foram encontrados na profundidade de 30 a 50 cm em todas as áreas, a partir do segundo ano de aplicação. Já para a camada de 15 a 30 cm, houve tendência de diminuição da Dp ao longo dos anos de aplicação de vinhaça.

A Pt é um parâmetro que demonstra a correlação entre a Ds/Dp e, os resultados apresentados na Tabela 11 indicam que não houve diferença significativa da Pt entre os manejos e, que houve redução significativa da Pt apenas na profundidade de 40-50 cm, uma vez que não houve variação significativa a Ds e Dp nas demais camadas. Zolin et al. (2011), verificaram, porém, redução da Pt na camada de 0-15 cm, enquanto diagnosticaram redução da Pt de um em Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com cana em sistema de plantio direto, em função do tráfego de máquinas.

A compactação traz como consequência direta a redução da porosidade total do solo (Pt). Segundo os autores, a Pt foi reduzida nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm apenas no sistema de colheita manual queimada, e aumentada na área de colheita manual. Já, o sistema de colheita mecanizada de cana crua apresentou resultados intermediários (GARBIATTI et al., 2011).

Com relação à  $\theta_s$  do solo, os dados apresentados na Tabela 12, mostram que houve diferença significativa entre os manejos avaliados, embora esta diferença

não tenha sido de grande amplitude. Quando se analisa a influência da profundidade de solo no armazenamento de água, verifica-se a que a camada de 0-10 cm apresenta capacidade de reter mais água comparada às demais. Neste caso, também é possível realizar uma associação da  $\theta_s$  com o teor de MOS (Tabela 5).

**Tabela 12.** Umidade de Saturação ( $\theta_s$ ),  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , considerando a interação entre os sistemas de manejo e as profundidades de solo avaliados

| Manejo | Profundidade (cm) |     |         |     |         |     |         |     |         |     |
|--------|-------------------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|
|        | 0 - 10            |     | 10 - 20 |     | 20 - 30 |     | 30 - 40 |     | 40 - 50 |     |
| SV SQ  | 0,31              | cA  | 0,20    | bB  | 0,27    | bB  | 0,27    | bcB | 0,29    | cAB |
| SV CQ  | 0,34              | bcA | 0,29    | bcB | 0,27    | bB  | 0,26    | cB  | 0,29    | cB  |
| CV CQ  | 0,31              | cA  | 0,29    | bcA | 0,29    | bA  | 0,29    | bcA | 0,30    | bcA |
| CV SQ  | 0,35              | bA  | 0,31    | bBC | 0,29    | bC  | 0,30    | bBC | 0,32    | bAB |
| MN     | 0,44              | aA  | 0,41    | aAB | 0,38    | aBC | 0,37    | aC  | 0,36    | aC  |

CV(%) geral = 7,5; DMS para colunas = 0,033 (letras minúsculas); DMS para linhas = 0,033 (letras maiúsculas). Letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os manejos de CVSQ e CVCQ proporcionaram maior  $\theta_s$  do solo comparado com os demais manejos, exceto comparado à MN (Tabela 11). A camada de 0-10 cm de profundidade, em todos os manejos, apresentou maior  $\theta_s$ , comparado às demais profundidades (Tabela 12). Essa diferença pode ser atribuída à cobertura do solo com a palhada deixada na superfície do solo, originada da colheita. Esta palhada, apesar de decomposição lenta, foi capaz de gerar um aporte de  $7,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biomassa seca na área com manejo CVSQ (Tabela 6). Nesta circunstância houve aumento de MOS, COT e Pt, além da diminuição da Ds.

Garbiate et al. (2011) estimaram um aporte de  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos no sistema de colheita mecanizada de cana crua, que refletiu diretamente no aumento da infiltração de água no solo. Entretanto, o efeito da mecanização nas propriedades físicas do solo deve ser avaliado com atenção, pois a o tráfego de máquinas intenso também pode ser responsável por gerar consequências negativas à porosidade, prejudicando a infiltração de água no solo (CEDDIA et al., 1999), e conseqüentemente diminuindo a capacidade de retenção da mesma pelo mesmo.

A área manejada no sistema SVCQ apresentou menor  $\theta_s$  comparada com as demais áreas estudadas. A baixa deposição de matéria orgânica neste tratamento certamente refletiu na estruturação do solo e, conseqüentemente, na baixa capacidade de armazenamento de água. Além deste fator, Romero (2009) mencionou que sistemas de colheita com queima do canavial deixam a superfície do solo totalmente exposta à ação do impacto das gotas de água da chuva, ocasionando um selamento superficial dos poros, e reduzindo a infiltração e o armazenamento de água, o que pode acarretar escoamento superficial, na forma de enxurrada.

## 5 CONCLUSÕES

A aplicação de vinhaça associada ao sistema de colheita sem queima incrementou a concentração de K nas camadas de solo até 40 cm de profundidade. A textura arenosa do solo possibilitou a movimentação do K no perfil;

Os manejos agrícolas SVCQ, SVSQ, CVCQ e CVSQ não aumentaram os teores de MOS, COT e ECT, mostrando a dificuldade de se elevar esses teores em solos de textura arenosa. Nas profundidades estudadas também não foram observadas diferenças marcantes;

Os atributos  $D_s$  e a  $D_p$  não foram influenciados pelos manejos agrícolas estudados e nas profundidades amostradas;

A área manejada no sistema CVSQ apresentou maior  $\theta_s$  nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm comparada com os demais manejos estudados;

Os atributos químicos e físicos avaliados dentro dos respectivos manejos devem ser avaliados por um período maior de tempo, destacando que o COT poder ser fracionado e o comportamento da rizosfera da cana de açúcar poderá ser estudado.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E.N.; FERREIRA, M.M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.711-721, 2000.

ALEXANDER, M. Organic matter decomposition. In: ALEXANDER, M. (ed.) **Introduction to soil microbiology**. New York: J. Willey, 1977. p.128-147.

ANDRIOLI, I. **Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média**. 1986. 85p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

ANTUNES, J.F.G.; AZANIA, C.A.M.; AZANIA, A.A.P.M. **Impactos ambientais das queimadas de cana-de-açúcar**. Disponível em: [http://www.grupocultivar.com.br/sistema/uploads/artigos/27-01\\_gc\\_cana.pdf](http://www.grupocultivar.com.br/sistema/uploads/artigos/27-01_gc_cana.pdf). Acesso em: 10 abr. 2014.

AZEREDO, D.F.; MANHÃES, M. S. Adubação orgânica. In: Orlando Filho, J. (ed.). **Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil**. **IAA/Planalsucar**, p.227-264, 1983.

BALL-COELHO, B. et al. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in northeastern. **Brazilian Agronomy Journal**, v.85, p.1004-1008, 1993.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.599-607, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A., et al. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BLAIR, N. Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.55, n.1, p.183-191, 2000.

BRAIDA, J.A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRAUNACK, M.V.; ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, v.89, p.103-121, 2006.

BRITO, F.L.; ROLIM, M.M.; PEDROSA, E.M.R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Supl), p. 52-56, 2005.

BUENO, P.C. et al. Impacts caused by the addition of wine vinasse on some chemical and mineralogical properties of a Luvisol and a Vertisol in La Mancha (Central Spain). **Journal Soil Sediments**, v.9, p.121-128, 2009.

BURGER, J.A.; KELTING, D.L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **Forest Ecological Management**, v.122, p.155-166, 1999.

BUZOLIN, P.R.S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997. 98 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J. M.A.S.; GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. **Instituto Agrônomo**, Campinas, n.76, 1983.

CAMBUIM, F.A. **A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso**. 1983. 133p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CAMILOTTI, F. et al. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.3, p.738-747, 2006.

CANELLAS, L.P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.935-44, 2003.

CANTARELLA, H. Aplicação de nitrogênio em sistema de cana-crua. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.16, n.1, p.21-22, 1998.

CARVALHO, J.M. et al. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.1, p.1-9, 2013.

CAVALIERI, K.M.V. et al. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1541-1549, 2011.

CEDDIA, M.B. et al. 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, n.8, p.1467-1473, 1999.

CERRI, C.C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta

anos com cana-de-açúcar. **Cahiers Orstom, série Pédologie, Bondy**, v.26, n.1, p.37-50, 1991.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, terceiro levantamento**. Brasília, dez. 2013.

COOPERSUCAR. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica. Piracicaba, 1978. 66p. (Boletim Técnico)

CUNHA, R.C.A et al. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I - physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, v.19, n.8, p.155-165, 1981.

DE SOUZA, Z.M. et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

DINIZ, K.M. **Subsídios para a gestão dos planos de aplicação de vinhaça (PAV): um estudo de caso da região de Piracicaba**. 2010. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/8278>. Acesso em: 05 mar. 2013.

ELBERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, v.75, p.529-538, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SP; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação Tecnológica. **Cana-de açúcar**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/Abertura.html>. Acesso em: 20 maio 2014a.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação Tecnológica. **Cana-de açúcar**. Disponível em: <http://www.cpao.embrapa.br/portal/artigos/artigos/artigo18.html>. Acesso em: 20 maio 2014b.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação Tecnológica. **Cana-de açúcar**. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_18\\_3112006152934.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html). Acesso em: 20 maio 2014c.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. (eds). Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, p.551-594, 2007.

FLORES, R.A. et al. Potássio no desenvolvimento inicial da soqueira de cana crua. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, n.1, p.106-111, 2012.

FREDDI, O.S. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.627-636, 2007.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. Vinhaça de cana-de-açúcar: **Agropecuária**, Guaíba, 2000. 203p.

FREITAS, P.L. et al. Propriedades físicas e químicas de um argissolo vermelho na reforma de canavial para produção de oleaginosas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32. **Anais...** 2011.

FREIXO, A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.2, p.425- 434, 2002.

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.; VILA NOVA, N.A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhicho remanescente de colheita mecânica. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.15, n.4, p.24-27, 1997.

GARBIATE, M.V. et al. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2145-2155, 2011.

GIACHINI, C.F.; FERRAZ, M.V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.3, p.1-15, 2009.

GIAROLA, N.F.B. et al. Cultivares de soja sob plantio direto em Latossolo Vermelho compactado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.641-646, 2009.

GLÓRIA, N.A. Emprego da vinhaça para fertilização. Piracicaba: **Codistil**, 1976. 31p.

GLÓRIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça como fertilizante. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38p.

GONÇALVES, D.B. A regulamentação das queimadas e as mudanças nos canaviais paulistas. São Carlos: Rima, 2002.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: Effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology Biochemical**, v.34, n.1, p.93-102, 2002.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE. D.L.; LEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. **Forest Ecology and Management**, v.38, p.173-199,1991.

JÚNIOR, R.P.; ABRAHÃO, R.F.; TERESOI, M.J.A. Concepção da célula de trabalho de equipamento de auxílio à colheita da cana-de-açúcar sob a perspectiva da

ergonomia e da segurança do trabalho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.7, p.1223-1229, 2013.

KORNDÖRFER, G.H.; OLIVEIRA, L.A. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. p.469-490.

LEITE, L.F.C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.821-832, 2003.

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

LUCA, E.F. et al. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.789-800, 2008.

MACEDO, N.M.; BOTELHO, P.S.M.; CAMPOS, M.B.S. Controle químico de cigarrinha-da-raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.21, p.30-33, 2003.

MADEJÓN, E. et al. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.84, n.1, p.55-65, 2001.

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

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-7.

NEVES, M.C.P.; LIMA, I.T.; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.131-136, 1983.

OLIVEIRA, M.W. et al. Degradação da palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.803-809, 1999.

OLIVEIRA, V.S. et al. Compressibilidade de um argissolo amarelo distrocoeso submetido s diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 435-442, 2011.

ORLANDO FILHO, J. et al. Efeitos do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. **STAB - Açúcar, Álcool Subprodutos**, v.16, p.30-34, 1998.

ORLANDO FILHO, J. et al. Efeitos da aplicação prolongada de vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar. Estudo exploratório. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.1, n.1, p.28-33, 1983.

PAULINO, V.T. et al. Crescimento e avaliação químico-bromatológica de milho cultivado em condições hidropônicas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, São Paulo, ano III, n.5, p.80-90, 2004.

PESSOA, P.M.A. et al. Frações de carbono orgânico de um latossolo húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.97-104, 2012.

PICCININ, J.L.; ESPÍNDOLA, C.R.; TORRES, E. Condições morfoestruturais e estabilidade dos agregados do solo sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: Ceplac, Cepec, 2000. v.1, p.246-247.

PIGNATARO NETO, I.T.; KATO, E. GOEDERT, W.J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1441-1448, 2009.

RAIJ, B. VAN. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RESENDE, A.S. et al. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.6, 2006.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. **Estudos Avançados**, v.24, n.68, p.255-271, 2010.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359p.

ROMERO, N.C.S. **Perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão em entre sulcos em Argissolo com resíduos de cana-de-açúcar**. 2009. 41p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira-SP.

ROSSETTO, A.J. Utilização agronômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). **Cana-de-açúcar : cultivo e utilização**. **Fundação Cargill**, v.2, p.435-504, 1987.

SENGIK, E.; RIBEIRO, A. C.; CONDÉ, A.R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.11-15, 1988.

SILVA, A.P.M.; BONO, J.A.M.; PEREIRA, F.A.R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.38-43, 2014.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V; CARVALHO, F.G. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.10, n.3, p.579-585, 2006.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, V.S.M.; LIMA, F.W.F.J. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um argissolo amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.291-299, 1998.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.275-374, 2007.

SILVA, V.L.M.M.; GOMES, W.C.; ALSINA, O.L.S. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.2, n.1, p.27-32, 2007.

SILVA, M.A.S.; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.108-114, 2007.

SISTI, C.P.J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, n.1, p.39-58, 2004.

SIX, J. et al. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

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**, Fortaleza, v.43, n.4, p.658-663, 2012.

SOUZA, Z.M. et al. 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. et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SPAROVEK, G. et al. Aptidão das terras de Piracicaba para o corte mecanizado de cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.15, p.14-17, 1997.

TASSO JUNIOR, L.C. et al. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.276-283, 2007.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciados por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.301-309, 1998.

TRIVELIN, P.C.O. et al. 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.

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

UDOP Variedades. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/geral.php>>. Acesso em: 09 ago. 2012.

UNICA. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil**. Disponível em: [http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/producao\\_etanol\\_unica.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/producao_etanol_unica.pdf). Acesso em: 10 abr. 2014.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

VIANA, E.T. et al. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2105-2114, 2011.

ZOLIN, C.A. et al. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.1, p.22-28, 2011.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.84, p.25-40, 2005.