

**VERÔNICA APARECIDA SANTOS FERREIRA**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS DE  
CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM MANUTENÇÃO DA  
COBERTURA DO SOLO, JAÍBA – MG**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Leidivan Almeida Frazão

Montes Claros - MG  
2015

F383

2015 FERREIRA , Verônica Aparecida Santos .

Atributos físicos e químicos do solo em áreas de cana-de-açúcar irrigada com manutenção da cobertura do solo, Jaíba – MG / Verônica Aparecida Santos Ferreira. Montes Claros: Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

72 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes.

Co-orientadora: Profa. Dra. Leidivan Almeida Frazão.

Banca examinadora: Fabiana Abreu de Rezende, Reginaldo Arruda Sampaio.

Inclui bibliografia: f. 55-72.

1. Solos- Qualidade. 2. Solos - Manejo. 3. Fracionamento físico. I. FERNANDES, Luiz Arnaldo. II. FRAZÃO, Leidivan Almeida. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 631.4

ELABORADA PELA BIBLIOTECA COMUNITÁRIA UNIVERSITÁRIA DO ICA/UFMG

VERÔNICA APARECIDA SANTOS FERREIRA

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS DE CANA-DE-  
AÇÚCAR IRRIGADA COM MANUTENÇÃO DA COBERTURA DO SOLO,  
JAÍBA – MG.

---

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes  
(Orientador – ICA/UFMG)

Aprovada em 9 de Julho de 2015.

Montes Claros - MG  
2015

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por se fazer presente em minha caminhada e por ser fonte de força maior, ajudando-me a superar todas as barreiras para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Edivá e Zenilda, pelo esforço, dedicação, ensinamentos e pelo amor incondicional.

Aos meus irmãos, Thereza, Edivá Juneo e Viviane, pelo apoio, incentivo e por compartilhar inúmeros momentos ao longo de minha vida.

Ao meu esposo Rafael, pelo amor, carinho, companheirismo e incentivo, para que eu pudesse ir cada vez mais longe.

Ao Hugo Costa, pela disponibilidade e assistência técnica.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram e me incentivaram.

Ao professor Dr. Luiz Arnaldo Fernandes, meu orientador, pela paciência, amizade, atenção, ensinamentos, orientações e contribuição para minha formação pessoal e profissional e também pela realização deste trabalho.

À professora Dr<sup>a</sup>. Leidivan Almeida Frazão, pela coorientação, amizade, atenção, ensinamentos e contribuição para a minha formação pessoal e profissional e também pela realização deste trabalho.

À Letícia Silva, pelos momentos de estudos, conversas e apoio durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Minas Gerais, por conceder a oportunidade, bem como a todos os professores e funcionários que contribuíram para a minha formação.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP e a toda equipe do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, pelo acolhimento e possibilidade de desenvolvimento da pesquisa.

Ao programa PROCAD, pelo custeio de despesas durante a pesquisa.

À CAPES, pelo financiamento da bolsa de estudo.

Enfim, agradeço a todos que ao longo dessa minha jornada contribuíram de forma direta ou indireta para o meu aprendizado.

Muito Obrigada!

*“Tudo é do Pai, toda honra e toda glória,  
é dele a vitória, alcançada em minha vida (...)”*

*Frederico Cruz*

## RESUMO

A substituição de áreas de vegetação nativa por áreas agrícolas pode causar diversas alterações nos atributos químicos e físicos do solo e desequilíbrios no ecossistema. O presente estudo teve como objetivo avaliar os atributos químicos e físicos do solo de áreas de cultivo de cana-de-açúcar irrigada em comparação com uma área de vegetação nativa no Norte de Minas Gerais. Foram selecionadas quatro áreas cultivadas com cana-de-açúcar – Cana 6, Cana 7, Cana 8 e Cana 10 – durante seis, sete, oito e dez anos, respectivamente, e uma área de floresta nativa próxima a essas áreas como referência. Em cada uma das áreas, foram coletadas seis amostras compostas de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, para determinação dos atributos químicos e físicos e fracionamento físico da matéria orgânica do solo. A substituição da vegetação nativa pelo cultivo de cana-de-açúcar, com a manutenção de parte da palhada sobre a superfície do solo, melhorou os atributos químicos do solo relacionados à fertilidade e contribuiu para a manutenção da estrutura do solo e das frações mais estáveis de carbono orgânico. As práticas de manejo adotadas nas áreas de cana-de-açúcar contribuíram para a manutenção da qualidade do solo em comparação à vegetação nativa.

**Palavras-Chave:** uso da terra, qualidade do solo, fracionamento físico, carbono, manejo do solo.

## ABSTRACT

The replacement of native vegetation areas by crops can cause several changes in chemical and physical attributes and imbalances in the ecosystem. This study aimed to evaluate the soil chemical and physical attributes of sugarcane irrigated crops compared to a native vegetation in the North of Minas Gerais State. Were selected four irrigated sugarcane crops – Cane 6, Cane 7, Cane 8 and Cane 10 – with six, seven, eight and ten years of cultivation, respectively, and a native vegetation area next to the sugarcane crops, as a reference. In each area were collected six composite soil samples at 0-10, 10-20 and 20-30 cm deep, for determination of chemical and physical attributes and physical fractionation of soil organic matter. The replacement of native vegetation by sugarcane crops, with maintenance of part of the straw on the soil surface, improved the chemical attributes related to fertility and contributed to the maintenance of the soil structure and the more stable carbon organic fraction. The soil management practices adopted in the sugarcane crops contributed to the maintenance of soil quality when compared to the native vegetation.

**Keywords:** land use, soil quality, physical fractionation, carbon, soil management.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1 - Histórico de utilização das áreas de estudo. ....28
- FIGURA 2 – Representação esquemática do processo de fracionamento físico da matéria orgânica do solo .....32
- FIGURA 3 - Teor de C orgânico total de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar e de vegetação nativa (VN) em diferentes profundidades. Barras indicam o intervalo de confiança das médias ( $p=0,95$ ). .....48
- FIGURA 4 – Contribuição em porcentagem de diferentes frações do solo no teor de C Total no solo. ....51
- FIGURA 5 - Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo os atributos físicos e químicos: (teores de areia e argila; densidade do solo, porosidade total; teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, zinco e boro disponíveis, teores de carbono orgânica total; fração da matéria orgânica livre, fração areia e a fração associada a silte+argila de carbono orgânico, da camada de 0 a 10 cm de profundidade) dos solos das áreas de vegetação nativa (VN), cana 6 anos (Cana 6), cana 7 anos (Cana 7), cana 8 anos (Cana 8) e cana 10 anos (Cana 10). .....53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Textura (areia, silte e argila), densidade do solo (ds) e de partículas (dp) e porosidade total (pt), em três camadas de profundidade em diferentes áreas cultivadas com cana-de-açúcar e de vegetação nativa (vn). (Continua).....	36
TABELA 1 – Textura (areia, silte e argila), densidade do solo (ds) e de partículas (dp) e porosidade total (pt), em três camadas de profundidade em diferentes áreas cultivadas com cana-de-açúcar e de vegetação nativa (vn). (Conclusão).....	37
TABELA 2 - Valores de pH, fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V) em diferentes profundidades do solo dos sistemas avaliados. (Continua).....	40
TABELA 2 - Valores de pH, fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V) em diferentes profundidades do solo dos sistemas avaliados. (Conclusão).....	41
TABELA 3 – Teores dos micronutrientes boro (Bo), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nos diferentes sistemas avaliados nas respectivas profundidades.....	45
TABELA 4 – Frações de matéria orgânica livre (FLL), do tamanho da fração areia (F-areia) e do silte e argila (F-silte e argila) e carbono orgânico total (COT) nas áreas de vegetação nativa (VN) e de cultivo da cana-de-açúcar em diferentes profundidades.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C – Carbono

Ca – Cálcio

CB – Comunidade Biológica

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura

C<sub>eq</sub> – Carbono equivalente

CO – Carbono orgânico

COI – Carbono Orgânico Intermediário

COM – Carbono Complexo Organomineral

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

COP – Carbono Orgânico Particulado

COS – Carbono Orgânico do Solo

CU – Cobre

DA – Densidade Aparente

Dp – Densidade de Partículas

Ds – Densidade do Solo

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

F-areia – Fração Areia

Fe – Ferro

FFMOS – Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo

FLL – Fração Leve Livre

F-silte + argila – Fração silte + argila

H – Hidrogênio

K – Potássio

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

MO – Matéria Orgânica

MOL – Matéria Orgânica Livre

MOS – Matéria Orgânica do Solo

N – Nitrogênio

O – Oxigênio

P – Fósforo

PD – Plantio Direto

pH – Potencial hidrogênico

PT – Porosidade Total

QS – Qualidade do Solo

S – Enxofre

TFSA – Terra fina seca ao ar

USP – Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

1	.....INTRODUÇÃO GERA.....	12
2	..... REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Sistemas de manejo da cana-de-açúcar.....	15
2.2	Manejo e atributos físicos do solo.....	19
2.3	Manejo e atributos químicos do solo.....	21
3	..... MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4	..... RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5	..... CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças de uso das terras e as diferentes práticas de manejo das culturas podem provocar alterações significativas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. No Brasil, grandes áreas de florestas nativas foram desmatadas para o monocultivo de diversas espécies de interesse agrícola, dentre elas a cana-de-açúcar (*Saccharum* sp). No Brasil, grandes extensões de terra estão sendo cultivadas com cana-de-açúcar, principalmente para a produção de etanol, de modo que o país se tornou o maior produtor mundial dessa cultura.

As modificações de ambientes naturais para áreas agrícolas podem promover um desequilíbrio no ecossistema em função do mau uso do solo e das alterações na dinâmica da matéria orgânica (COSTA et al., 2008). O manejo do solo pode diminuir, manter ou até aumentar os teores de matéria orgânica e os estoques de carbono nas áreas agrícolas. As alterações na dinâmica da matéria orgânica afetam diretamente a temperatura, a umidade e a quantidade e diversidade de microrganismos do solo, que são responsáveis pelo processo de ciclagem de nutrientes.

A região Norte do Estado de Minas Gerais é conhecida como semiárido mineiro, caracterizado por elevadas temperaturas (mínima superior a 18 °C) e pela má distribuição de chuvas ao longo do ano, restringindo o uso das terras para a agricultura. A precipitação média anual fica em torno de 900 mm, com períodos de déficit hídrico e chuvas irregulares que ocorrem entre os meses de outubro a abril.

A utilização de sistemas de irrigação nessa região tem sido uma solução viável para a produção agrícola. Recentemente, áreas representativas de cana-de-açúcar foram implantadas nessa região, cuja finalidade é a produção de etanol. Nesse contexto, a irrigação representa uma revolução na tecnologia de produção de cana-de-açúcar, pois, além de aumentar a produtividade, eleva a longevidade do canavial. Entretanto, as condições locais de solo e clima, aliadas ao manejo com irrigação e aplicação de corretivos da acidez e fertilizantes minerais solúveis, podem levar a uma rápida decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, alterar significativamente a dinâmica do carbono orgânico do solo em curto período de tempo.

Além disso, o monocultivo da cana-de-açúcar provoca uma série de alterações ambientais, como redução da biodiversidade; compactação do solo em virtude do tráfego pesado de máquinas; problemas de doenças, pragas e plantas daninhas sem controle; aumento da emissão de gases do efeito estufa (GEE), em função das queimadas durante o período da colheita; erosão do solo; decréscimo do teor de matéria orgânica (MO); degradação do solo e a consequente queda na produtividade, devido ao desbalanceamento das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

No caso específico da cana-de-açúcar para a produção de etanol, em que grandes áreas devem ser cultivadas para tornar a atividade tecnicamente e economicamente viável, os cultivos devem ser em grandes áreas contínuas. Para amenizar os impactos desses monocultivos, nos últimos anos a colheita da cana-de-açúcar, que era realizada posteriormente à queima das folhas, está sendo substituída por processo sem queima. A colheita mecanizada, sem queima, reduz os custos de renovação do canavial, melhora a reciclagem e a liberação de nutrientes de forma gradual, em função da decomposição da palhada deixada sobre a superfície, reduz perdas de nutrientes e a emissão de fuligem e gases lançados pela queima da palhada (CANELLAS et al., 2003).

Recentemente, estudos demonstraram que milhões de toneladas de carbono equivalente ( $C_{eq}$ ) deixaram de ser lançadas na atmosfera em função do uso do etanol como combustível para os automóveis. Além disso, o etanol pode ser considerado uma fonte de energia renovável, pois o carbono (C) que é lançado para a atmosfera pela queima desse combustível pode ser utilizado pela própria cana-de-açúcar no processo de fotossíntese no próximo ciclo, assim a cultura tem grande potencial para sequestrar o C da atmosfera, sendo esse aspecto de grande importância na diminuição do efeito estufa. Outra forma de contribuir para a redução do efeito estufa é que o C que seria emitido durante a queima da palhada pode permanecer no solo, incorporado na matéria orgânica.

Dessa forma, visando melhorar a qualidade do solo, devem-se empregar manejos adequados a fim de obter uma produção mais sustentável. Uma das estratégias utilizadas para avaliar alterações do solo em decorrência do tipo de uso e

de técnicas de manejo é a comparação de atributos do solo manejado com os de solo não manejado sob vegetação natural (BARROS & COMERFORD, 2002 apud ALVAREZ et al 2002; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos do solo de áreas de cultivo de cana-de-açúcar irrigada em comparação com uma área de vegetação nativa no Norte de Minas Gerais.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sistemas de manejo da cana-de-açúcar

O Brasil se destaca mundialmente como o maior produtor de cana-de-açúcar, uma das mais importantes matérias-primas para a fabricação do etanol, fazendo com que o país se destaque no mercado mundial de biocombustíveis. Em função do crescimento da demanda interna e externa do etanol direcionado por interesses econômicos, ambientais e políticos, há atualmente uma expansão significativa na área agrícola ocupada com cana-de-açúcar (WALTER et al., 2008).

O Estado de São Paulo possui cerca de 51,7% (4.687,6 mil hectares) de área plantada com cana-de-açúcar, sendo o maior estado produtor, seguido por Goiás com 9,8% (891,6 mil hectares), Minas Gerais com 8,9% (808 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,5% (682,3 mil hectares), Paraná com 6,8% (620, 1 mil hectares), Alagoas com 4,3% (386 mil hectares) e Pernambuco com 3% (276,3 mil hectares). A estimativa de produção brasileira para a safra 2015/16 é de 654,6 milhões de toneladas de cana, em pouco mais de 9 milhões de hectares com produtividade média de 72.170 kg/ha (CONAB, 2015).

Para atingir as metas nacionais de produção, consumo e exportação de etanol, previstas para 2020, a área de cultivo com cana-de-açúcar deverá atingir o expressivo patamar de 19 milhões de hectares (BRASIL, 2008; CERRI et al., 2010). Dessa forma, novas áreas terão de ser incorporadas ao cultivo de cana-de-açúcar.

A mudança no uso da terra, de áreas de vegetação nativa para agricultáveis, independentemente da cultura, promove uma redução nos teores de matéria orgânica no solo (LAL, 2002 apud ROSSETTO et al., 2008), afetando os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Da mesma forma, o emprego de práticas inadequadas de manejo do solo por longos anos pode ocasionar inúmeros prejuízos, como, por exemplo, a redução da sua fertilidade, exposição do solo, favorecendo processos erosivos, redução de suas reservas minerais e orgânicas, podendo até deixá-lo inapto para o cultivo (ANDRADE, 1982).

Em sistemas convencionais de cultivo, ocorre inicialmente o preparo do solo, no qual há o seu revolvimento, que promove a descompactação das camadas superficiais. Por ocasião do preparo do solo se faz, quando necessário, a incorporação de corretivos da acidez. Na época do plantio ou do pré-plantio, dependendo do manejo adotado, faz-se a aplicação dos fertilizantes minerais. Essas práticas contribuem para a exposição da matéria orgânica do solo, para o aumento da aeração e favorecem a atividade microbiana do solo e, conseqüentemente, a mineração do carbono orgânico.

Em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, a matéria orgânica é ainda influenciada pela forma de colheita. Em sistema em que se realiza a queima das folhas para facilitar a colheita manual, há redução dos teores de matéria orgânica do solo e aumento das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, contribuindo para o aumento do aquecimento global (FEARNSIDE et al., 2009; RIGHI et al., 2009; SOUZA et al., 2005).

Durante o processo de queima da fitomassa da cana-de-açúcar, são liberados diversos gases para a atmosfera. De acordo com Arbex (2001), para cada tonelada de cana são emitidos 0,0005 t de  $N_2O$  (óxido nitroso), 0,028 t de CO (monóxido de carbono) e 0,006 t de HFCs (hidrofluorocarbonetos). Esses gases e outros, como  $CH_4$  (metano),  $O_3$  (ozônio) e o  $CO_2$  (dióxido de carbono), que são liberados durante a queima da palha da cana-de-açúcar, são considerados os principais gases do efeito estufa (GEE).

Em virtude desses aspectos, tem-se buscado práticas mais sustentáveis de cultivo e manejo dos solos para que ocorra o mínimo de perturbações ao meio ambiente. Dentre as alternativas, tem-se o emprego de práticas conservacionistas, em que o revolvimento do solo é mínimo e há conservação de parte dos resíduos depositados sobre a superfície do solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e uma maior cobertura do solo. Entretanto, de acordo com Conde & Donzelli (1997), a deposição da palhada eleva os custos com o preparo do solo em 30%, devido à necessidade de máquinas adequadas para esse tipo de sistema. Apesar disso, os benefícios de conservar a palha sobre o solo são inúmeros, dentre os quais pode-se citar a maior aeração e infiltração de água no solo, a proteção do solo, a ciclagem e a

liberação gradual de nutrientes (CANELLAS et al., 2003), uma maior economia na água de irrigação (ANDRADE et al., 2002).

A quantidade de palha deixada sobre a superfície do solo irá depender de alguns aspectos, como a eficiência da colhedora, o estágio da cultura, entre outros fatores, e em média é de 15 t/ha/colheita, distribuídas em uma camada de 10 a 12 cm de espessura sobre a superfície do solo (CAMPOS, 2003). Segundo Trivelin et al. (1996), a quantidade de palha pode chegar até 30 t/ha/colheita em sistemas em que a colheita é realizada sem queima.

O foco de diversos estudos tem se voltado para o cultivo da cana-de-açúcar, pelo seu grande potencial em retirar da atmosfera e incorporar na sua fitomassa grande quantidade de CO<sub>2</sub>, que chega a ser cerca de 100 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que equivale a 30 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C (SILVA – OLAYA et al., 2013).

A grande capacidade da cana-de-açúcar para fixar CO<sub>2</sub> está relacionada com a sua fisiologia. A cana é uma gramínea com metabolismo C<sub>4</sub>, ou seja, conta com um processo enzimático adicional de fixação de CO<sub>2</sub> da enzima PEP carboxilase, que possui alta afinidade pelo CO<sub>2</sub>. Além disso, a palha apresenta alta relação Carbono/Nitrogênio (C/N), em torno de 80/1 (LYNCH, 1986 apud CAMPOS, 2003). De acordo com Moreira & Siqueira (2006), em materiais cuja relação C/N é acima de 20/1, o processo de decomposição é mais lento do que naqueles cuja relação é menor que 20/1.

Em algumas usinas, parte da palhada que é produzida durante a colheita da cana sem queima é conservada sobre a superfície do solo e a outra é retirada para ser utilizada nas caldeiras das próprias usinas, como fonte de energia.

A palhada conservada sobre a superfície do solo irá se decompor ao longo do tempo, e o carbono fará parte da matéria orgânica do solo. Dessa forma, o sistema passa a ser uma fonte mitigadora do efeito estufa, tanto pela redução da emissão de gases para a atmosfera, quanto pela estocagem do carbono no solo (RONQUIM, 2007).

Por outro lado, uma grande quantidade de palhada sobre a superfície do solo poderá interferir no processo de rebrota da cana soca e até mesmo aumentar a incidência de pragas e doenças nas áreas (SORDII e MANECHINI, 2013). Segundo

alguns autores, a adição de mais de 10 t/ha/ano de palhada ao solo influenciará todo o processo produtivo, como a produtividade da cana (SOUZA et al., 2005a), manejo e aplicação de fertilizantes (BASANTA, 2004; VITTI, 2003), taxas de erosão (BEZERRA & CANTALICE, 2006), dinâmica da matéria orgânica (SZAKÁCS, 2006; GALDOS, 2007) e emissão de CO<sub>2</sub> pelo solo (CAMPOS, 2003).

Com o aumento da demanda por etanol e do valor das terras em regiões tradicionais de cana-de-açúcar, como as do Estado de São Paulo, nos últimos anos tem-se verificado a expansão do cultivo em áreas marginais, devido à irregularidade das precipitações pluviométricas. Nesse novo cenário, tem-se utilizado a irrigação dos canaviais por pivô central, o que representa uma revolução na tecnologia de produção da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2002). De acordo com Teodoro et al. (2009), a má distribuição de chuva ao longo do tempo afeta o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

A irrigação, além de permitir a incorporação de áreas marginais ao processo produtivo, aumenta a produtividade e eleva a longevidade dos canaviais (OLIVEIRA et al., 2002; COELHO et al., 2002). A demanda por água da cana-de-açúcar é função do ciclo de produção da cultura, da variedade, da quantidade de água disponível e do clima, entre outros fatores (SCARDUA & ROSENFELD, 1987).

No entanto, se o monocultivo da cana-de-açúcar provoca alterações na dinâmica do carbono do solo, a utilização da irrigação poderá aumentar a velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, alterar significativamente a dinâmica do carbono orgânico do solo em curto período de tempo. Por outro lado, fatores como a maior produção de fitomassa em canaviais irrigados, a colheita sem queima e a conservação de parte da palhada sobre a superfície do solo, o plantio com ou sem mínimo revolvimento do solo poderão contribuir para a manutenção ou elevação dos teores de carbono do solo.

## 2.2 Manejo e atributos físicos do solo

A avaliação e a conservação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas por meio dos atributos físicos se caracterizam como um importante meio de avaliar a qualidade do solo (REICHERT et al., 2003). De acordo com Araújo et al. (2004) e Viana et al. (2011), a avaliação das propriedades físicas bem como dos impactos dos sistemas de uso e manejo do solo são de grande importância para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. Diversos são os parâmetros para avaliar a qualidade do solo (QS), e para os autores Doran & Parkin (1994), os atributos físicos como textura, densidade do solo, porosidade do solo, entre outros, são importantes meios de quantificar a QS, além dos atributos químicos e biológicos.

A estrutura do solo pode ser afetada de acordo com o manejo dado ao mesmo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008; CASTRO FILHO, 2002), já a textura é uma característica do solo que representa as proporções das frações areia, silte e argila, não sendo modificada pelo manejo (KLEIN, 2008). A alteração de áreas sob condições nativas para áreas agrícolas promove modificações severas que ocasionam a degradação física dos solos (ARAÚJO et al., 2007), no entanto isso dependerá das características do solo, do tipo de manejo empregado e também das condições climáticas (GIAROLA et al., 2007). Em sistemas de cultivo intensivo, as alterações nos atributos físicos do solo ocorrem de forma mais intensificada, promovendo aumento da densidade do solo, da resistência à penetração das raízes – e, conseqüentemente, redução do volume de poros – e da taxa de infiltração de água (BEUTLER et al., 2001).

Os sistemas agrícolas, caso não sejam bem manejados, podem trazer inúmeros prejuízos ao ecossistema, incluindo a degradação (ALVARENGA & DAVIDE, 1999; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Um dos elementos desse processo é a degradação física do solo, em geral associada às perdas de matéria orgânica e da integridade estrutural dos solos, que, em virtude dessa degradação, promove mudanças nas propriedades do solo responsáveis por processos importantes relacionados com a dinâmica da água, ar e calor (FEDDEMA, 1998 apud VIANA et al., 2011).

Em áreas em que ocorre o cultivo intensivo, o preparo do solo visa principalmente melhorar as condições para que as culturas se desenvolvam, no entanto essas práticas de manejo podem pulverizar o solo, favorecendo processos erosivos na área e, conseqüentemente, fazendo com que haja perda da qualidade estrutural do solo, tanto em função da redução do teor de matéria orgânica como das condições inadequadas de umidade do solo, gerando assim a compactação.

A densidade aparente (DA) ou do solo (Ds) é definida como a relação entre a massa de sólidos e o volume total que é ocupado pela massa (DIAS JUNIOR, 1996), em que é possível inferir certas propriedades do solo, como a porosidade, drenagem, permeabilidade ao ar e à água, capacidade de saturação, erodibilidade eólica. A Ds pode ser utilizada como indicadora para o plantio de algumas culturas, como, por exemplo, as espécies produtoras de raízes e tubérculos, que se desenvolvem melhor em solos pouco densos do que nos mais densos. Os valores de DS variam de 0,9 a 1,5 Mg.m<sup>-3</sup>, o que irá depender da textura do solo (KIEHL, 1979).

Casagrande (2002) afirma que a Ds fornece informações, entretanto não muito precisas, sobre a compactação ou o adensamento do solo, que podem prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular. Para Jorge (1983), além de atrapalhar o desenvolvimento do sistema radicular, deixando as raízes deformadas, ocasiona sintomas nas culturas, tais como: folhas amareladas; variação no tamanho das plantas; queda no índice de emergência; e as plantas apresentam o sistema radicular raso, em função da compactação do solo.

O solo pode compactar-se devido à ação antrópica ou por processo pedogenético. A compactação de natureza antrópica, na maioria das vezes, é causada pelo uso de máquinas, implementos agrícolas, por meio de transportes (CASAGRANDE, 2002) ou até mesmo pelo pisoteio de animais (LANZANOVA et al., 2007; SPERA et al., 2009), sendo grande parte de natureza mecânica. Segundo Corsini (apud MORAES et al., 2002), os processos pedogenéticos responsáveis pela compactação do solo, por sua vez, são: o acúmulo de argila no horizonte B provinda do A; alta densidade aparente; baixa porosidade; baixa permeabilidade; excesso de silte no horizonte B; cimentação de horizonte por agentes como sesquióxidos, sílica, húmus, e carbonatos e sulfatos de cálcio; e compactação de horizontes em função

de força exercida durante a deposição geológica. A compactação de camadas do solo pode afetar a qualidade do mesmo, além de gerar efeitos negativos na produtividade das culturas (ALBUQUERQUE et al., 2001).

Recomenda-se adicionar matéria orgânica nas suas diferentes formas (estercos animais, adubação verde, tortas vegetais, vinhaça, etc.), visando à redução dos valores de densidade aparente e aumento da porosidade, bem como a utilização de aração e gradagem com o teor de umidade ótima, que irá favorecer a formação de agregados e reduzir a densidade do solo (KIEHL, 1979). No entanto, devem-se tomar precauções quanto à origem e qualidade da matéria orgânica que será depositada no solo, pois esta pode conter elementos químicos tóxicos, como, por exemplo, metais pesados, entre outros elementos, que quando decompostos possam vir a contaminar o solo e afetar a sua qualidade (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

O plantio direto (PD) é um sistema de manejo que contribui para a redução da Ds em virtude do acréscimo de material orgânico depositado no solo, fazendo com que haja a reestruturação do solo ao longo dos anos (COSTA et al., 2003).

### **2.3 Manejo e atributos químicos do solo**

A partir da década de 1990, a comunidade científica e a sociedade em geral começaram a dar uma maior importância para a qualidade do solo (QS), a fim de alcançar uma melhoria das condições ambientais (DORAN & PARKIN, 1994).

Uma concepção para QS, segundo os autores Doran & Parkin (1994) e Karlen et al. (1997 apud MONTEIRO; PONCIANO, 2012), diz respeito à capacidade do solo de exercer uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, produtividade e diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas socioeconômicas e de habitação humana. No entanto, há necessidades de identificar parâmetros que indiquem o estado de conservação e/ou degradação do solo, para a avaliação da QS (DORAN & ZEISS, 2000 apud MONTEIRO; PONCIANO, 2012).

A QS pode ser verificada por meio da avaliação de atributos físicos, químicos e biológicos do solo (LARSON & PIERCE, 1991 apud CONCEIÇÃO et al., 2005; SANTANA & BAHIA FILHO, 1998), os quais permitam o monitoramento de possíveis mudanças a médio e longo prazo no estado de qualidade desse solo (DORAN & PARKIN, 1994).

Com a substituição de florestas nativas por sistemas agrícolas, ocorre uma série de modificações no ambiente e, com isso, provoca-se um desequilíbrio no ecossistema, afetando as propriedades físicas e químicas do solo (COSTA et al., 2008; RANGEL e SILVA, 2007) e frequentemente provocando redução nos teores de carbono do solo (ROSA et al., 2003). Para um bom desenvolvimento das culturas, um adequado manejo e práticas culturais são indispensáveis, no entanto, quando mal empregados, podem diminuir a capacidade produtiva dos solos em curto prazo (MEDEIROS et al., 2001), promovendo a sua degradação (CARNEIRO et al., 2009; SOUZA & ALVES, 2003).

Sistemas conservacionistas que promovem o acúmulo de MOS nos agrossistemas podem ocasionar, ao longo do tempo, aumento dos estoques de carbono dos solos e melhorias das propriedades químicas e físicas (MAIA et al., 2010).

Segundo Doran & Parkin (1994), é possível avaliar a relação entre o manejo e a qualidade do solo por meio das propriedades químicas. De acordo com De Maria & Castro (1993), diferentes usos e manejos do solo acarretam alterações nas propriedades químicas do solo, como pH, disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica, podendo estes serem utilizados como indicadores da qualidade do solo (BARETTA, 2007; ISLAM & WEILL, 2000 apud CONCEIÇÃO et al., 2005).

Diversas práticas agrícolas são empregadas nos solos que geralmente apresentam o pH ácido e baixa disponibilidade de nutrientes às plantas. Essas práticas visam principalmente à correção da acidez do solo, a fim de aumentar o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas (FURTINI NETO et al., 2001). Segundo Castro Filho (2002), o pH do solo afeta a atividade microbiológica dos organismos responsáveis pelo processo de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS).



De acordo com Silva et al. (2000), a MOS é formada por todos os compostos que possuem carbono orgânico no solo, compreendendo microrganismos vivos e mortos, resíduos vegetais, animais parcialmente ou totalmente decompostos. Sendo assim, é constituída por diversos compostos de carbono em diferentes graus de alteração e interação com as outras fases do solo (mineral, gasosa e solução). Basicamente, a MOS é constituída por C, H, O, N, S e P, sendo que o C corresponde a cerca de 58%, o H a 6%, o O a 33%, e N, S e P com apenas 3% cada (SILVA; MENDONÇA apud NOVAIS 2007). Conforme Jenny (1961 apud CASTRO, 1983), os fatores de formação do solo (clima, material de origem, organismos, tempo e relevo) podem influenciar no acúmulo de carbono orgânico do solo (COS). No solo, o carbono pode ser encontrado na forma inorgânica (carbonatos, bicarbonatos e dióxido de carbono) e orgânica (polissacarídeos, ácidos graxos, aminoácidos, polifenóis, etc.). Na forma orgânica, o carbono pode ser encontrado em substâncias húmicas, na biomassa dos microrganismos, em resíduos vegetais e animais em estágios de decomposição diferentes e também em materiais como carvão vegetal e mineral (YEOMANS & BREMMER, 1998 apud MENDONÇA; MATOS, 2005).

O adequado funcionamento do solo depende do importante papel desempenhado pela MOS, envolvendo os processos físicos, químicos e biológicos (LISBOA, 2009). São inúmeros os benefícios da MOS, podendo-se citar a ciclagem e a retenção de nutrientes (ROSCOE et al. 2006), ação tamponante (FURTINI NETO et al., 2001), estruturação do solo (SILVA et al., 2000), armazenamento de água (MORAES et al., 2001), fonte de energia para microrganismos heterotróficos (WOLF & SNYDER, 2003), entre outros. A redução da MOS pode interferir drasticamente nos processos que a envolvem, afetando o desempenho das funções do solo e provocando desequilíbrio nos sistemas (ROSCOE et al., 2006).

Todo o processo de decomposição da matéria orgânica que é depositada no solo, independentemente da sua origem, é realizado por organismos que habitam o solo. Esses organismos possuem grande importância em diversos processos, além da decomposição da MO. Ações antrópicas podem promover impactos nessa comunidade biológica (CB), alterando toda a dinâmica de carbono e nutrientes minerais no solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Ainda de acordo com os autores,

outros fatores, como pH, água no solo, aeração, temperatura, composição dos resíduos, podem influenciar no processo de decomposição da MO de forma direta ou indireta.

As propriedades do solo podem ser alteradas de acordo com a manutenção dos restos culturais deixados ou incorporados no mesmo, podendo afetar a sua fertilidade (MORAES et al., 2001). Conforme Moreira & Siqueira (2006), os sistemas agrícolas devem ter o máximo de aproveitamento dos restos orgânicos acessíveis na propriedade, entretanto deve-se tomar precauções para que a decomposição desses materiais não traga prejuízos para a cultura e para a qualidade do solo.

Segundo Yeomans & Bremmer (1998 apud MENDONÇA; MATOS, 2005), em solos agrícolas, o teor total de C pode variar de 0,2 a 5,0 dag kg<sup>-1</sup>. Essa variação no teor de CO do solo pode se dar em função da qualidade e composição dos resíduos orgânicos, bem como o tipo de manejo empregado. Em relação ao manejo, o revolvimento do solo e a adição de corretivos e adubos promovem alterações no solo e estimulam os microrganismos decompositores (BAYER et al., 2000). Grandes são as modificações causadas pelas práticas agrícolas na comunidade biológica, sendo que sistemas em que a mobilização do solo é mínima promovem um aumento na diversidade de organismos, principalmente nos primeiros 5 cm (ALVES et al., 2006).

Em sistemas conservacionistas, ocorre um favorecimento ao acúmulo de resíduos no solo e conseqüentemente um aumento do teor de MOS com o tempo (CANELLAS et al., 2003), com conseqüente aumento dos teores de Ca, Mg, K, P (BAYER & BERTOL, 1999) e o incremento dos estoques de carbono (C) dos solos (SMITH et al., 1997; SIX et al., 2004; MAIA et al., 2010). O processo de decomposição da palhada, bem como a dinâmica do carbono, irá depender da composição química do substrato (relação C/N, teores de celulose, hemicelulose, lignina, etc.) e de fatores ambientais, como umidade, temperatura e aeração (OLIVEIRA et al., 1999; SIQUEIRA & FRANCO, 1988).

Por outro lado, em sistemas em que ocorre o intenso revolvimento do solo, o processo de mineralização da matéria orgânica é mais intenso, diminuindo, assim, os estoques de MOS (LOSS et al., 2009; SILVA et al., 1994) e conseqüentemente os teores de carbono (C) do solo (ROSA et al., 2003). De acordo com Bayer et al.

(2000), nesses sistemas a perda de MO pode ser duas vezes maior do que em sistemas em que não ocorre o revolvimento do solo.

Sabendo da importância da matéria orgânica no solo, tem-se buscado cada vez mais técnicas de estudos para identificar e avaliar os compartimentos orgânicos da matéria orgânica do solo, sendo o fracionamento físico uma delas (CASTRO, 2008). Segundo os autores Christensen (2000) e Six et al. (2002), os métodos de fracionamentos físicos da MOS (FFMOS) são menos destrutivos e possuem maior relação com a sua função e estrutura do que os métodos químicos. Para Stevenson (1982 apud MARTIN NETO; ANDRIULO; TRAGHETTA, 1996), o método de FFMOS tem sido uma boa alternativa quando comparado aos métodos químicos convencionais, baseando-se em características de solubilidade das substâncias húmicas por meio de extração alcalina (CASTRO, 2008), sendo mais eficiente para diferenciar práticas de manejo ao longo do tempo do que os métodos químicos (NOGUEIROL et al., 2014).

Os métodos de FFMOS podem se dar por meio de métodos densimétricos – baseados na diferença de densidade – ou por métodos granulométricos – baseados na diferença do tamanho das partículas (ROSCOE & MACHADO, 2002; ROSCOE et al., 2006) –, ou utilizando a combinação de ambos os métodos (SIX et al., 1998). Esses métodos visam diminuir a heterogeneidade, dividindo a MOS em frações homogêneas em relação à dinâmica, natureza e função (CHRISTENSEN, 2000). Assim, a relevância desses métodos se dá em função da sensibilidade às condições ambientais de todo o processo da transformação da MOS (GUERRA et al., 2008).

Os procedimentos do fracionamento físico, conforme Roscoe et al. (2002), servem para relacionar a MOS com a agregação e estabilidade de agregados, e/ou quantificar os compartimentos da MOS, objetivando estudos em relação a sua dinâmica. De acordo com o uso do solo, os teores de C orgânico do mesmo podem sofrer variações, assim, por meio dos diferentes compartimentos da MOS, essas alterações podem ser quantificadas (FIGUEIREDO et al., 2010).

Sabendo do grande potencial da matéria orgânica em ser utilizada como um indicador da qualidade do solo, e da sua grande importância em diversos processos no solo, a sua quantificação por meio do fracionamento físico é de extrema

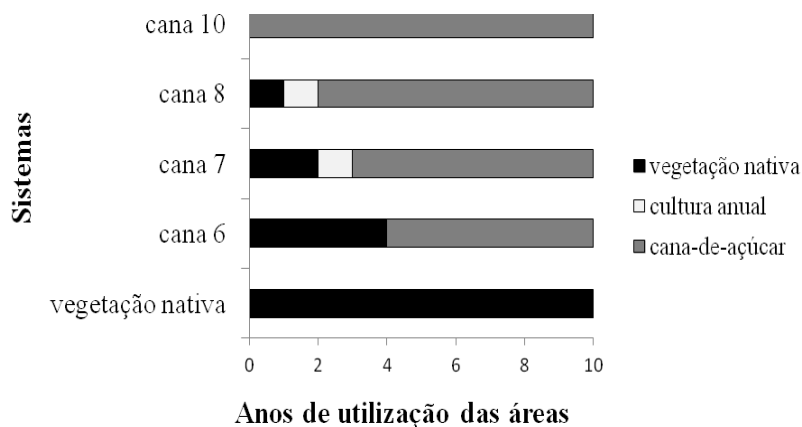
relevância, a fim de se obter mais informações para o seu estudo. Segundo os autores Christensen (1985; 1992) e Six et al. (2002), é possível a combinação entre os métodos de fracionamento físico granulométrico e densimétrico, de modo a unir informações propostas por ambos os métodos, assim, por meio do FFMOS, é possível separar o C orgânico (CO) presente nas diferentes frações da matéria orgânica. A fração da matéria orgânica livre (FLL) contém o C orgânico particulado (COP), o qual é constituído de material que sofreu pouco processo de decomposição, ainda sendo possível reconhecer suas estruturas celulares (CONCEIÇÃO et al., 2005; XAVIER et al., 2006). A fração areia possui o C orgânico intermediário (COI) de decomposição (SIGNOR et al., 2014), e a fração silte + argila contém o C orgânico em avançado grau de decomposição, na forma de C complexo organomineral (COM) (FIGUEIREDO et al., 2010; SIGNOR et al., 2014). O C presente na FLL é mais sensível às mudanças do manejo do solo, por apresentar menor tempo de reciclagem, de acordo com Souza et al. (2008), podendo ser utilizado como um parâmetro para avaliar a qualidade dos sistemas de manejo empregados no solo (FREIXO et al., 2002).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo aqui descrito foi desenvolvido em áreas cultivadas com cana-de-açúcar irrigadas por sistemas de pivô central, no perímetro irrigado do Projeto Jaíba, e em uma área adjacente com vegetação nativa, todas situadas no município de Jaíba, região Norte de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 15°11'58,29" S de latitude e 43°56'16,83" W de longitude.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (Tropical de inverno seco e verão seco), com temperatura média anual de 28 °C e precipitação pluvial média de 750 mm anuais, concentrada nos meses de novembro a janeiro (EMBRAPA, 1979). O solo das áreas de estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, horizonte A ócrico, textura média, relevo plano a suave ondulado, originado de material argiloarenoso do Terciário/Quaternário recobrimdo rochas do Grupo Bambuí (EMBRAPA, 1979). A vegetação nativa da área é caracterizada por uma transição entre Cerrado e Floresta Estacional Decidual (SCOLFORO et al., 2008). Foram selecionadas quatro áreas com cultivo irrigado de cana-de-açúcar, em função dos anos de cultivo: seis, sete, oito e dez anos. Como referência, foi selecionada uma área de vegetação nativa, adjacente aos cultivos de cana-de-açúcar, para representar a condição natural do solo. A figura 1 demonstra o histórico dos últimos 10 anos de utilização das áreas de estudo.

**Figura 1:** Histórico de utilização das áreas de estudo.



**Fonte:** Da autora, 2015.

**Nota:** Áreas com seis (cana 6), sete (cana 7), oito (cana 8) e dez (cana 10) anos de cultivo de cana-de-açúcar.

O processo de colheita da cana-de-açúcar nas áreas cultivadas com a cultura é realizado de forma mecânica, sendo deixadas sobre a superfície quantidades de palha diferentes, pois grande parte da mesma é utilizada pela própria usina para a cogeração energética complementada com o uso do bagaço da cana utilizado nas caldeiras.

O sistema Cana 6 teve a sua implantação no ano de 2009, logo após a retirada da vegetação nativa. A última colheita realizada nessa área foi no mês de novembro de 2013, deixando-se aproximadamente 20% da palhada sobre a superfície do solo. A cultivar de cana-de-açúcar utilizada na área é a RB867515.

A área implantada como sistema Cana 7 foi desmatada em 2006 e cultivada com feijoeiro e, no ano de 2007, foi implantada a cana-de-açúcar. Em 2013 o canavial foi reformado, utilizando a cultivar RB867515. Na época da coleta das amostras do presente estudo, ainda não havia sido realizado o primeiro corte do segundo cultivo da cana-de-açúcar nessa área.

A área em que foi implantado o sistema Cana 8 foi desmatada em 2006 e cultivado pimentão. Em seguida, no mesmo ano, foi implantado o canavial, que foi reformado em 2011, utilizando a cultivar RB SP801816. A colheita da cana-de-açúcar na área foi realizada em setembro de 2013, deixando-se aproximadamente 50% da palhada sobre o solo.

O sistema Cana 10 foi implantado em 2005, imediatamente após o desmatamento da vegetação nativa. A reforma do canavial ocorreu no final de 2012, e a cultivar utilizada foi a SP801842. A última colheita aconteceu em agosto de 2013, deixando-se aproximadamente 20% da palhada sobre a superfície do solo. A cultivar de cana-de-açúcar era a RB867515.

Em todas as áreas cultivadas com cana-de-açúcar, foi utilizado o preparo convencional do solo, com arações, gradagens e correção da acidez pela utilização de calcários, de acordo com os resultados da análise de solo, para elevar a saturação por bases a 60%. Em cada novo plantio de cana-de-açúcar, aplicaram-se no fundo do sulco  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , em função da baixa disponibilidade natural de fósforo dos solos. As fontes de fósforo foram sempre fertilizantes formulados NPK, variando, ao longo dos anos, a proporção de N e K das fórmulas utilizadas. As complementações de adubação com nitrogênio e potássio foram feitas via fertirrigação, de modo a aplicar em média, dependendo do desenvolvimento das plantas,  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , na forma de uréia e cloreto de potássio, respectivamente. Após cada corte, na adubação da soqueira, aplicavam-se  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , utilizando geralmente o adubo formulado NPK 20-05-20.

A irrigação das áreas é feita por meio de sistema de pivô central. A água utilizada é captada de canais do Distrito de Irrigação de Jaíba (DIJ) proveniente do rio São Francisco. O manejo da irrigação das áreas é realizado ao longo de pelo menos 10 meses por ano, distribuindo-se regularmente, entre os meses de fevereiro a novembro, uma taxa média de 800 a 1.000 mm de água nesse período nas áreas.

A amostragem foi realizada por meio de abertura de minitrincheiras para a coleta de amostras nas camadas de 0-10, 10-20 e 20 a 30 cm de profundidade, em janeiro de 2014. Para a análise de densidade do solo, foram coletadas amostras

indeforçadas em cada camada, utilizando-se de anéis volumétricos. Em cada área de estudo e camada de solo, foram coletadas seis amostras compostas. As amostras compostas das áreas com cultivo de cana-de-açúcar foram coletadas na linha e na entrelinha de plantio. Após secagem ao ar, as amostras foram passadas em peneiras de malha de 2 mm para obtenção da TFSA.

Para a determinação química e física dos solos, utilizou-se a metodologia proposta por Embrapa (1997). De acordo com essa metodologia, o pH foi determinado em água, o Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, o P, K extraídos pelo Mehlich<sup>1</sup> (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), e a acidez potencial (H+Al), determinada pelo método do acetato de cálcio. A textura foi determinada pelo método da pipeta, a densidade do solo, por meio de amostras indeforçadas pelo método do anel volumétrico, e a densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico. O volume total de poros foi calculado em função da densidade do solo e de partículas, de acordo com a seguinte expressão:

$$Pt = 100\left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) \quad (1)$$

Onde: Pt = porosidade total; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partícula

A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada em duplicatas e em todas as profundidades. As amostras foram secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneiras de 2 mm, posteriormente moídas manualmente e passadas em peneira com abertura de 150 mesh, e analisadas por combustão seca em analisador elementar LECO CN-412, no laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA-USP).

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo foi realizado por meio de modificações da metodologia proposta por Christensen (1985; 1992), em que os tamanhos das partículas são separados por dispersão, peneiramento úmido e sedimentação. As amostras foram passadas em peneira de malha de 2 mm, pesando-se 20 g de amostra e colocando-se em frasco de vidro, sendo então

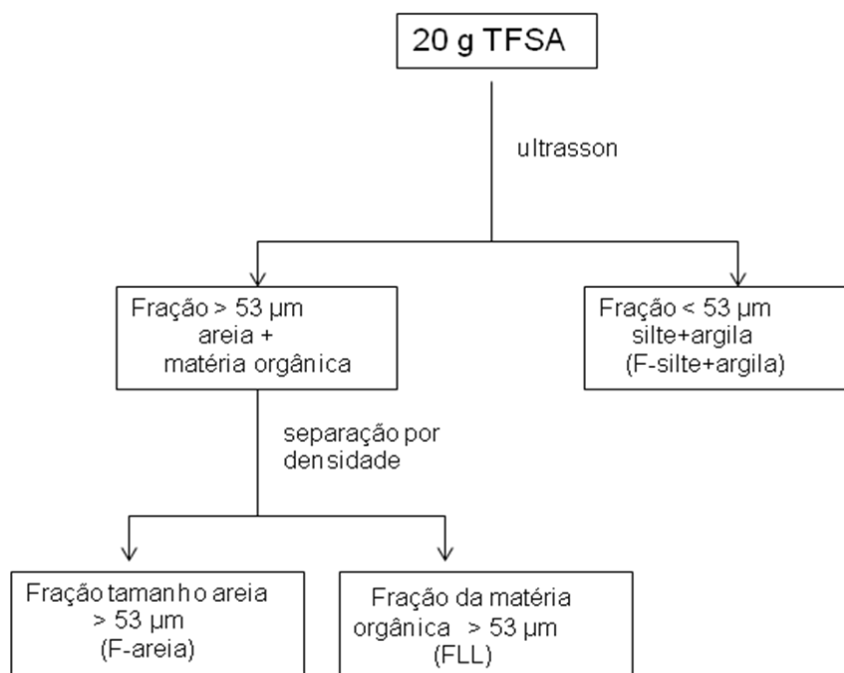


adicionados 70 mL de água deionizada. Em seguida, as amostras foram levadas para câmara fria (5 °C), onde permaneceram por duas semanas. Após o período, as amostras foram sonificadas com o auxílio de aparelho de ultrassom por 15 minutos, com amplitude de 70%.

As amostras dispersas foram passadas em peneira de 53 µm. O material que ficou retido na peneira (> 53 µm) foi então transferido para um cadinho, adicionando-se água deionizada e fazendo-se movimentos de garimpagem para separar a matéria orgânica livre (FLL) da fração areia, sendo essa separação realizada por densidade. A fração da matéria orgânica livre (FLL) contém o carbono (C) na forma de C orgânico particulado (COP), que é um material que não se encontra aprisionado nos agregados do solo, sendo composto por resíduos parcialmente decompostos. A fração areia (F-areia) contém o C orgânico denominado de intermediário (COI) de decomposição. O material que passou pela peneira de 53 µm corresponde ao C orgânico do solo que se encontra em estágio avançado de decomposição e está na forma de C complexo organomineral (COM) associados às frações do tamanho silte e argila (F-silte+argila) (FIG. 2). Os materiais FLL e F-areia foram colocados em pequenas formas de alumínio, e o F-silte+argila foi deixado no refratário de vidro.

Após a separação da amostra em três subamostras, estas foram levadas à estufa de circulação e renovação de ar a 40 °C, por aproximadamente 24 horas – para as frações FLL e F-areia – e 96 horas – para F-silte+argila. Depois de secas, as subamostras foram pesadas, moídas a 100 mesh com o auxílio de um cadinho de porcelana e, posteriormente, realizada a determinação do teor de C por meio de combustão (via seca) utilizando o equipamento Leco CN 412.

**Figura 2** – Representação esquemática do processo de fracionamento físico da matéria orgânica do solo



**Fonte:** Da autora, 2015.

Para cada variável foram calculados a média e o intervalo de confiança estimado pelo teste de t de Student a 5% de probabilidade. Considerando-se ainda a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas para verificar semelhanças entre os manejos, na tentativa de agrupá-los usando-se os atributos físicos e químicos. Foi realizada a análise de agrupamento por método hierárquico, usando-se a distância euclidiana como medida de semelhança entre os registros e o método de Ward, como estratégia de agrupamento. O objetivo dessa análise foi classificar as áreas de estudo, a fim de verificar se as práticas de manejo e os anos de cultivo de cana-de-açúcar têm contribuído para a manutenção dos

atributos físicos e químicos do solo em comparação com o solo da área de vegetação nativa.

O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma), que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos ambientes com as variáveis analisadas. As variáveis utilizadas para essa análise foram: teores de areia e argila; densidade do solo, porosidade total; teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, zinco e boro disponíveis, teores de carbono orgânica do solo (MOS), frações da matéria orgânica livre (FLL), carbono orgânico associado às frações areia (F-areia) e silte+argila (F-silte+argila), da camada de 0 a 10 cm de profundidade.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 1 a seguir, em todas as áreas estudadas, verificou-se uma tendência de aumento dos teores de argila com a profundidade do solo. No presente estudo, o teor de argila foi 1,50, 1,33, 1,67, 1,33 e 1,20 vezes maior na camada de 20 a 30 cm de profundidade quando comparada à camada superficial de 0 a 10 cm, respectivamente para os sistemas Cana 6, Cana 7, Cana 8, Cana 10 e VN. De acordo com Silva et al. (2005), a eluviação de argila das camadas superficiais para as subsuperficiais do solo é um processo natural que pode ser aumentado pelo cultivo, devido às modificações na estrutura do solo que conferem maior grau de dispersão em relação às condições originais do mesmo. Segundo os autores, essa migração de argila para as subsuperfície e a pressão exercida pelas camadas superficiais podem provocar, ao longo do tempo, mudanças significativas nas propriedades físicas, comprometendo a penetração do sistema radicular das plantas.

O maior teor de argila nas camadas subsuperficiais não tem contribuído para a maior densidade do solo ( $D_s$ ) nas áreas cultivadas, enquanto que na vegetação nativa a densidade foi maior na camada de 20 a 30 cm de profundidade (TAB. 1). Possivelmente, nas áreas manejadas as práticas de preparo do solo e a deposição superficial da palhada da cana têm contribuído para melhorar a estrutura do solo na camada superficial (0 a 10 cm) quando comparada às camadas mais profundas. Resultados semelhantes foram observados para a porosidade total, uma vez que não houve diferenças significativas para a densidade de partículas. Vale ressaltar que, no presente estudo, a porosidade total (PT) foi estimada em função da densidade do solo e de partículas.

Em relação aos sistemas de manejo, observaram-se, de modo geral, menores valores  $D_s$  nas camadas mais superficiais da VN e nas camadas de 10 a 20 e 20 a 30 cm do sistema Cana 8. Na área de VN, esses resultados podem ser explicados pela ausência de tráfego de máquinas, e na área de Cana 8, pela manutenção de 50% da palhada na superfície do solo, por ocasião da colheita da cana, e devido ao fato de que a última reforma do canavial foi em 2011, visto que a coleta das amostras

foi feita em 2014. No sistema Cana 6, embora o atual canavial tenha sido implantado em 2009, apenas 20% da palhada foram mantidos sobre a área na época da colheita. No caso dos sistemas Cana 7 e Cana 10, os atuais canaviais foram renovados em 2013 e 2012, respectivamente, de modo que o preparo do solo e o baixo acúmulo de resíduos estão contribuindo para os maiores valores de Ds e menores de PT.

Pode-se inferir, com base nessas informações, que nos sistemas estudados os resíduos da colheita da cana deixados sobre a superfície do solo conferem maior proteção contra compactação e favorecem uma maior porosidade ao solo. De acordo com Souza et al. (2005), a PT sob o sistema de cana crua cultivada em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, avaliada até a camada de 30 cm de profundidade, foi maior do que em sistemas em que se faz a queima do canavial para a colheita manual. Centurion et al. (2007) observaram valores semelhantes de PT no solo sob mata nativa e na cana planta, entretanto os valores obtidos na mata foram superiores ao da cana crua de 2<sup>o</sup> ano e do 4<sup>o</sup> ano no Estado de São Paulo. Wendling et al. (2005) confirmam que a maior deposição de resíduos orgânicos irá favorecer o aumento da porosidade no solo.

**Tabela 1** - Textura (areia, silte e argila), densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp) e porosidade total (PT), em três camadas de profundidade em diferentes áreas cultivadas com cana-de-açúcar e de vegetação nativa (VN).

(Continua)

Sistemas **	Prof	Areia	Silte	Argila
	cm		-----g kg <sup>-1</sup> -----	
<b>Cana 6</b>	0-10	78aA*	10aA	12abB
	10-20	80aA	8aA	12bB
	20-30	70bB	12aA	18aA
<b>Cana 7</b>	0-10	82aA	10aA	8bA
	10-20	86aA	8aA	6cA
	20-30	86aA	6aA	8bA
<b>Cana 8</b>	0-10	78aA	10aA	12abB
	10-20	78bA	8aA	14bB
	20-30	72bA	8aA	20aA
<b>Cana 10</b>	0-10	86aA	8aA	6bcA
	10-20	86aA	8aA	6cA
	20-30	84aA	8aA	8bA
<b>VN</b>	0-10	72bA	12aA	16aB
	10-20	70cbA	10aA	20aB
	20-30	66cA	10aA	24aA

**Tabela 1** - Textura (areia, silte e argila), densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp) e porosidade total (PT), em três camadas de profundidade em diferentes áreas cultivadas com cana-de-açúcar e de vegetação nativa (VN)

Sistemas**	Prof	Ds	Dp	PT
	----cm----	-----kg dm <sup>-3</sup> -----		%
Cana 6	0-10	1,37 aA*	2,63 aA	48,3 bB
	10-20	1,24 aA	2,64 aA	53,21 bA
	20-30	1,35 aA	2,61 aA	48,28 bB
Cana 7	0-10	1,34 aA	2,61 aA	49,24 bA
	10-20	1,30 aA	2,62 aA	50,38 bA
	20-30	1,26 aA	2,63 aA	52,09 bA
Cana 8	0-10	1,26 bA	2,54 aA	50,39 bB
	10-20	1,08 bB	2,55 aA	57,65 aA
	20-30	1,14 bB	2,55 aA	55,29 aA
Cana 10	0-10	1,37 aA	2,69 aA	49,07 bB
	10-20	1,27 aA	2,64 aA	52,08 bA
	20-30	1,35 aA	2,60 aA	47,88 bB
VN	0-10	1,10 bB	2,57 aA	57,20 aA
	10-20	1,05 bB	2,59 aA	59,46 aA
	20-30	1,19 bA	2,60 aA	54,05 aB

\*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna referem-se à comparação dentro do tratamento, e minúsculas entre as áreas nas respectivas profundidades, não diferem entre si pelo teste t de Student 5% de probabilidade. (continua)

\*\*Vegetação Nativa (VN) e áreas com seis (cana 6), sete (cana 7), oito (cana 8) e dez (cana 10) anos de cultivo de cana-de-açúcar.

Fonte: Da autora, 2015

Outros autores também verificaram menores valores de densidade do solo em áreas de vegetação nativa em comparação a áreas cultivadas (PORTUGAL et al., 2008; MATIAS et al., 2009; CENTURION et al., 2007; SILVA et al., 2013). De modo geral, na ausência de manejo do solo, os maiores teores de matéria orgânica e a maior diversidade biológica contribuem para menores valores de densidade e porosidade do solo (ASSIS & LANÇAS, 2005; GAMA-RODRIGUES, 2008a; SANTOS et al., 2010). Por outro lado, em solos adequadamente manejados, não tem se verificado diferenças significativas para a densidade de solo ao longo do tempo (CARNEIRO et al., 2009; SILVA et al., 2011), enquanto que, em sistemas de cultivo intensivo com grande tráfego de máquinas agrícolas, a densidade pode aumentar significativamente (SOUZA et al., 2005a; LUCA et al., 2008).

De acordo com Braida et al. (2006), o acúmulo de matéria orgânica no solo pode inclusive reduzir sua densidade original, uma vez que o material orgânico é eficiente para absorver parte da energia que promove a compactação proveniente do trânsito de máquinas e animais. No entanto, os autores ressaltam que essa redução dependerá da quantidade de resíduos depositada e da energia aplicada.

Nos últimos anos a avaliação da densidade do solo tem sido bastante utilizada como um eficiente indicador da qualidade do solo, uma vez que está diretamente relacionada com a porosidade, infiltração de água, escoamento superficial de água, crescimento do sistema radicular das plantas e absorção de nutrientes e, conseqüentemente, com a produtividade dos sistemas (AZEVEDO et al., 2007; LUCIANO et al., 2012). De acordo com Corsini & Ferraudo (1999), valores de densidade do solo superiores a  $1,75 \text{ kg dm}^{-3}$  são considerados críticos para o crescimento das raízes da maioria das culturas. Dessa forma, pode-se inferir que o manejo da cana-de-açúcar sem queima das folhas e a manutenção de parte dessa palhada na superfície têm contribuído para a manutenção da estrutura do solo.

A densidade de partículas ( $D_p$ ) está relacionada com o material de origem do solo e, por isso, não é ou é muito pouco afetada pelo manejo do



solo ao longo do tempo (SILVA et al., 2011). No presente estudo, não houve diferenças significativas entre as camadas de solos e sistemas de manejo quanto à Dp (TAB. 1), e os valores foram muito semelhantes à densidade do quartzo, que é de  $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ . Outros autores também verificaram ausência de influência do manejo do solo sobre a Dp (SILVA et al., 2013; SANTOS et al., 2010; VIANA et al., 2011).

Em relação aos atributos químicos do solo, de modo geral, verificou-se uma melhoria da fertilidade do solo das áreas cultivadas em relação ao da vegetação nativa. Esses resultados são explicados pela utilização de corretivos da acidez do solo e adubações com NPK nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar. A área de vegetação nativa, que representa a condição original do solo, apresentou um solo com baixa fertilidade, com teores elevados de acidez ativa, ou seja, baixos valores de pH em água, elevados valores de acidez potencial nociva (alumínio trocável) e baixa disponibilidade de fósforo (TAB. 2).

Pelo fato de os canaviais dos sistemas Cana 7 e Cana 10 terem sido reformados aproximadamente um ano antes da coleta das amostras de solo do presente estudo, verificam-se maiores valores de pH e de nutrientes nesses sistemas quando comparados aos sistemas Cana 6 e Cana 8, cuja implantação ocorreu em 2009 e a última reforma ocorreu em 2011, respectivamente (TAB. 2). Nas áreas deste estudo, a calagem e a incorporação de nutrientes, em especial do fósforo, são realizadas por ocasião da reforma do canavial, sendo aplicados, nos anos seguintes, fertilizantes apenas superficialmente, sem incorporação.

**Tabela 2** – Valores de pH, fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V) em diferentes profundidades do solo dos sistemas avaliados.

Sistemas**	Prof cm	pH H <sub>2</sub> O	P	K	S	Ca	(Continua)	
							Mg	AL
							-----mg /dm <sup>3</sup> -----	
<b>Cana 6</b>	0-10	6,5 abA*	13,3 cA	89,0 aA	8,8 abA	2,3 bA	1,0 aA	0
	10-20	6,3 abA	4,5 bB	39,0 bB	7,9 aA	1,9 bA	0,8 aA	0
	20-30	6,2 aA	4,7 bB	30,0 bB	7,1 aA	1,9 aA	0,9 aA	0
<b>Cana 7</b>	0-10	7,2 aA	42,6 bA	43,0 bA	8,3 abA	2,9 bA	1,2 aA	0
	10-20	7,0 aA	14,1 aA	48,0 abA	4,5 bA	1,9 bB	0,9 aA	0
	20-30	6,7 aA	18,3 aB	26,0 bB	4,6 aA	1,5 abB	0,7 aA	0
<b>Cana 8</b>	0-10	5,4 cA	17,6 cA	88,0 aA	11,4 abA	2,2 bA	1,2 aA	0
	10-20	5,5 bA	16,0 aA	56,0 abB	9,5 aA	2,2 aA	1,0 aA	0
	20-30	5,0 bA	24,6 aA	58,0 aB	9,2 aA	1,7 aA	0,7 abA	0,1
<b>Cana 10</b>	0-10	7,6 aA	100,1 aA	102,0 aA	9,7 bA	5,1 aA	1,2 aA	0
	10-20	7,2 aA	22,1 aB	57,0 aB	9,4 aA	3,0 aB	1,3 aA	0
	20-30	6,9 aA	25,4 aB	65,0 aB	6,2 aA	2,3 aB	1,0 aA	0
<b>VN</b>	0-10	5,5 cA	2,6 dA	61,0 bA	14,5 aA	1,8 bA	0,5 aA	0,1 B
	10-20	5,1 bA	1,2 cA	54,0 abA	12,3 aA	1,1 bA	0,2 bA	0,6 A
	20-30	4,8 bA	2,8 bA	48,0 aA	5,7 aB	0,9 bA	0,2 bA	1,1 aA

(Conclusão)

Sistemas**	Prof	H+Al	SB	t	T	m	V	MOS
	cm	-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> -----			----- % -----		g kg <sup>-1</sup>	
<b>Cana 6</b>	0-10	1,4 aA*	3,7 abA	3,7abA	5,1 aA	0	73,0 abA	13,22 cA
	10-20	1,4 abA	2,8 abA	2,8 abA	4,2 aA	0	67,0 aA	12,21 bcA
	20-30	1,4 bA	3,0 abA	3,0 aA	4,4 aA	0	69,0 aA	10,88 aA
<b>Cana 7</b>	0-10	0,8 bA	4,3 abA	4,3abA	5,2 aA	0	84,0 aA	12,46 bcA
	10-20	0,8 bA	3,0 abA	3,0 abAB	3,8 bA	0	78,0 aA	9,84 cB
	20-30	1,0 bA	2,4 abA	2,4 aB	3,4 aA	0	70,0 aA	8,38 aB
<b>Cana 8</b>	0-10	2,1 aA	3,7 bA	3,7 abA	5,9 aA	0	64,0 abA	15,84 bA
	10-20	2,1 aA	3,5 aA	3,5 abA	5,6 abA	0	62,0 aA	17,48 aA
	20-30	2,4 aA	2,6 abA	2,7 aA	5,0 aA	4,0	52,0 aA	14,52 aA
<b>Cana 10</b>	0-10	0,8 bA	6,7 aA	6,7 aA	7,5 aA	0	89,0 aA	15,55 bA
	10-20	0,9 bA	4,6 aAB	4,6 aAB	5,6 aA	0	83,0 aA	16,62 abA
	20-30	1,0 bA	3,5 aB	3,5 aB	4,6 aA	0	77,0 aA	9,88 aB
<b>VN</b>	0-10	3,2 aA	2,8 bA	2,9 bA	6,0 aA	3,0B	47,0 bA	23,45 aA
	10-20	3,2 aA	1,6 bA	2,2 bA	4,7abA	28,0B	33,0 bAB	17,53 aA
	20-30	3,5 aA	1,3 abA	2,4 aA	4,8 aA	46,0aA	27,0 bB	11,59 aB

\*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna referem-se à comparação dentro do tratamento, e minúsculas entre as áreas nas respectivas profundidades, não diferem entre si pelo teste t de Student 5% de probabilidade.

\*\*Vegetação Nativa (VN) e áreas com seis (cana 6), sete (cana 7), oito (cana 8) e dez (cana 10) anos de cultivo de cana-de-açúcar.

Fonte: Da autora, 2015.

Especificamente no caso do sistema Cana 8, são depositados 50% da palhada sobre a superfície do solo na época da colheita, o que aconteceu quatro meses antes da realização da coleta das amostras do presente estudo. Na época de amostragem, possivelmente os resíduos orgânicos já estavam se decompondo e gerando acidez no solo. Segundo Cardoso et al. (2011), em locais com formação e acúmulo de serapilheira, os resíduos orgânicos podem ser uma importante fonte de acidez do solo, tanto pela combinação do gás carbônico com a água, quanto pelas reações de nitrificação do amônio produzido durante o processo de mineralização.

Quando se comparam as camadas de solo de cada sistema de manejo, verifica-se que não há diferenças significativas para os valores de pH (acidez ativa), embora os valores médios sejam ligeiramente maiores na camada superficial de 0 a 10 cm de profundidade (TAB. 2). Nas áreas de vegetação nativa, esses resultados poderiam ser explicados pelos maiores teores de matéria orgânica estável nessa camada, o que promove a complexação do alumínio, podendo gerar acidez no solo. O alumínio é um dos componentes mais importantes da acidez potencial do solo, uma vez que, quando em solução, reage com a água, liberando íons  $H^+$  (ECHART & CAVALLI-MOLINA, 2001). No entanto, deve-se ponderar que elevados teores de matéria orgânica também podem reduzir os valores de pH devido à presença de ácidos orgânicos (EBELING et al., 2008). Entretanto, os sistemas com valores de pH menores que 5,6 apresentaram maior acidez potencial. Segundo Portugal et al. (2010), os íons  $H^+$  liberados pela matéria orgânica aumentam a acidez potencial do solo, pelo deslocamento do alumínio trocável adsorvido a fração argila.

Em função dos fatores que afetam os componentes da acidez do solo, como calagem e matéria orgânica, os valores de alumínio, saturação por alumínio (m) e H+Al (acidez potencial trocável) foram nulos nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar, devido à aplicação de corretivos da acidez, assim como os valores de H+Al foram menores nas áreas cultivadas do que na área de VN (TAB. 2). Nas áreas de cana-de-açúcar, além da possível

complexação do alumínio pela matéria orgânica, esses resultados podem ser explicados pela maior incorporação de corretivos da acidez do solo.

Em relação aos macronutrientes P, K, Ca, Mg e S, os maiores teores foram encontrados na camada superficial (0-10 cm), tanto na vegetação nativa quanto nas áreas com cana-de-açúcar (TAB. 2). No caso dos sistemas onde se cultiva a cana-de-açúcar, esses resultados já eram esperados, uma vez que essas áreas são constantemente adubadas com fertilizantes minerais, a fim de atender às exigências nutricionais da cultura. Como já comentado anteriormente, por ocasião da implantação dos canaviais, é realizada a incorporação em profundidade de corretivos da acidez e fertilizantes e, nos anos seguintes, as adubações da soqueira são feitas na superfície do solo, sem incorporação.

Na área de VN, os maiores valores de macronutrientes na camada superficial (0 a 10 cm) são provavelmente provenientes da mineralização dos resíduos orgânicos depositados na camada superficial do solo.

A partir dos valores de Ca, Mg, K, Al e H+Al, a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions efetiva (t) e potencial (T) e a saturação por bases (V) foram calculados. Como as camadas superficiais das áreas cultivadas apresentaram maiores valores para Ca, Mg e K e menores para Al e H+Al, os valores de SB, t, T e V também foram maiores nessas profundidades (TAB. 2). Esses resultados indicam que, nas condições deste estudo, a substituição da vegetação nativa pelo cultivo irrigado da cana-de-açúcar tem contribuído para a construção da fertilidade do solo.

Em oposição aos resultados obtidos neste trabalho, Cardoso et al. (2011) e Silva et al. (2007a) verificaram redução dos valores de SB e T quando realizada a conversão de área de vegetação nativa para pastagens não adubadas, demonstrando perda da qualidade química do solo devido ao manejo adotado, ou seja, a incorporação de resíduos e a não correção da fertilidade do solo.

Quanto à matéria orgânica do solo, verificou-se tendência de redução dos teores em função do aumento da profundidade, exceto nos sistemas

Cana 6 e Cana 8 (TAB. 2). Esses resultados podem ser explicados pelo fato de esses canaviais não terem sofrido revolvimento recentemente, tendo em vista que o sistema Cana 6 foi implantado no ano de 2009 e o Cana 8 foi reformado em 2011. Os sistemas Cana 7 e Cana 10 tiveram seus canaviais reformados um ano e um ano e meio, respectivamente, antes da coleta das amostras de solo do presente estudo. O revolvimento do solo pelas práticas de aração e gradagem e a aplicação de corretivos provavelmente criam um ambiente mais favorável para os microrganismos responsáveis pela mineralização da matéria orgânica do solo. Por outro lado, a manutenção de parte da palhada da cana na superfície do solo recupera os teores originais de matéria orgânica do mesmo, como pode ser constatado nos sistemas Cana 6 e Cana 8 (TAB. 2). Dessa forma, seria interessante a adoção do plantio direto ou cultivo mínimo na reforma dos canaviais, de modo a diminuir as perdas de matéria orgânica do solo.

Na Tabela 3 a seguir, são apresentados os teores dos micronutrientes presentes nos solos dos sistemas avaliados. Nota-se que houve poucas diferenças significativas entre os sistemas avaliados bem como entre as camadas de cada sistema, com uma tendência de maiores valores na camada superficial das áreas cultivadas. Por serem pouco exigidos pelas culturas, pequenas quantidades desses nutrientes geralmente são suficientes para atender às exigências nutricionais. A mineralização da matéria orgânica e a aplicação de fertilizantes minerais, direta ou indiretamente (impurezas de corretivos e fertilizantes), são as principais vias de incorporação desses nutrientes nos sistemas estudados.

**Tabela 3** – Teores dos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nos diferentes sistemas avaliados nas respectivas profundidades.

Sistemas**	Prof	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	cm	-----mg/dm <sup>3</sup> -----				
<b>Cana 6</b>	0-10	0,7 Aa*	0,5 aA	25,9 aA	82,0 bA	8,1 bA
	10-20	0,3 aA	0,5 aA	26,1 aA	64,4 bA	5,2 aB
	20-30	0,3 aA	0,4 aA	21,3 aA	51,0 aA	2,8 aC
<b>Cana 7</b>	0-10	0,4 aA	0,7 aA	21,2 aA	91,6 abA	13,3 aA
	10-20	0,5 aA	0,4 aA	17,2 bA	57,7 bA	6,7 aB
	20-30	0,4 aA	0,6 aA	17,8 aA	41,6 aA	3,1 aC
<b>Cana 8</b>	0-10	0,4 aA	1,0 aA	22,9 aA	100,0 abA	2,3 cA
	10-20	0,4 aA	1,0 aA	24,8 abA	96,4 aA	2,0 bA
	20-30	0,4 aA	1,6 aA	25,0 aA	75,0 aA	2,7 aA
<b>Cana 10</b>	0-10	0,3 aA	0,6 aA	22,5 aA	86,0 bA	9,4 abA
	10-20	0,3 aA	0,7 aA	21,2 abA	71,5 abA	5,3 aB
	20-30	0,3 aA	0,4 bA	22,3 aA	51,2 aA	3,1 aC
<b>VN</b>	0-10	0,4 aA	0,7 aA	28,5 aA	146,2 aA	1,2 cA
	10-20	0,4 aA	0,7 aA	35,9 aA	83,0 abB	0,7 cA
	20-30	0,4 aA	0,7 aA	31,6 aA	67,0 aB	0,5 bA

\*Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna referem-se à comparação dentro do tratamento, e minúsculas entre as áreas nas respectivas profundidades, não diferem entre si pelo teste t de Student 5% de probabilidade.

\*\*Vegetação Nativa (VN) e áreas com seis (cana 6), sete (cana 7), oito (cana 8) e dez (cana 10) anos de cultivo de cana-de-açúcar.

Fonte: Da autora, 2015.

Os teores de carbono orgânico total (COT) no solo variaram de 4,7 a 14,5 g kg<sup>-1</sup> para a profundidade 0-30 cm nos sistemas avaliados (TAB. 4). Na camada 0-10 cm, não houve diferença significativa entre os sistemas VN, Cana 8 e Cana 10. Em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico em

condições ambientais semelhantes às do Jaíba, Campos et al. (2013) observaram maiores teores de COT no solo da VN para a camada 0-5 cm.

Em estudos realizados por Signor et al. (2014), os maiores teores de C foram observados em áreas colhidas sem queima da cana-de-açúcar, sendo a área com 6 anos a que apresentou maior teor de C na camada superficial. Esse resultado demonstra que quanto maior o tempo de utilização do solo, aliado ao emprego de práticas conservacionistas, os teores de C tendem a igualar-se ou a superar os da vegetação nativa. No caso do presente trabalho, os sistemas Cana 8 e Cana 10 apresentaram teores iguais aos da VN em todas as profundidades avaliadas (TAB. 4).

Foi observado que houve uma redução dos teores de C com o aumento da profundidade em todos os sistemas, exceto nos sistemas Cana 6 e Cana 8, visto que não houve o revolvimento do solo recentemente (FIG. 3).

De acordo com Loss et al. (2009), em sistemas em que ocorre o revolvimento do solo aliado a fatores como clima quente e úmido, o processo de mineralização dos resíduos orgânicos depositados no solo irá ocorrer de forma mais intensa, diminuindo assim os estoques de MOS, sendo que esta representa um importante reservatório de C no solo.



**Tabela 4** – Frações de matéria orgânica livre (FLL), do tamanho da fração areia (F-areia) e do silte e argila (F-silte + argila) e carbono orgânico total (COT) nas áreas de vegetação nativa (VN) e de cultivo da cana-de-açúcar em diferentes profundidades.

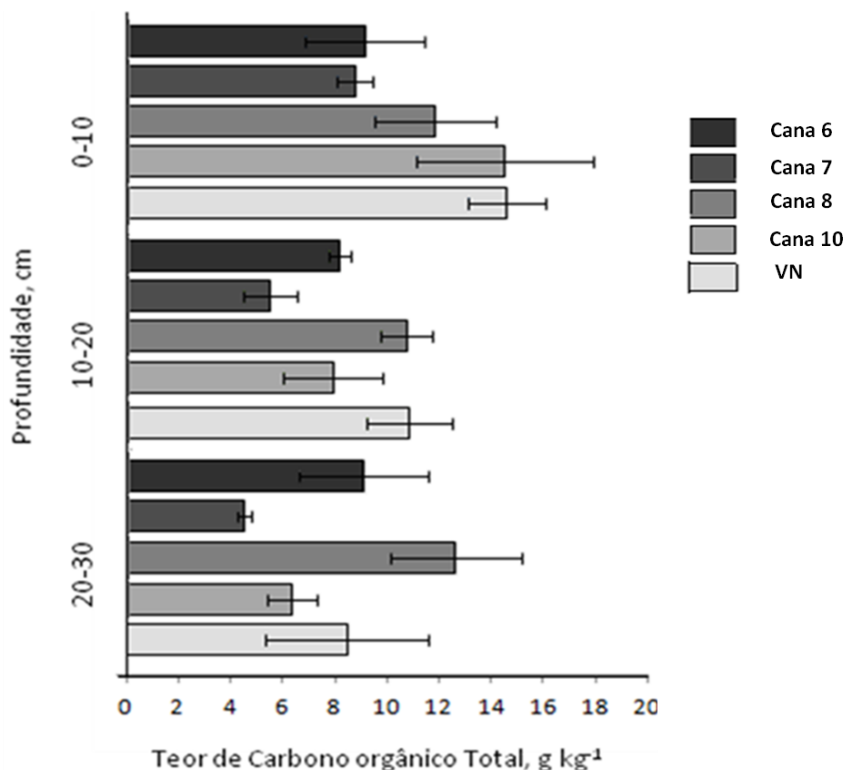
Prof. (cm)	Cana 6	Cana 7	Cana 8	Cana 10	VN
<b>FLL (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
0-10	0,7aA*	2,1aA	1,8aA	2,4aA	1,7aA
10-20	0,5aA	0,5aAB	0,8aAB	0,8aA	0,7aA
20-30	0,4aA	0,1aB	0,4aB	0,4aA	0,4aA
<b>F-areia (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
0-10	2,6bcA	1,8cA	4,6aA	2,7abcA	4,3abA
10-20	2,2aA	1,4cA	2,1aB	2,1aA	4,5aA
20-30	2,2aA	1,4cA	1,7aC	1,6aA	4,3aA
<b>F-silte+argila (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
0-10	5,9abA	4,8bA	5,7abB	9,4aA	8,5aA
10-20	5,3bA	3,9cAB	7,8aA	5,9bAB	6,0abcAB
20-30	4,3bA	3,2bB	7,3aAB	4,7abB	4,0bB
<b>COT (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
0-10	9,1bA	8,7cA	12,2abA	14,5abA	14,5aA
10-20	8,1bA	5,8cB	10,7aA	8,7abB	11,2aB
20-30	6,9aA	4,7bB	9,4aA	6,7abB	8,7aB

\*Para cada fração de carbono, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de t de Student a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Da autora, 2015.

**Nota:** Áreas com seis (Cana 6), sete (Cana 7), oito (Cana 8) e dez (Cana 10) anos de cultivo de cana-de-açúcar e área de Vegetação Nativa (VN).

**Figura 3** - Teor de C orgânico total de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar e de vegetação nativa (VN) em diferentes profundidades. Barras indicam o intervalo de confiança das médias ( $p=0,95$ ).



**Fonte:** Da autora, 2015.

**Nota:** Área de Vegetação Nativa (VN) e áreas com seis (Cana 6), sete (Cana 7), oito (Cana 8) e dez (Cana 10) anos de cultivo de cana-de-açúcar.

Na camada de 0-10 cm, o sistema Cana 7 apresentou as maiores quantidades de FLL (FIG. 4). Por outro lado, Frazão et al. (2010) observaram que na camada de 0-5 cm a vegetação nativa apresentou as maiores quantidades de FLL do que em sistema cultivado com cana-de-açúcar.

Quanto à contribuição das diferentes frações da matéria orgânica para o teor de C total no solo, a fração do tamanho silte+argila (F-silte+argila) foi predominante, independentemente da profundidade avaliada (FIG. 4). Esses

resultados corroboram os de Signor et al. (2014), que avaliaram a qualidade física da matéria orgânica em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar, observando que as maiores quantidades de C ocorreram na fração < 53 µm (tamanho silte e argila). Essas frações encontram-se em um estágio mais avançado de decomposição (ROSCOE & MACHADO, 2002) e possuem maior tempo de residência no solo do que a FLL (LISBOA et al., 2009a).

Segundo Potes et al. (2012), o carbono orgânico se concentra, em sua maior parte, nas frações de menor tamanho, o que também foi observado no presente trabalho (FIG. 4). Soares et al. (2008) também observaram maiores teores de C no solo associados à fração argila, independentemente de doses de lodo de esgoto aplicadas a um Latossolo. De acordo com Rangel & Silva (2007), as contribuições de C orgânico são maiores na fração argila+silte, seguida pela fração areia e, por fim, pela fração leve. Porém, Rossi et al. (2012) relatam que ocorre um maior acúmulo de C na fração leve em sistemas em que a deposição de biomassa é elevada.

Na camada superficial (0-10 cm), os teores de carbono orgânico na FLL foram superiores aos teores das demais profundidades (FIG. 4). Esses resultados são concordantes com os obtidos por Pinheiros et al. (2004) após determinação do fracionamento físico densimétrico da MO. Essa fração é um indicador utilizado para a avaliação da qualidade física do solo, pois responde de forma rápida às mudanças de uso e manejo do solo (STEVENSON, 1982 apud MARTIN NETO; ANDRIULO; TRAGHETTA, 1996). Segundo Christensen (1996), a FLL corresponde a uma pequena fração do teor total do carbono orgânico. Além da FLL, o C microbiano também pode ser utilizado como indicador das alterações decorrentes da utilização de diferentes sistemas de uso e manejo do solo (RANGEL & SILVA, 2007).

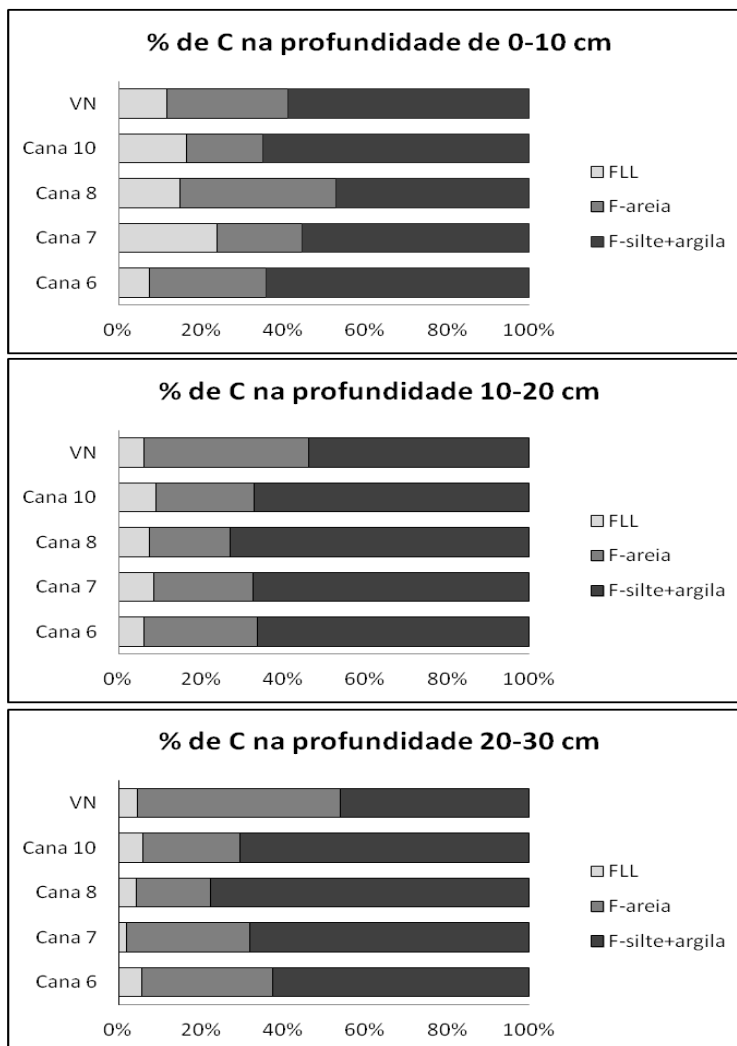
De acordo com os resultados do fracionamento, observou-se uma redução da FLL em função do aumento da profundidade em todos os sistemas avaliados (FIG. 4), demonstrando que essa fração é muito sensível ao manejo do solo. Resultados semelhantes ao deste estudo foram também

obtidos por Rangel & Silva (2007). Em estudos feitos por Marques et al. (2015) em diversos ecossistemas amazônicos, observou-se que cerca de 60% do carbono do solo encontravam-se na camada de 0-5 cm de profundidade, associado à fração leve livre, sendo que os teores diminuíram com o aumento da profundidade de amostragem.

Houve um aumento da contribuição da F-areia no solo da VN com a profundidade de amostragem (FIG. 4). Observou-se também um aumento nos sistemas Cana 6, Cana 7 e Cana 10, entretanto houve redução no sistema Cana 8 (FIG. 4). A F-areia constitui a matéria orgânica que foi recém-depositada no solo, onde o C se encontra em um estágio intermediário de decomposição (ROSCOE & MACHADO, 2002). Signor et al. (2014) observaram maiores diferenças na F-areia entre os sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar, não observando diferença entre as profundidades (0-10 e 10-20 cm). A baixa associação entre o C orgânico e a F-areia se deve, segundo Christensen (1992), à área de superfície específica e à densidade de cargas superficiais das areias, fazendo com que essa fração tenha pouco ou nenhum material orgânico ligado fortemente.

Na fração F-silte+argila, foram observadas as maiores diferenças nos sistemas Cana 8 e Cana 10, que aumentaram com a profundidade do solo (FIG. 4). Esse aumento se deve ao maior tempo de utilização das áreas, uma vez que os resíduos orgânicos depositados no solo ao longo do tempo sofreram decomposição e encontram-se hoje estáveis. Esses resultados corroboram os obtidos por Signor et al. (2014). Dessa forma, o estudo das frações físicas da matéria orgânica se torna um meio eficiente de se avaliar os efeitos do sistema de manejo, almejando a qualidade dos solos agrícolas (CONCEIÇÃO et al., 2014).

**Figura 4** – Contribuição em porcentagem de diferentes frações do solo no teor de C Total no solo.



**Fonte:** Da autora, 2015.

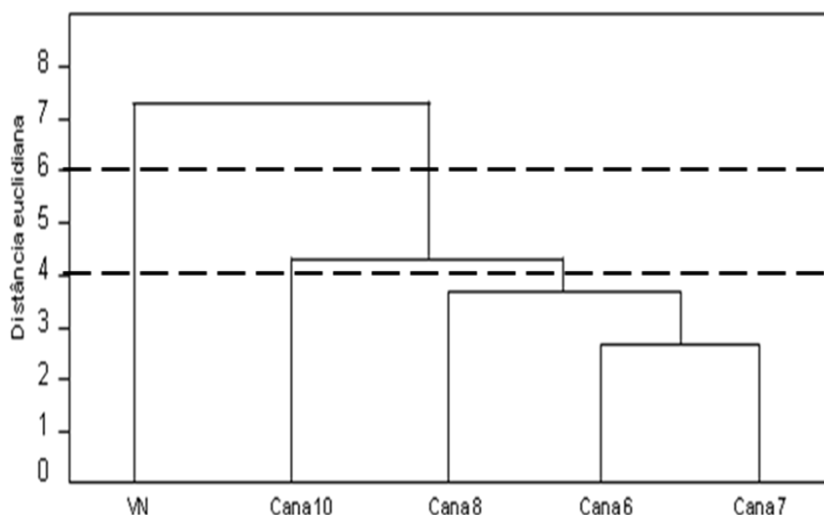
**Nota:** Fração da matéria orgânica livre (FLL), fração do tamanho areia (F-areia) e fração do tamanho silte e argila (F-silte+argila), Vegetação Nativa (VN) e áreas com seis (Cana 6), sete (Cana 7), oito (Cana 8) e dez (Cana 10) anos de cultivo de cana-de-açúcar.

As variáveis utilizadas para a análise de agrupamento possibilitaram a distinção das áreas estudadas quanto aos atributos físicos e químicos da camada de 0 a 10 cm de profundidade (FIG. 5). Essa camada de solo é a que mais sofre alterações devido às práticas de manejo do canavial, como mecanização, correção da acidez e adubações e deposição de resíduos orgânicos. De acordo com o dendrograma da Figura 5 a seguir, observa-se variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre as áreas, para o conjunto de variáveis consideradas, sendo possível a divisão de grupos. Admitindo-se cortes na distância euclidiana de 4 e 6, é possível ordenar os dados em três grupos, sendo um grupo constituído pela vegetação nativa, um grupo constituído pelo sistema Cana 10 e um terceiro grupo constituído pelos sistemas Cana 8, Cana 7 e Cana 6.

Os cortes são linhas horizontais traçadas no dendrograma, chamadas de Linha Fenon, que delimita o número de grupos, a fim de diminuir o nível de distorção que o processo aglomerativo possa trazer. O ponto de corte é definido em função do conhecimento do pesquisador de seu objeto de pesquisa ao decidir o ponto em que será efetuado o “corte”.

No grupo formado por mais de uma área (Cana 8, Cana 7 e Cana 6), é possível inferir que os solos apresentaram atributos químicos e físicos similares, decorrentes dos anos de cultivo e de práticas de manejo, como discutido anteriormente. Esses resultados estão de acordo com Yemefack et al. (2005), que afirmam que essa técnica permite agrupar variáveis com características semelhantes entre si e com o aumento da variabilidade entre os agrupamentos formados.

**Figura 5** - Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo os atributos físicos e químicos: (teores de areia e argila; densidade do solo, porosidade total; teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, zinco e boro disponíveis, teores de carbono orgânica total; fração da matéria orgânica livre, fração areia e a fração associada a silte+argila de carbono orgânico, da camada de 0 a 10 cm de profundidade) dos solos das áreas de vegetação nativa (VN), cana 6 anos (Cana 6), cana 7 anos (Cana 7), cana 8 anos (Cana 8) e cana 10 anos (Cana 10).



Fonte: Da autora, 2015.

## 5 CONCLUSÕES

O manejo da cana-de-açúcar com a manutenção de parte da palhada sobre a superfície do solo contribui para a preservação da estrutura e das frações mais estáveis de carbono orgânico e incremento da fertilidade do solo.

As práticas de manejo adotadas nas áreas de cana-de-açúcar contribuíram para a manutenção da qualidade do solo em comparação à vegetação nativa, podendo ser uma alternativa para a recuperação de pastagens degradadas na região.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 717-723, 2001.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.933-942, 1999.

ALVES, M. V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lage, v.5, p. 33-43, 2006.

ANDRADE, L. A. B. **Efeitos da incorporação de *Crotalaria juncea* L. sobre algumas características do solo e do desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1982. 129 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Piracicaba – SP, 1982.

ANDRADE, R. da. S.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; CARVALHO, J. de A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n.1, p. 35-38, 2002.

ARAUJO, M. A.; TORMANA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado Nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p.1099-1108, 2007.

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade**

**respiratória na população de Araraquara – SP.** 2001. Tese (Doutorado em Patologia) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5144/tde-07042003-231607/pt-br.php>>. Acesso em: 16 Jun. 2015.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 507-514, 2005.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 01, p. 38-40, 2007.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucaria Angustifolia no Estado de São Paulo.** 2007. 158 f. Tese - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2007. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-22102007-094221/pt-br.php>>. Acesso em: 2 Jun. 2015.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical apud ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L. M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira Ciência do Solo**, p. 487-592, 2002.

BASANTA, M. V. **Dinâmica do nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo de resíduos da colheita.** 2004. 82 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2004.

BEZERRA, S. A., CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 565-573, 2006.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 687-694, 1999.

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

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, p. 355, 2008.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.167-177, 2001.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. 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**, Viçosa, v.30. p.605-614, 2006.

BRASIL. **Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. 2008. Governo Federal, Brasília, DF, Brasil. 132p. Disponível em: <<http://www.forumclima.org.br>>. Acesso em 10 Nov. 2011.

CAMPOS, D.C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2003. 103 f. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111138/tde-26112003-151547/pt-br.php> >. Acesso em: 16 Jun. 2015.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 48, n. 3, p. 304-312, 2013.

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

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 613-622, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.147-157, 2009.

CASAGRANDE, A. A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo: sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p.150-198.

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo: sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p.21-46.

CASTRO, G. C. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região Noroeste Matogrossense**. Dissertação – Cuiabá, MT, 2008.

CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; ARATANI, R.G.; METZNER, A.F.M.; BEUTLER, A.N. & ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.199-209, 2007.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI, C. E. P.; COSTA JUNIOR, C.; FEIGL, B. J.; FRAZÃO, L. A.; MELLO, F. F. C.; GALDOS, M. V.;

MOREIRA, C. S.; CARVALHO, J. L. N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agrícola**, v. 67, p. 102-116, 2010.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. **Acta Agriculturae Scandinavica**, London, v. 35, p. 175-187, 1985.

\_\_\_\_\_. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v. 20, p. 1-90, 1992.

\_\_\_\_\_. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996.

\_\_\_\_\_. Organic matter in soil: structure, function and turnover. **Plant Production**. 30 ed. 2000. 95 p.

COELHO, M. B.; BARBOSA, M. P. H.; MACIEL, M. L. Produção de cana-de-açúcar irrigada no Cerrado de Minas Geras. In: Congresso da Sociedade dos Técnicos Açucareiros do Brasil, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife, STAB, 2002, p. 553-556.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira cana-de-açúcar: primeiro levantamento, **Safra2015/16**, Brasília, DF, v. 2, n. 1, 2015. Disponível em:< [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_04\\_13\\_09\\_39\\_02\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_15-16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf)>. Acesso em: 16 Jun. 2015.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOS, D. C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n. 5, p. 794-800, 2014.

CONDE, A. J.; DONZELLI, J. L. Preparo do solo e plantio. Manejo conservacionista do solo para áreas de colheita mecanizada de cana queimada e sem queimar. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 1997.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 289-298, 1999.

CORSINI, P. C. Sistemas de cultivo (efeitos na planta e no solo). In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo**: sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: FUNEP, 2002.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FOUTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p. 527- 535, 2003.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 32. p. 323-332, 2008.

DE MARIA, I.C.; CASTRO O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v,17. p.471-477, 1993.

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

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3 - 22. (Publication Number, 35).

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.*, 15:3-11, 2000 apud MONTEIRO, A.C.G.; PONCIANO, N.J. **Índice da qualidade do solo com cana-de-açúcar colhida crua e queimada**. 2012.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C. dos.; PEREZ, D. V., PEREIRA, M. G; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.

ECHART, C. L; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 531-541, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais: área de atuação da SUDENE. Recife: EMBRAPA, SNLCS, 1979. 407p. (. Boletim Técnico, 60; Recursos de Solos, 12).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FEARNSIDE, P. M. ; RIGHI, C. A.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H. ; CERRI, C. C.; NOGUEIRA, E.; BARBOSA, R. I. Biomass and Greenhouse-Gas Emissions from Land-Use Change in Brazil s Amazonian Arc of Deforestation: The states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1968-1978, 2009.

FEDDEMA, J. J. Estimated impacts of soil degradation on the african water balance and climate. *Climate Res.*, 10:127-141, 1998 apud VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de

uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35. p. 2105-2114, 2011.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 907-916, 2010.

FRANÇA, Júnia Lessa et al. **Manual de normalização de publicações técnico-científicas**. 9. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. S.; CAMPOS, D. V. B. de.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1198-1204, 2010.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, p. 221-230, 2002.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras, MG: UFLA, FAESPE, 2001. 261p.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32. p. 1489-1499, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32. p. 1521-1530, 2008a.



GALDOS, M. V. Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar. 2007. 101 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um latossolo vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 863-873, 2007.

GUERRA, J. G. M., SANTOS, G. A., SILVA, L. S., CAMARGO, F. A. O. Macromolecules and humic substances. In: SANTOS, G. A., SILVA, L. S., CANELLAS, L. P., CAMARGO, F. A. O. (Eds.), **Fundamentals of Soil Organic Matter: Tropical and Subtropical Ecosystems**. 2 ed. Metrópole, Porto Alegre: 2008. p. 19–26.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conser.*, 55:69-78, 2000 apud CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29. p.777-788, 2005

JENNY, H., Factors of soil formation: Missori Agricultura Experimental Station Reserch Bulletin, n.765, p. 5-31, 1961 apud CASTRO, G.C. Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes textura sob floresta da região Noroeste Matogrossense. Cuiabá, MT. Dissertação, 2008.  
JORGE, J.A. **Compactação do solo: causas, consequências e maneiras de evitar sua ocorrência**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 22p. (Circular, 117).

JORGE, J.A. **Compactação do solo: causas, consequências e maneiras de evitar sua ocorrência**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 22p. (Circular, 117).

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 61, p.4-10, 1997 apud MONTEIRO, A.C.G.; PONCIANO, N.J. **Índice da qualidade do solo com cana-de-açúcar colhida crua e queimada**. 2012.

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

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L.F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. 1991 apud CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29.p. 777-788, 2005.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution, v.116, p.353-362, 2002 apud ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. **Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica**. Informações Agronômicas, n.124, 2008. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Page8-13-124\\_000fxewt6cf02wyiv80soht9hsqtp735.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Page8-13-124_000fxewt6cf02wyiv80soht9hsqtp735.pdf)> Acesso em: jun. 2015.

LISBOA, B.B. Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo. 2009. 74 f. Dissertação – Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade federal do rio grande do sul, 2009.

LISBOA, C. C.; CONANT, R. T., HADDIX, M. L.; CERRI, C. E.P.; CERRI, C. C. Soil carbon turnover measurement by physical fractionation at a Forest-to-pasture chronosequence in the Brazilian Amazon. **Ecosystems**, 12: 1212-1221, 2009a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p.1077-1082, 2009.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÉS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANECHINE, C. Avaliação dos atributos físicos e estoques de carbon e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 789-800, 2008.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados á compactação de solos sob vegetação native em região de altitude no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36 p. 1733-1744, 2012.

LYNCH, J.M. Biotecnologia de solo:fatores microbiológicos na produtividade agronômica. São Paulo: Manote, 1986 apud CAMPOS, D.C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 103 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2003. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-26112003-151547/pt-br.php> >. Acesso em: 16 Jun. 2015.

MAIA, S.M.F. ; OGLE, S.M. ; CERRI, C.C. ; CERRI, C.E.P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 106, p. 177-184, 2010.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A. Distribution of organic carbon in different soil Fractions in ecosystems of central Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.232-241, 2015.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um latossolo vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciências Agrônômicas**, v.40, n.3. p.331-338, 2009.

MEDEIROS, J. C.; FREIRE, E. C.; QUEIROZ, J. C.; SANTOS, J. W. S.; ACQUA, J. M.; SENHORELO, W. L. P.; ANDRADE, F. P.; SANTANA, J. C. F.; ASSUNÇÃO, J. H.; ALVES, I.; FERNANDES, J. I.; CASTRO, R.; BARBOSA, K. A. Resultados da Pesquisa do algodão em Goiás: **Safra 2000/2001**. Campina Grande: Fundação GO/Embrapa Algodão/Fialgo, 2001.

MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo**: sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 225p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e. ampl. Lavras: Editora UFLA, 2006.

NOGUEIROL, R. C.; CERRI, C.E.P.; SILVA, W. T. L.; ALLEONI, L. F. R. Effect on no-tillage and amendments on carbon lability in tropica soil. **Soil and Tillage Research**, v. 143, p. 67-76, 2014.

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

OLIVEIRA, M. W. de; MENEDES, L. C.; BARBOSA, M. H. P.; VITII, A.; FARIA, R. O. Avaliação do potencial produtibo de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação complementar. In: *Fertbio 2002*, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, p. 95.

PINHEIROS, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 731-737, 2004.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 575-585, 2010.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32. p. 2091-2100, 2008.

POTES, M. L.; DICK, D. P.; SANTANA, G. S.; TOMAZI, M.; BAYER, C. Soil organic matter in fire-affected pastures and in na Araucaria Forest in South-Brasilian Leptosols. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 707-715, 2012.

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

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente*, v.27, p.29-48, 2003.

RIGHI, C. A.; ALENCASTRO, G.; LIMA, P. M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; FEARNSIDE, P. M. Biomass burning in Brazil's Amazonian arc of deforestation: Burning efficiency and charcoal formation in a fire after mechanized clearing at Feliz Natal, Mato Grosso. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 2535-2546, 2009.

RONQUIM, C. C. **Dinâmica espaçotemporal do carbono aprisionado na fitomassa dos agrossistemas no nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007.

ROSA, M. E. C.; OLSZEVKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 911-923, 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. 86p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304p.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 16. 1998, Montpellier. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.

SANTOS, J. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. S.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na Micro Região do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 12, p. 2486-2492, 2010.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, V. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1. cap. 3, p. 373-431.

SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI, JÚNIOR, F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisionomias da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 447-457, 2005.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; FERREIRA, L. E.; BORCHARTT, L.; SOUZA, M. A.; PEREIRA, W. E. Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37. p.1064-1072, 2013.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; SILVA NETO, L. F.; SOUZA, C. Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região nordeste do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41. n. 9, p. 1556-1562, 2011.

SILVA, I. R.; MEDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, 1017 p., 2007.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 541-547, 1994.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. C.; LA SCALA, J. R.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environ. Res. Lett**, v.8, p. 1-8, 2013.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. D. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. 174p.

SILVA, R. C.; PEREIRA, J. M.; ARAÚJO, Q. R.; PIRES, J. A. V.; DEL REI, A. J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31. p.101-107, 2007a.

SIGNOR, D.; ZANI, C. F.; PALADINI, A. A.; DEON, M. D.; CERRI, C. E. P. Estoques de carbon e qualidade da material organic do solo em areas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p. 1402-1410, 2014.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988.

SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J. W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 1367-1377, 1998.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SÁ, J. C. M; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no tillage. **Agronomie**, v. 22, p. 755-775, 2002.

SIX, J., OGLE, S. M., BREIDT, F. J., CONANT, R. T., MOSIER, A. R., PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biology**, v. 10, p. 155-160, 2004.

SMITH, P.; SMITH, J. U.; POWLSON, D. S.; MCGILL, W. B.; ARAH, J. R. M.; CHERTOV, O. G.; COLEMAN, K.; FRANKO, U.; FROLKING, S.; JENKINSON, D. S.; JENSEN, L. S.; KELLY, R. H.; KLEIN-GUNNEWIEK, K.; KOMAROV, S. A.; LI, C.; MOLINA, J. A. E.; MUELLER, T.; PARTON, W. J.; THORNLEY, J. H. M.; WHITMORE, A. P. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**, v.81, p. 153-225, 1997.

SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O.; BETTIOL, W.; BELIZÁRIO, M. H. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1231-1240, 2008.

SORDI, R. A.; MANECHINI, C. Utilization of trash a view the agronomic and industrial perspective. **Scientia Agricola**, v.70, p.1-2, 2013.

SOUZA, M. S.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SOUZA, Z. M., PAIXÃO, A. C. S., PRADO, R. M., CESARIN, L. G., SOUZA, S. R. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, v.35, p.1062-1068, 2005a.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27. p. 133-139, 2003.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 129-136, 2009.

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. New York: J. Wiley, 1982 apud MARTIN NETO, L.; ANDRIULO, A.; TRAGHETTA, D. G. **Fracionamento físico da matéria orgânica do solo e caracterização por espectroscopia de EPR**. São Carlos: Embrapa Informações Agropecuárias, 1996, 7 p. (Comunicado Técnico).



SZAKÁCS, G. G. J. Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil. 2007. 105 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2007.

TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V.; MOURA FILHO, G.; DANTAS NETO, J.; ABREU, M. L. de. **Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas.** Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB, v. 27, n. 4, p. 46-49, 2009.

TRIVELIN, P. C. O.; RODRIGUES, J. C.S.; VICTORIA, R. L.; REICHARDT, K. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup> N e ureia-<sup>15</sup> N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.2, p.89-99, 1996.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35. p. 2105-2114, 2011.

VITTI, A. C. Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade. 2003. 114 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2003.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 247-258, 2006.

WALTER, A.; DOLZAN, P.; QUILODRÁN, O.; GARCIA, J.; SILVA, C.; PIACENTE, F.; SEGERSTEDT, A. **A Sustainability Analysis of the Brazilian Ethanol**. UNICAMP, Campinas, 2008. Disponível em: <[www.unica.com.br/download.Asp](http://www.unica.com.br/download.Asp)>. Acesso em: jun. de 2011.

WINDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob

diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

WOLF, B.; SNYDER, G.H. **Sustainable Soils. The place of organic matter in sustaining soils and their productivity**. New York : Food Products Press, Binghamton, 2003, 352p.

YEMEFACK, M.; ROSSITER, D. G.; NJOMGANG, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. **Geoderma**, v. 125, n.01/02, p. 117-143, 2005.

YEOMANS, J. C; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. Commun. In Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1998 apud MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005.