



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MONITORAMENTO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE  
DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE  
PREPARO DE SOLO

EVERTON MARTINS ARRUDA

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

EVERTON MARTINS ARRUDA

MONITORAMENTO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE  
DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE  
PREPARO DE SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Solos, para obtenção do título de  
“Mestre”.

Orientadora

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

EVERTON MARTINS ARRUDA

MONITORAMENTO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE  
DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE  
PREPARO DE SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa  
de Pós-Graduação em Agronomia – Mestrado, área  
de concentração em solos, para obtenção do título de  
“Mestre”.

APROVADA em 26 de março de 2013

Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> . Adriane de Andrade Silva	UFU
Prof. Dr. Bruno Teixeira Ribeiro	UFU
Prof. Dr. Carlos Henrique Eiterer de Souza	UNIPAM
Prof. Dr. Luis Augusto da Silva Domingues	IFTM

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana  
ICIAG-UFU  
(Orientadora)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

Aos meus pais, José Arruda e Maria Regina,  
com muito amor, gratidão e respeito,

## **OFEREÇO**

Ao meu irmão, Eirilton Arruda, pelo companheirismo e amizade.

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé e saúde.

Ao meu berço familiar, Sr. José Martins Arruda, Sra. Maria Regina de Sousa Martins e Sr. Eirilton Martins Arruda, pela formação e educação.

A Professora Dra. Regina Maria Quintão Lana, pela amizade, orientações, ensinamentos e sugestões para com a realização desta dissertação.

Aos amigos(as) e Professores(as) Dr. Adriane de Andrade, Dr. Luis Augusto, Dr. Bruno Teixeira e Dr. Carlos Henrique pela colaboração em realizar as críticas construtivas perante o documento dissertativo.

A Usina Jalles Machado, pela oportunidade de realizar o experimento e seus funcionários que tanto contribuíram de forma eficiente para desenvolver a pesquisa. Em especial, ao Técnico Agrícola Sr. Ivan Gomes, responsável pelas áreas de experimentos da Usina.

Aos amigos e estagiários, Antônio Carlos da Silva Junior, Morgana Dornellas, Gustavo Medeiros e Samuel, pela determinação e empenho nas atividades de campo e laboratório.

Agradeço as amigas Risely Ferraz e Karla Couto, pela amizade e pela ajuda e sugestões feitas no trabalho.

Aos Professores que ministraram disciplinas e contribuíram com minha formação, Dr. Hamilton Seron, Dr. Gaspar Henrique, Dr. Beno Wendling Dr. Elias Borges, Dra. Marli Ranal e Dra. Denise Santana.

Ao amigo Julio Graciano, que esteve presente como motorista nas viagens realizadas até a Usina Jalles Machado.

Aos amigos, Fernando Oliveira, Gustavo Santos, Welldy Teixeira, Roberta Camargo, Emmerson Rodrigues, Marcos Vieira, Lucélia Alves, João Eduardo, Mariana, Pedro Afonso, Heliomar Baleiro e Reinaldo, pela amizade durante o curso.

Aos amigos e funcionários da Universidade Federal de Uberlândia, Eduardo e Cida, pela disposição e apoio durante a pós-graduação.

Aos amigos e funcionários dos laboratórios de solos, Marco Aurélio, Manoel, Marinho, Eduardo, Valéria e Gilda.

Ao ICIAG Futebol Clube, pelos momentos de descontração e entretenimento.

As amizades realizadas na cidade de Uberlândia- MG.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos no programa de mestrado.

Ao ICIAG e a Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v

### **CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA**

1. Introdução.....	01
2. Revisão de literatura.....	03
2.1. A cultura da cana-de-açúcar e aspectos econômicos.....	03
2.2. Atributos físicos do solo.....	04
2.3. Preparos de solo e a cultura da cana-de-açúcar.....	06
2.4. Sistemas de manejo e comportamento físico do solo.....	07
3. Referências.....	11

### **CAPÍTULO 2. EVOLUÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA Á DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO**

Resumo.....	15
Abstract. ....	16
1. Introdução.....	17
2. Materiais e Métodos.....	19
3. Resultados e Discussão.....	26
4. Conclusões.....	34
5. Referencias.....	35

**CAPÍTULO 3. AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTROFÉRRICO E PRODUTIVIDADE DE CANA-SOCA SUBMETIDA Á DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO**

Resumo.....	38
Abstract .....	39
1. Introdução.....	40
2. Materiais e Métodos.....	42
3 Resultados e Discussão.....	48
4. Conclusões.....	59
5. Referências.....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Capítulo 02</b>	<b>Página</b>
<b>Tabela 01</b> - Resultados da análise granulométrica do solo na área experimental na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2009.....	20
<b>Tabela 02</b> - Resultados da análise química do solo antes da implantação do experimento na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2009.....	20
<b>Tabela 03</b> – Resultados da análise química do solo em segundo ano de cana-soca na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2012.....	21
<b>Tabela 04</b> – Umidade do solo (%) no cultivo de cana-planta e cana-soca em diferentes sistemas de preparo de solo.....	31
<b>Capítulo 03</b>	<b>Página</b>
<b>Tabela 01</b> – Resultados da análise granulométrica do solo na área experimental na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2009.....	43
<b>Tabela 02</b> – Resultados da análise química do solo em segundo ano de cana-soca na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2012.....	43

## LISTA DE FIGURAS

Capítulo 02	Página
<b>Figura 01</b> - Temperatura média (°C) durante a condução do experimento em cana-planta no cerrado goiano, entre maio/2009 e Abril/2010.....	21
<b>Figura 02</b> - Pluviometria média (mm) durante a condução do experimento em cana-planta, entre 2009 e 2010.....	22
<b>Figura 03</b> - Temperatura média (°C) durante a condução do experimento em cana-soca, entre Junho/2011 e Julho/2012.....	22
<b>Figura 04</b> – Pluviometria média (mm) durante a condução do experimento em cana-soca, entre 2011 e 2012.....	23
<b>Figura 05</b> - Porosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$ , em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012.....	27
<b>Figura 06.</b> Macroporosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$ , em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012.....	27
<b>Figura 07.</b> Microporosidade do solo, em $m^3 m^{-3}$ , em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012.....	28
<b>Figura 08</b> - Densidade do solo, em $g cm^{-3}$ , em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012.....	29
<b>Figura 09</b> – Resistência do solo á penetração, em MPa, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-planta na região do Cerrado, 2010.....	30
<b>Figura 10</b> – Resistência do solo á penetração, em MPa, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-soca na região do Cerrado, 2012.....	31
<b>Figura 11</b> – Produtividade de colmos, em $Mg ha^{-1}$ , em diferentes sistemas de preparo do solo em cana-planta e cana-soca.....	33

<b>Capítulo 03.</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 01</b> - Temperatura média (°C) durante a condução do experimento entre Junho/2011 e Julho/2012 no cerrado goiano.....	44
<b>Figura 02</b> - Precipitação pluviométrica média (mm) durante a condução do experimento nos anos de 2011 e 2012.....	44
<b>Figura 03</b> – Argila dispersa em Água, em g Kg <sup>-1</sup> , em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-soca, 2012.....	49
<b>Figura 04</b> - Índice de floculação, em %, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-de-açúcar, 2012.....	51
<b>Figura 05</b> - Diâmetro médio geométrico, em mm, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-de-açúcar, 2012.....	52
<b>Figura 06</b> - Teores de Matéria Orgânica do Solo, em g Kg <sup>-1</sup> , em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-de-açúcar, 2012..	54
<b>Figura 07</b> - Distribuição dos agregados em classes, em mm, nos diferentes sistemas de preparo do solo, na camada de 0-0,2m.....	55
<b>Figura 08</b> - Distribuição dos agregados em classes, em mm, nos diferentes sistemas de preparo do solo, na camada de 0,2-0,4m.....	56
<b>Figura 09.</b> Produtividade de colmos, em Mg ha <sup>-1</sup> , em cana-de-açúcar submetida á diferentes sistemas de preparo de solo .....	58

ARRUDA, EVERTON MARTINS. **Monitoramento dos atributos físicos do solo e produtividade de cana-de-açúcar em função de diferentes sistemas de preparo de solo.** 2013. 75 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos atributos físicos do solo em cultivo de cana-planta e cana-soca em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argiloso sob diferentes sistemas de preparo de solo. O experimento foi implantado na região do cerrado, na Usina Jalles Machado em 2009, em área de reforma de canavial, variedade CTC 02. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), sendo a porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo avaliadas em esquema de parcelas subdivididas 6 x 2 (com o preparo de solo, o fator de parcela e as épocas de cultivo, os fatores de subparcela), em quatro repetições, sendo as avaliações realizadas dentro de cada camada de solo (0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m) de forma isolada. As demais variáveis foram avaliadas em esquema fatorial 6 x 3 com parcelas subdivididas (sendo os fatores de parcela, os preparo de solos e os fatores de subparcela, as camadas), em quatro repetições. Os tratamentos foram os tipos de preparo de solo: 1. Dessecação + Arado de Aiveca + Grade; 2. Subsolador + Grade; 3. Dessecação + Sulcação Direta; 4. Dessecação + Subsolador + Sulcação direta; 5. Destruidor de Soqueira + Subsolador; 6. Destruidor de Soqueira + Grade + Arado de Aiveca + Grade. Foi avaliada a produtividade da cana-de-açúcar, a porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e resistência do solo a penetração, no ano de cana-planta e segundo ano de cana-soca. O diâmetro médio geométrico e a distribuição dos agregados em classes de 4-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25 e <0,25mm, matéria orgânica do solo, argila dispersa em água e índice de floculação, somente em cana-soca. Todas avaliações foram realizadas nas camadas de 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m. Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). O sistema de sulcação direta apresentou maiores valores de macroporosidade e porosidade total na camada de 0-0,2m. Foi observada redução na macroporosidade e porosidade total, assim como aumentos nos valores de densidade do solo na camada de 0,4 – 0,6m em cana-soca. A resistência do solo à penetração foi maior na camada de 0,2-0,4m. O sistema sulcação direta apresentou os menores valores de Argila dispersa em água, já o sistema destruidor de soqueiras + grade + arado de aiveca + grade, os maiores valores. Os maiores níveis de matéria orgânica do solo foram encontrados na camada de 0-0,2m no sistema sulcação direta. Na camada de 0-0,2m foi verificado os maiores valores de Diâmetro médio geométrico e classes de agregados entre 4-2mm, em sistemas sulcação direta e subsolador + sulcação direta. A maior produtividade foi encontrada com uso de arado de aiveca + grade e destruidor de soqueiras + grade + arado de aiveca + grade, todavia, o sistema com sulcação direta, além de ter contribuído para melhor qualidade física do solo, proporcionou valores de produtividade muito próximos aos sistemas com uso em comum de arado de aiveca.

Palavras-chave: plantio direto; cerrado; manejo do solo; cana-soca.

<sup>1</sup> - Comitê Orientador: Dr<sup>a</sup>. Regina Maria Quintão Lana (Orientadora – UFU)

ARRUDA, EVERTON MARTINS. **Monitoring of soil physical properties and cane sugar yield for different tillage systems.** 2013. 75 f. Dissertation (M.Sc. in Agronomy/Soils) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

This study evaluated the behavior of soil physical properties in growing plant sugarcane and ratoon cane in a Typic Haplustox soil under different tillage systems. The experiment was done in the Cerrado region, at Usina Jalles Machado, in 2009, with sugarcane variety CTC 02. The experimental design was randomized blocks (RBD), and soil total porosity, macroporosity, microporosity and bulk density were measured in split plots 6 x 2 (soil preparation as the factor plot, and planting dates as subplot factors), in four replications. The evaluations were done within each soil layer (0-0.2, 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m). The other variables were evaluated in 6 x 3 split-plot factorial (where soil preparation was the factor in the plots, and soil layers the subplot factor), with four replications. The treatments were the types of tillage: 1. Moldboard + drying + Harrow; 2. Ripper + Harrow; 3. Desiccation + Direct furrowing; 4. Desiccation Ripper + Direct furrowing; 5. Stubble trasher + Ripper; 6. Stubble trasher + Harrow + Moldboard + Harrow. Sugar cane productivity, total porosity, macroporosity, microporosity, bulk density and resistance to penetration were evaluated, in the year of plant cane and second ratoon year. The geometric mean diameter and aggregate distribution in classes 4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25 and <0.25 mm, soil organic matter, water dispersible clay and flocculation index, were evaluated only in ratoon cane. All evaluations were performed at 0-0.2, 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m. The results were submitted to ANOVA and the averages compared by the Tukey test ( $P < 0.05$ ). The system of direct furrowing had the greatest macroporosity and total porosity in the layer 0-0.2 m. Decrease in macroporosity and total porosity, as well as increases in density values in the layer 0.4 to 0.6 m were observed in ratoon cane. Soil resistance to penetration was greater in the layer 0.2-0.4 m. The system furrowing directly showed the smallest values of clay dispersed in water, while the system of Stubble trasher + Harrow + moldboard + Harrow, the greatest values. Greater levels of soil organic matter were found in the 0-0.2 m layer in the system directly furrowing. Greater values of geometric mean diameter and aggregate size classes between 4-2 mm were found the 0-0.2 m layer in systems direct furrowing and direct furrowing + ripper. The greatest yield was obtained with use of the moldboard plow + Harrow and Stubble trasher + Harrow + moldboard + Harrow; however, the system with direct furrowing, besides contributing for better soil physical quality, productivity values were very close to systems with joint use of the moldboard plow.

Keywords: tillage; savannah; soil management; ratoon.

<sup>1</sup> Supervisor: Dr. Regina Maria Quintão Lana

## CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é detentor do título mundial de maior produtor de etanol proveniente da cana-de-açúcar, avançando os limites da ciência tecnológica na implantação dos campos sucroalcooleiros e industrialização dos produtos derivados. O reconhecimento adquirido nesse sistema de produção é devido às necessidades por fontes alternativas e renováveis de energia no mundo, além das condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar e das extensas áreas com legítimas possibilidades de aumento de produção no Brasil, condicionado assim, uma posição estável e de destaque no cenário mundial. Outro fator que contribui é o crescimento do mercado sucroalcooleiro, conferindo o interesse perante as usinas em expandir suas áreas cultivadas. Com isso, o país é estimulado a uma descentralização geográfica dos grandes centros de produção dessa cultura já consolidadas, como o nordeste e o estado de São Paulo, expandindo para as regiões agricultáveis do Cerrado.

A expansão do monocultivo de cana-de-açúcar nos últimos anos para regiões do Cerrado tem como objetivo a geração de um maior número de matrizes energéticas. Esta região tem sido alvo devido apresentar condições adequadas ao uso da mecanização agrícola, tanto em relação aos aspectos físicos, quanto topográficos.

A dependência das diversas etapas do processo produtivo de cana-de-açúcar pelo uso de máquinas e implementos agrícolas perante as operações de plantio, manejo cultural e/ou até a referida colheita são essências para crescimento vegetal, porém, este manejo do solo de forma inadequada pode contribuir em diversas alterações aos atributos físicos do solo. O impacto da mecanização agrícola nos solos cultivados com cana-de-açúcar vem sendo alvo de vários estudos, principalmente em regiões cuja cultura vem ocupando novas áreas de produção. Afinal, o conhecimento da interferência dos impactos externos ao ambiente químico, físico e biológico do solo são essências para o alcance de maiores índices de produtividade nesta cultura.

O uso intensivo de áreas em solos do Cerrado recém-introduzidos à agricultura canavieira podem ocasionar problemas relacionados à degradação física. Apesar do desconhecimento do empresário rural frente estas situações, a degradação se inicia a partir da implantação dos campos de produção de cana-de-açúcar, propriamente no

preparo inicial do solo com uso inadequado da mecanização agrícola. Os reflexos negativos podem ser evidenciados tanto no primeiro ano de produção (cana-planta), quanto, no decorrer da atividade agrícola (soqueiras). Infelizmente, o empresário rural vem procurando técnicas de manejo do solo para reverter situações de degradação quando o problema já se agravou bastante, ou ainda, por si, quando a lavoura já foi implantada.

O conhecimento do uso de diferentes tipos de preparos de solo e suas influências no comportamento dos atributos físicos do solo, não somente, pertinentes ao cultivo da cana-planta, más também suas alterações nas soqueiras de cana-de-açúcar, possuem fundamental importância em relação ao suprimento de água, oxigênio e nutrientes na cultura ao longo das seguintes safras. O monitoramento nas soqueiras tem como função desvendar uma forma de manejo do solo que minimize as quedas de produtividade e maximize a longevidade dos canaviais. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a evolução e o comportamento de atributos físicos do solo em cana-planta e cana-soca em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico submetido a diferentes tipos de preparo de solo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - A cultura da cana-de-açúcar e aspectos econômicos

A cana-de-açúcar pertence à família Gramineae (Poaceae) e gênero *Saccharum*, sendo este gênero composto, principalmente, pelas espécies: *Saccharum officinarum* (L.) que é conhecida por cana-nobre, por apresentar elevado teor de açúcar (SEGATO et al., 2006). Cultivada em grande parte do território nacional desde sua implantação na época do Brasil colônia, tornando-se uma cultura de grande importância para o desenvolvimento do país. Atualmente, a cana-de-açúcar tem função correlacionada não somente com o setor agrícola para a produção de açúcar, mas com grande participação na matriz energética brasileira, com potencial para atender a demanda crescente no mercado nacional e internacional (MORAES, 2011).

O Brasil, país onde, desde a década de 70 existem incentivos para o desenvolvimento de tecnologias para a produção do etanol de cana-de-açúcar, é hoje o maior produtor mundial deste produto. Graças às tecnologias desenvolvidas nestes últimos 40 anos, e à disponibilidade de terras agricultáveis, o país tem recebido grandes aportes de investimento, tanto nacional quanto internacional, os quais impulsionaram a expansão do cultivo de cana (DOMINGUES, 2012).

A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na safra (2011/2012), foi estimada em 8.368,4 mil hectares, distribuída em todos estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 52,2% (4.370 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,87% (742,65 mil hectares), Goiás com 8,1% (678,42 mil hectares), Paraná com 7,3% (611,44 mil hectares) Mato Grosso do Sul com 5,70% (480,86 mil hectares), Alagoas com 5,45% (463,65 mil hectares), e Pernambuco com 3,89% (326,11 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, mas, com bons índices de produtividade. A previsão do total de cana moída na safra 2011/12 é de 571.471,0 milhões de toneladas, com queda de 8,4% em relação à safra 2010/11, que foi de 623,905 milhões de toneladas, que significa que a quantidade que será moída deve ser 52 milhões de toneladas a menos que a moagem da safra anterior (CONAB, 2012).

A produtividade média brasileira foi estimada em 68.289 kg ha<sup>-1</sup>, 11,8% menor que na safra 2010/11, que foi de 77.446 kg ha<sup>-1</sup>. A previsão de esmagamento de cana para a produção de açúcar é de 283,9 milhões de toneladas, correspondendo a 47,3% da

previsão de moagem de 571.471,0 mil toneladas. Para a produção de etanol serão esmagadas 287,6 milhões de toneladas de cana para produção de 22.857,6 bilhões de litros de etanol, 17,2% menor que a produção da safra 2010/11 (CONAB, 2012).

No estado de Goiás a área plantada para safra 2011/2012 foi estimada para 678,420 mil hectares, 13,20% maior que a área plantada na safra anterior. Uma produção de 48.032,1 mil toneladas, 4% maior que a safra anterior. Apesar deste aumento na produção, a produtividade em função da condição climática irregular obteve quedas de 8,2%, 70.800 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que na safra anterior foi de 77.100 kg ha<sup>-1</sup>. (CONAB, 2012)

## 2.2 - Atributos físicos do solo

A compreensão e a quantificação dessa interferência no uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (CENTURION et al., 2007). Dessa forma, o conhecimento e o monitoramento do comportamento físico do solo no cultivo de cana-de-açúcar, principalmente quando referimos as soqueiras, tem mostrado grande importância para alcançar maiores índices de produtividade, além de uma maior longevidade do canavial.

Diferentes atributos físicos do solo podem ser utilizados para que sejam quantificados os impactos a qualidade física do solo. De acordo com Singer e Ewing (2000) a qualidade física do solo pode ser indicada a partir de seus atributos relacionados com a magnitude com que a matriz do solo resiste à deformação e, ainda, com a sua capacidade em fornecer ar e água em proporções adequadas ao pleno crescimento e desenvolvimento das plantas. Ferreira et al., (2010) também afirmaram que na avaliação da estrutura, procuram-se atributos com vistas em dimensionar a porosidade e a distribuição de poros por tamanho e sua implicação relativa a permeabilidade e a rigidez dos poros, bem como a estabilidade das unidades que compõem a estrutura do solo. Estas avaliações são referentes às mensurações de compactação dos solos agrícolas, que para sua determinação, devem ser feitas avaliações de densidade do solo, porosidade total do solo e, principalmente da distribuição dos poros de diferentes tamanhos (macro e microporosidade) e da resistência do solo a penetração (CENTURION et al., 2001; FALLEIRO et al., 2003; ABREL et al., 2004).

O termo compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado, resultando num aumento da densidade e redução do volume de poros (HILLEL et al., 1980). A compactação pode trazer consequências negativas na agregação e porosidade, prejudicando a infiltração e retenção de água do solo (CEDDIA et al., 1999). O aumento excessivo da densidade do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo (SILVA et al., 2000). A camada compactada é consequência da intensidade de revolvimento de solo ou trânsito de máquinas, do tipo de implementos, dos sistemas de manejo do solo, da presença de resíduos vegetais e das condições hídricas no momento de preparo (STONE; SILVEIRA 2001). E essas camadas podem estar localizadas mais superficialmente ou em maiores profundidades, que podem variar ente 0,2 e 0,5 m, dependendo do histórico de uso e de operações agrícolas na área, e da classe do solo, pois alguns são mais suscetíveis à compactação que outros (RIPOLI et al., 2007).

Dentre os atributos físicos do solo com influência direta sobre o desenvolvimento das plantas, destaca-se a resistência mecânica do solo a penetração (ANDRÉ, 2009). É normal que a exploração agrícola perturbe o solo e aumente à resistência a penetração (CENTURION et al., 2001). Pedrotti et al., (2001), afirmaram que a qualidade física do solo pode ser determinada, dentre outros fatores, pelo grau da resistência que o solo oferece ao crescimento das raízes, uma vez que, em condições adversas, limita a elongação radicular e, conseqüentemente, reduz a produtividade vegetal.

Outros atributos físicos do solo importantes para avaliação do estado de conservação e monitoramento á processos de degradação física são a estabilidade dos agregados, dispersão e floculação das partículas de argila do solo. De acordo com Santos et al., (2012) a maior ou menor facilidade de dispersão da fração argila e o estado de agregação do solo merecem destaque por estarem diretamente relacionadas com a susceptibilidade dos solos à erosão e a retenção de água e nutrientes. Santos et al., (2010) afirmaram que a análise desses atributos, como a argila dispersa em água, que reflete diretamente sobre a formação da compactação nos solos e também o grau de floculação das argilas, que influencia na agregação das partículas do solo, são importantes para os estudos de conservação dos solos.

O conteúdo de matéria orgânica do solo é um atributo indicador de sua qualidade, pelo fato de ser o principal agente de cimentação das partículas do solo, além

de contribuir para capacidade de troca de cátions, retenção de água, entre outros (SANTOS et al., 2012). Estudos que exploram as relações entre os agregados e a matéria orgânica do solo vêm sendo realizados nos últimos anos, como os que identificaram, além da fração mineral, a fauna do solo, raízes e variáveis ambientais, como fatores que favorecem a formação dos agregados do solo (SALTON et al., 2008).

Para um mesmo tipo de solo, diferentes práticas de manejo poderão afetar diretamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação (CASTRO FILHO et al., 1998). Assim, o estado de agregação do solo é de grande importância para as atividades agrícolas, uma vez que, está relacionado com a aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água (KOHNKE, 1968). Um dos métodos mais usados para medir a estabilidade de agregados aplica forças de desintegração em uma amostra de agregados grandes (4 mm) e mede posteriormente a distribuição de tamanho de agregados resultantes (GOMIDES, 2009). Geralmente, os agregados de menor tamanho são mais estáveis, sendo mais difícil à manutenção dos agregados de maior tamanho (BRADY; WEIL, 2007).

### 2.3 - Preparos de solo e a cultura da cana-de-açúcar

Geralmente, o solo quando incorporado ao sistema agrícola tem suas condições físicas, químicas e biológicas modificadas, apresentando normalmente uma tendência a divergir da situação natural com o decorrer do tempo, na maioria das vezes evoluindo para situações negativas ao crescimento das plantas (GOMIDES, 2009).

O preparo do solo é uma etapa fundamental na implantação de um canavial, sendo impossível obter altos índices de produtividade se as raízes de cana-de-açúcar não encontrarem condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento. Segundo Vasconcelos (2007) o objetivo principal do preparo do solo é proporcionar condições químicas e físicas adequadas para o bom desenvolvimento do sistema radicular e para a absorção de água e nutrientes. Domingues (2012) justifica que é preciso garantir condições físicas do solo satisfatórias, e que os nutrientes e a umidade não sejam fatores limitantes.

De acordo com Smith et al., (2005) a monocultura de cana-de-açúcar e o uso de máquinas e implementos pesados sobre o solo causam sua compactação, comum nas áreas canavieiras, impedindo o desenvolvimento normal das plantas. Cunha et al.,

(2009) afirmaram que as atividades relacionadas com a produção agrícola causam modificações, principalmente na estrutura do solo, causando restrições ao desenvolvimento do sistema radicular por meio da compactação. Em um solo compactado, o sistema radicular concentra-se próximo à superfície (MULLER et al., 2001), tornando a planta mais susceptível a déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais (ROSOLEM et al., 1994).

A longevidade de um canavial está diretamente relacionada com seu sistema de cultivo. No entanto, o manejo da compactação deve proporcionar um ambiente adequado, tanto para o crescimento da planta, quanto para a conservação do solo e da água, e também para o deslocamento das equipes de trabalho (HELFGOTT, 1997). Solos com boas propriedades químicas, físicas e biológicas aliadas a um programa de manejo de fertilidade do solo e estratégias agronômicas sustentáveis, como cultivo mínimo, manutenção dos restos vegetais, gradagem e subsolagem, podem proporcionar canaviais mais produtivos e duradouros. Algumas usinas chegam a realizar mais de 10 cortes numa mesma área (DOMINGUES, 2012).

O ideal seria o uso e o manejo do solo que estabelecessem uma associação conveniente dessas propriedades, de modo que possibilitasse condições cada vez melhores para o crescimento e desenvolvimento vegetal, promovendo conseqüentemente, menores perdas de solo e de água e, finalmente, maior produtividade associada à qualidade ambiental (SOUZA; ALVES, 2003).

#### 2.4 - Sistemas de manejo e Comportamento físico do solo

A pesquisa realizada nas áreas do Cerrado brasileiro em cultivos intensivos de cana-de-açúcar pode emitir novos horizontes de conhecimento em relação à vulnerabilidade destes solos aos processos destrutivos, visto que, este sistema de produção possui grande dependência da mecanização agrícola. De acordo com Reis et al., (2007) a mecanização agrícola é uma ferramenta importante para diversos sistemas de produção, entretanto, sua introdução maciça, sem qualquer adaptação prévia aos diferentes tipos de solo pode ocasionar rápida e contínua degradação deste recurso natural. Gomides (2009) afirmou que o sistema intensivo de uso e manejo do solo pode alterar seus atributos físicos, ocasionar degradação e perda da qualidade do solo, e causar prejuízo para a sua sustentabilidade.

O conhecimento dos diversos sistemas de preparo do solo e suas implicações no manejo da cana-de-açúcar estão intimamente relacionados aos impactos causados nos atributos físicos do solo. A degradação dos solos cultivados com essa cultura são bastante frequentes devido ao uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas.

O preparo convencional do solo, geralmente se compõe de uma aração, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento. O preparo do solo também pode ser feito com subsoladores, arados e grades. Essa sequência de operações tem por objetivo destruir antigas soqueiras, minimizar a ocorrência de plantas invasoras e modificar a estrutura do solo proporcionando melhores condições de densidade e aeração (AZEVEDO, 2008). Segundo Souza e Alves (2003) o intenso preparo inicial do solo com a utilização de arados, grades pesadas, subsoladores e a sulcação profunda para o plantio da cana-de-açúcar, são práticas impactantes na fase inicial do estabelecimento da cultura, pois afetam diretamente a estrutura do solo e a estabilidade de agregados.

De acordo com Cunha et al., (2009) o avanço da engenharia contribuiu bastante para o incremento na potência dos tratores e, com isso, os estudos se intensificaram na busca de máquinas e sistemas mais eficientes de tração e, conseqüentemente, mais eficientes no preparo do solo. Principalmente, quando o uso de maquinários ocorre em condições inadequadas de umidade, podendo resultar em uma série de alterações da física do solo (SEVERIANO et al., 2008). Denardin e Kochhann (1997), ressaltaram que as mobilizações intensivas do solo, principalmente no sistema convencional em condições inadequadas de umidade e de cobertura vegetal, modificam adversamente a estrutura do solo, afetando basicamente as relações entre as fases sólida, líquida e gasosa. Segundo Gomides (2009) o intenso preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar e a utilização constante de cultivadores em condições não ideais de umidade altera suas propriedades físicas, refletindo em alterações na estrutura do solo, principalmente na camada superficial. Souza et al., (2004) relataram que o cultivo inadequado pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão e propiciam a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas movimentadas pelos equipamentos. A densidade e a porosidade do solo refletem o impacto dos estresses aplicados ao solo pelos sistemas de preparo e pelo tráfego de máquinas na área (KAY; ANGERS, 2000). Portanto, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (CENTURION et al., 2007). A

degradação do solo e as implicações e consequências negativas dos sistemas convencionais, tem resultado no desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e conservação ambiental (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

Em solos tropicais e subtropicais, a adoção de técnicas de uso e manejo com mínimo revolvimento é fundamental para a conservação do solo e da água e acúmulo de matéria orgânica, com vistas a garantir altas produtividades com reduzidos impactos ambientais (ARAÚJO et al., 2004). A utilização de sistemas de preparo com mínimo ou nenhum revolvimento do solo tem sido cada vez mais utilizado, por promover inúmeros benefícios, como a melhoria da estrutura, porosidade, retenção e infiltração da água no solo (BAYER, 1996). Além, principalmente, de reduzir os custos de implantação diante do produtor rural, pois no cultivo mínimo o custo de produção da cana-de-açúcar diminui aproximadamente 30% quando comparado ao sistema de plantio tradicional (BENEDINI; CONDE, 2008). André (2009) relatou que pelo fato do cultivo da cana-de-açúcar se caracterizar como uma monocultura, a prática do sistema plantio direto se torna inviável, uma vez que uma das exigências básicas para a consolidação do sistema não é cumprida, a rotação de culturas. Entretanto, a cultura da cana-de-açúcar, devido seus vários ciclos de produção (socas) e o revolvimento do solo apenas em sua reforma, é descartada a possibilidade de implantação de um sistema em plantio direto, cabendo aos pesquisadores a descoberta de um cultivo mínimo nos solos cultivados, ou até mesmo sistemas convencionais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente, com ênfase em sustentabilidade agrícola.

De acordo com Silva (2003) os diferentes sistemas de manejo adotados com a cana proporcionam diferentes condições de desenvolvimento da cultura, o que resulta em diferenças nos teores de matéria orgânica particulada e associada aos minerais, com consequências na estabilidade estrutural. O autor também afirmou que a adoção de sistemas de manejo que promovam um maior aporte de matéria orgânica e de cátions trocáveis, resultando na maior estabilidade dos agregados, é um fator essencial para diminuir os riscos a compactação do solo. Segundo Silva et al., (2000), Latossolos cultivados revelaram um aumento da argila dispersa em água e uma redução no grau de floculação do solo, favorecendo o aumento da densidade do solo e a formação de camadas compactadas.

A degradação do solo deve-se ao excessivo revolvimento da camada superficial pela utilização de sistemas de preparo convencional, com o uso de grades aradoras e

arados de discos. Tais sistemas de manejo, em geral, resultam na formação de camadas compactadas, levando ao aumento das perdas de solo, água e nutrientes e à redução da produtividade das culturas (BEUTLER et al., 2001). De acordo com Gomides (2009) o preparo convencional do solo por meio de grade aradora, leva à formação de camadas compactadas superficiais e subsuperficiais, afetando assim o desenvolvimento de plantas, particularmente com a formação de camada compactada próxima à superfície do solo. O fato é que, quando essas operações de preparo de solo não são executadas com tecnologias próprias para cada classe de solo em uso, as propriedades estruturais dos solos são alteradas. Tais alterações são mais pronunciadas em sistemas de preparo convencionais do que em sistemas conservacionistas, que visam manter o solo protegido e com qualidade (BERTOL et al., 2004).

### 3. REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.519-531, 2004.
- ANDRÉ, J. A. **Sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar em sucessão com amendoim**. 2009. 32p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 337-345, 2004.
- AZEVEDO, M. C. B. **Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 100 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 241 f. 1996. (Tese de Doutorado em Agronomia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J. Sistematização de área para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, Guariba, novembro, p. 23-25, 2008.
- BERTOL, I.; et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.
- BEUTLER, A. N.; et al. CRUZ, J. C. Agregação de latossolo vermelho Distrófico típico relacionada com o manejo da região dos cerrados do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25 p. 129-136, 2001.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Nature and Properties of Soils**. 14. Ed. Hardcover – Sep. 16, 990p. 2007.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CEDDIA, M. B.; et al. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 34 p. 1467-1473, 1999.
- CENTURION, L. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeitos de forma de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.5, n.2, p. 254 – 258, 2001.

CENTURION, J. F.; et al. 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**, Viçosa, 31, p. 199-209, 2007.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2011/2012**: terceiro levantamento, dezembro 2011. 20p, Brasília, 2011.

CUNHA, J. P. A. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 371-375, 2009.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Pesquisa de desenvolvimento em sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. **In Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do solo**, Rio de Janeiro, 1997.

DOMINGUES, L. A. da S. **Atributos físicos do solo, desenvolvimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em preparos de solo em áreas de renovação e expansão**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.

FALLEIRO, R. M.; et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed.) **Física do solo**. Viçosa: SBCS, p. 01-24, 2010.

GOMIDES, J. N. **Atributos físicos de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 413p.

HELFGOTT, S. **El cultivo de La cana de azucar em La costa peruana**. UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), Lima – Peru, 495p, 1997.

KAY, B. D.; ANGERS, D. A. Soil structure. In: Summer, M.E. (ed). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, p. A229- A275, 2000.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antonio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Circular Técnica, 38).

KOHNKE, H. Soil physics. New York, **Mac Grow-Hill**, p. 118-142, 1968.

- MORAES, E.R. **Atributos químicos do solo e teor foliar de nutrientes em cana-de-açúcar sob diferentes formas de preparo de solo em área de reforma e expansão no cerrado**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2011.
- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25 p.531-538, 2001.
- PEDROTTI, A.; et al. Resistência mecânica a penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.521-529, 2001.
- REIS, G. N.; et al. Avaliação do desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 228-235, 2007.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**, p. 82- 90. 2ª ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007.
- ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18 p. 491-497, 1994.
- SANTOS, D. S.; et al. Atributos físicos e matéria orgânica de áreas de latossolo utilizadas para atividade pecuária no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 500-508, July/Aug. 2012.
- SANTOS, L. N. S.; et al. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 940-947, 2010.
- SALTON, J. C.; et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.
- SEGATO, S. V; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: CP 2, 451p. 2006.
- SEVERIANO, E. C.; et al. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1419-1427, 2008.
- SILVA, M. L. N; NILTON CURI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de latossolo roxo. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.

SILVA, A. J. da. **Alterações físicas e químicas de um argissolo amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar.** 2003. 120f. Tese (Doutorado em Ciência do solo). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORNBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 163-189, 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 28, n. 3, p. 937-944, 2004.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7, n. 1, 2003.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n. 2, p. 395-401, 2001.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMMER, M.E., ed. **Handbook of soil science**. Boca Raton, CRC, p. 271-298, 2000.

VASCONCELOS, A. C. M. Operações mecanizadas de preparo e cultivo: subsolagem no preparo e no cultivo de soqueiras de cana-de-açúcar. **IAC**. 2007

## CAPÍTULO II

### EVOLUÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA Á DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO

#### RESUMO

O conhecimento dos sistemas de preparo de solo e suas influências na evolução dos atributos físicos do solo, não somente, pertinentes ao cultivo da cana-planta, mas também suas alterações nas soqueiras de cana-de-açúcar, possuem fundamental importância em relação ao suprimento de água, oxigênio e nutrientes nesta cultura ao longo das seguintes safras. O objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução dos atributos físicos do solo nas épocas de cana-planta e segunda cana-soca em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argiloso do Cerrado submetido em diferentes sistemas de preparo de solo. O experimento foi implantado na Usina Jalles Machado no ano agrícola de 2009/2010, em área de reforma de canavial, com a variedade CTC 02. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), sendo para a porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo, o esquema fatorial foi de parcelas subdivididas 6 x 2 (sendo os preparos de solo, os fatores de parcela e as épocas de cultivo, os fatores de subparcela), sendo as avaliações realizadas dentro de cada camada de solo (0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m) de forma isolada, em quatro repetições. A resistência do solo a penetração foi realizada em esquema fatorial foi 6 x 3, em parcelas subdivididas (sendo os fatores de parcela, os preparos de solo e os fatores de subparcela, as camadas), em quatro repetições. Os tratamentos foram os sistemas de preparo de solo utilizados na implantação do sistema de produção: 1. Dessecação + Arado de Aiveca + Grade; 2. Subsolador + Grade; 3. Dessecação + Sulcação Direta; 4. Dessecação + Subsolador + Sulcação direta; 5. Destruidor de Soqueira + Subsolador; 6. Destruidor de Soqueira + Grade + Arado de Aiveca + Grade. As avaliações foram realizadas no ano de cana-planta e segunda cana-soca, em função de verificar a evolução destas propriedades no solo. As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância e ao teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Não foi observada interação significativa entre os sistemas de preparo de solo e as épocas de cultivo ( $P > 0,05$ ), sendo verificada apenas diferença aos fatores de forma isolada. O sistema de Sulcação direta apresentou maiores valores de macroporosidade e porosidade total na camada de 0-0,2m. Foi verificada redução dos valores de macroporosidade e porosidade total, assim como aumentos nos valores de densidade do solo nas camadas subsuperficiais de 0,4-0,6m, no ano de cana-soca comparado ao ano de cana-planta. Já a resistência do solo á penetração apresentou-se maior na camada de 0,2-0,4m. A produtividade em cana-planta foi superior perante o ano de cana-soca, sendo os sistemas Dessecação + arado de aiveca + grade e Destruidor de soqueiras + grade + arado de aiveca + grade os detentores dos maiores índices de produtividade.

Palavras-chave: porosidade do solo; compactação; manejo do solo; cana-soca.

# EVOLUTION OF SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND PRODUCTIVITY OF SUGAR CANE SUBJECTED TO DIFFERENT SOIL PREPARATION SYSTEMS

## ABSTRACT

Knowledge of soil tillage systems and their influence on the evolution of soil physical properties, not only relevant to the cultivation of plant cane, but also changes in ratoon cane, have fundamental importance in relation to the supply of water, oxygen and nutrients in this culture throughout the following crops. This study evaluated the physical properties of the soil at plant cane and at the second ratoon in a Typic Haplustox soil in the savannah under various soil preparation systems. The experiment was established in Jalles Machado Mill in the agricultural year 2009/2010, in a sugarcane area, with the variety CTC 02. The experimental design was randomized block (RBD). Total porosity, macroporosity, microporosity and bulk density were analyzed as 6 x 2 split plot factorial (where soil preparation were factors in the plots and cultivation time were the subplot factors). The evaluations were done for each soil layer (0-0.2, 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m), in four replications. Resistance to penetration was conducted as 6 x 3 split plot factorial (where soil tillage was the factor in the plots, and the layers were subplot factors), with four replications. Treatments were the tillage systems used in soil preparation: 1. Moldboard + drying + Harrow; 2. Ripper + Harrow; 3. Desiccation + Direct furrowing; 4. Desiccation + Ripper + Direct furrowing; 5. Stubble trasher+ Ripper; 6. Stubble trasher+ Harrow + Moldboard + Harrow. The evaluations were performed in the year plant cane and second ratoon, to determine the progress of these soil properties. The data were submitted to analysis of variance and the averages compared by the Tukey test ( $P < 0.05$ ). There was no significant interaction between the tillage systems and cropping seasons ( $P > 0.05$ ). Significant differences were found only among the factors. The system of direct furrowing had greater macroporosity and total porosity in the layer 0-0.2 m. Reduction in macroporosity and total porosity values, as well as increases in soil density values in 0.4-0.6 m subsurface layer in the ratoon year in comparison to plant cane were observed. In contrast, soil resistance showed greater penetration in the 0.2-0.4 m layer. Productivity in plant cane was greater than in ratoon cane, and the systems desiccation Moldboard + Harrow and Stubble trasher+ grid + moldboard + grid had greater yield.

Keywords: soil porosity, compaction, soil management, ratoon.

## 1 - INTRODUÇÃO

O preparo do solo é uma etapa fundamental na implantação da cultura de cana-de-açúcar, sendo impossível obter elevados índices de produtividade se as raízes não encontrarem condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento, tanto no cultivo de cana-planta, quanto nas sucessivas soqueiras.

Entretanto, o intenso preparo inicial do solo com a utilização de arados, grades pesadas, subsoladores e a sulcação profunda para o plantio da cana-de-açúcar, são práticas impactantes na fase inicial do estabelecimento da cultura, pois afetam diretamente a estrutura do solo e a estabilidade de agregados (SOUZA; ALVES 2003).

Em um solo compactado, o sistema radicular concentra-se próximo à superfície (MULLER et al., 2001), tornando a planta mais susceptível a déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais (ROSOLEM et al., 1994). A densidade e a porosidade do solo refletem o impacto dos estresses aplicados ao solo pelos sistemas de preparo e pelo tráfego de máquinas na área (KAY; ANGERS, 2000). Estas avaliações são referentes às mensurações de compactação dos solos agrícolas, que para sua determinação, devem ser feitas avaliações de densidade do solo, porosidade total do solo e, principalmente da distribuição dos poros de diferentes tamanhos (macro e microporosidade) e da resistência do solo a penetração (CENTURION et al., 2001; FALLEIRO et al., 2003; ABREL et al., 2004).

O fato é que, quando as operações de preparo de solo não são executadas com tecnologias próprias para cada classe de solo em uso, as propriedades estruturais dos solos são alteradas. Tais alterações são mais pronunciadas em sistemas de preparo convencionais do que em sistemas conservacionistas, que visam manter o solo protegido e com qualidade (BERTOL et al., 2004). Na cultura da cana-de-açúcar, devido seus vários ciclos de produção (socas) e o revolvimento do solo apenas em sua reforma, torna-se dificultada a implantação do sistema em plantio direto, cabendo aos pesquisadores a descoberta de um cultivo mínimo, ou até mesmo sistemas convencionais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente, com ênfase em sustentabilidade agrícola.

A longevidade de um canalial está diretamente relacionada com seu preparo inicial do solo na fase de implantação do sistema de produção. Solos com boas propriedades químicas, físicas e biológicas aliadas a um programa de manejo de fertilidade do solo e estratégias agronômicas sustentáveis, como cultivo mínimo,

manutenção dos restos vegetais, gradagem e subsolagem, podem proporcionar canaviais mais produtivos e duradouros. Algumas usinas chegam a realizar mais de 10 cortes numa mesma área (DOMINGUES, 2012).

O conhecimento do uso de diferentes sistemas de preparo de solo e suas influências no comportamento físico dos solos, não somente, pertinentes ao cultivo da cana-planta, mas também suas alterações nas soqueiras de cana-de-açúcar, possuem fundamental importância em relação ao suprimento de água, oxigênio e nutrientes na cultura ao longo das seguintes safras. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar a evolução dos atributos físicos do solo em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico em cana-planta e segundo cana-soca submetida a diferentes sistemas de preparo de solo em sua implantação.

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na região do Cerrado Goiano, em sistema de produção de cana-de-açúcar, nas épocas de cana-planta e segunda cana-soca, nas safras 2009/2010 e 2011/2012, respectivamente. Na Usina Jalles Machado, localizada no município de Goianésia-GO, dentre as coordenadas 15° 10 ' de latitude sul e 49° 15' de longitude oeste, com aproximadamente 640 m de altitude e precipitação média anual de 1500 a 1700 mm.

### 2.1 – Implantação e Delineamento experimental

O experimento foi implantado no ano agrícola de 2009. Sendo as unidades experimentais constituídas de 19,5 metros de largura e 50 metros de comprimento, compostas por 13 linhas de cana-de-açúcar em espaçamento de 1,5 metros, totalizando uma área de 1000 m<sup>2</sup>. A área total do experimento foi 24000 m<sup>2</sup>. Separando os blocos e as parcelas, existia a presença de carregadores com larguras de 5 metros, cujo propósito foi para que efetuassem manobras com máquinas e implementos agrícolas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em esquema fatorial 6 x 2, com parcelas subdivididas (sendo os fatores de parcela os sistemas de preparo de solo e os fatores de subparcela as épocas de cultivo), sendo as camadas (0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m) avaliadas de forma isolada dentro de cada fonte de variação. Exceto para variável Resistência do solo a penetração, que foi avaliada em esquema fatorial 6 x 3, com parcelas subdivididas (sendo os fatores de parcela os sistemas de preparo de solo e os fatores de subparcela as camadas).

### 2.2 – Caracterização da área

Historicamente a área foi destinada ao sistema de produção de grãos (milho, soja, sorgo), até que no ano agrícola de 2003 foi implantado o sistema de produção de cana-de-açúcar. Foram realizadas seis safras consecutivas até o ano agrícola de 2009/2010, sendo neste ano o canavial reformado, e assim o experimento implantado.

#### 2.2 - Caracterização física do solo na área experimental.

A análise granulométrica da caracterização física do solo da área experimental foi realizada antes de sua implantação, foram obtidas através de amostragens realizadas

em camadas (0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m) e encaminhadas para o laboratório de análise de Solos e Nutrição de Plantas da Usina Jalles Machado (Tabela 01). O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico argiloso (EMBRAPA, 2006).

Tabela 01. Resultados da análise granulométrica do solo na área experimental na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2009.

Camadas (m)	AG	AF	Silte	Argila	Textura <sup>1</sup>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
0 – 0,2	143	330	96	431	Argilosa
0,2 – 0,4	115	338	98	450	Argilosa
0,4 – 0,6	116	319	105	461	Argilosa

AG = Areia grossa; AF = Areia fina.<sup>1</sup> Método da pipeta, (EMBRAPA, 2009).

### 2.3 - Caracterização química do solo em Cana-planta.

A caracterização química do solo da área experimental, antes de sua implantação (cana-planta) foi obtida através de amostragens realizadas nas camadas 0-0,2 e 0,2-0,4, sendo encaminhadas para o laboratório de análise de Solos e Nutrição de Plantas da Usina Jalles Machado (Tabela 02).

Tabela 02. Resultados da análise química do solo antes da implantação do experimento na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2009.

pH (CaCl <sub>2</sub> )	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	T	V	M	M.O.
--1:2,5--	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			---mg dm <sup>-3</sup> ---	---cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --		-----%-----	g kg <sup>-1</sup>		
	-----0 - 0,2m-----									
5,15	1,73	0,66	0,02	1,30	54,00	2,54	5,07	49,6	1,3	19,3
	-----0,2 - 0,4m-----									
4,63	0,45	0,32	0,37	0,95	6,83	3,02	3,80	20,0	33	13,9

pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

### 2.4 - Caracterização química do solo no ano de Cana-soca.

A caracterização química do solo na segunda cana-soca foram obtidas através de amostragens realizadas nas camadas de 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m e encaminhadas para o laboratório de análise de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Uberlândia (Tabela 03).

Tabela 03. Resultados da análise química do solo na segunda cana-soca em experimento na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, 2012.

pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	T	V	M	M.O.
--1:2,5--	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	---mg dm <sup>-3</sup>	---	--cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	--	-----%	-----	g kg <sup>-1</sup>
-----0 - 0,2 m-----										
6,02	1,45	0,78	0,04	3,26	52,04	2,22	5,59	51,23	2,99	23,8
-----0,2 - 0,4 m-----										
5,21	2,34	0,32	0,24	2,24	24,79	2,70	5,42	28,70	21,42	16,7
-----0,4 - 0,6 m-----										
5,21	0,35	0,24	0,17	0,48	19,08	2,30	2,94	21,62	20,91	13,9

pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

## 2.5 - Condições climáticas Gerais

O clima predominante da região é o tipo climático Aw (Megatérmico) ou tropical de savana, quente e úmido com verões chuvosos de acordo com a classificação de Köppen.

### 2.5.1 - Cana-planta

Durante a condução do experimento, ocorreram variações de temperatura de 21,8 °C, mínima, no mês de junho, a 26,1 °C em setembro de 2009, máxima (Figura 01). Dados da estação meteorológica da usina Jalles Machado, indicaram um acúmulo de 1435 mm de precipitação durante o ano de 2009 e 570 mm nos primeiros meses do ano de 2010 (Figura 02).

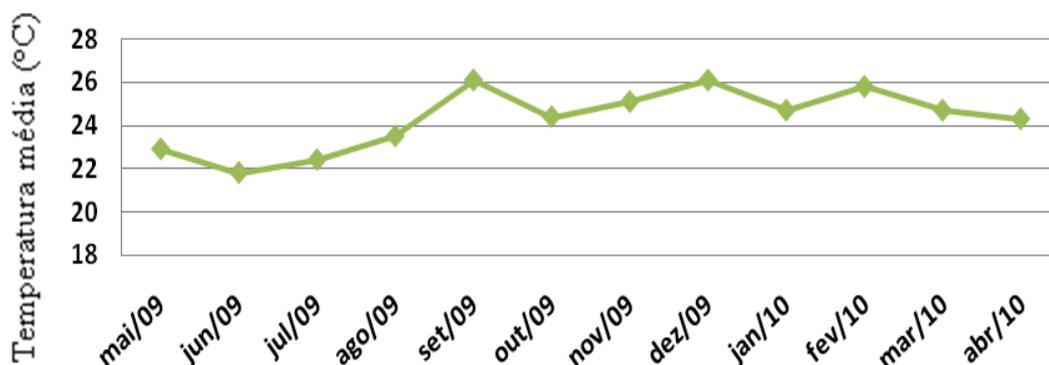


Figura 01 – Temperatura média (°C) durante a condução do experimento em cana-planta, entre maio/2009 e Abril/2010. Fonte: Usina Jalles Machado.

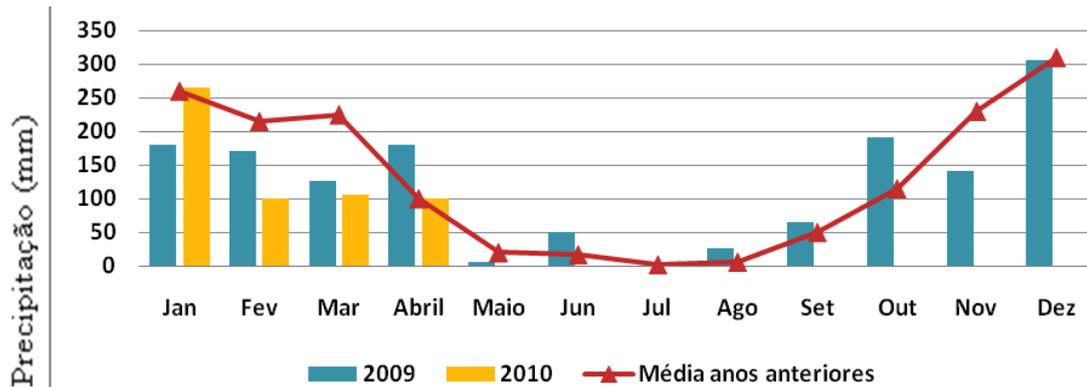


Figura 02 - Pluviometria média (mm) durante a condução do experimento em cana-planta, entre 2009 e 2010. Fonte: Usina Jalles Machado.

### 2.5.2 - Cana-soca

Durante a condução do experimento na segunda soqueira, ocorreram variações de temperatura de 20,9 °C, mínima, no mês de junho, a 27,8 °C em setembro de 2011, máxima (Figura 03). Dados da estação meteorológica da Usina Jalles Machado, indicaram um acúmulo de 1295 mm de precipitação durante o ano de 2011 e 776 mm nos primeiros meses do ano de 2012 (Figura 04).

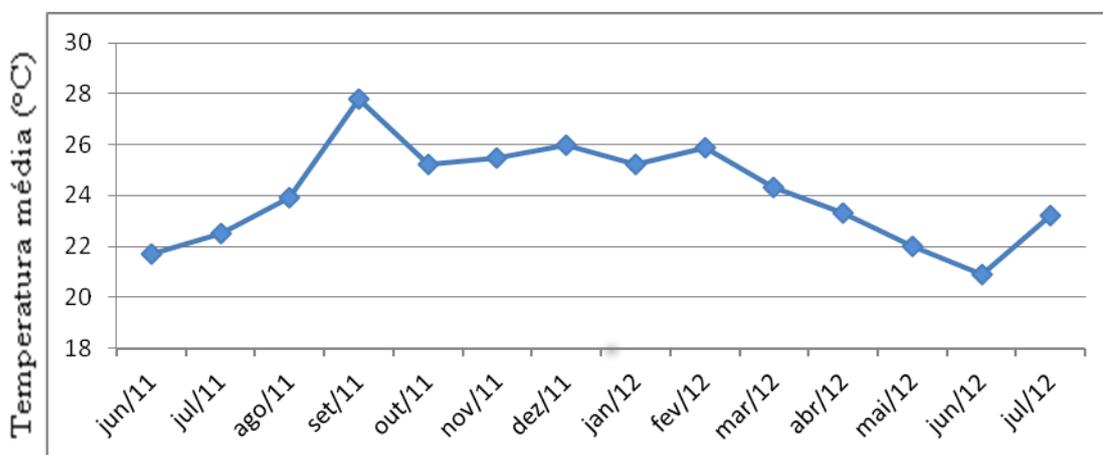


Figura 03– Temperatura média (°C) durante a condução do experimento em cana-soca, entre Junho/2011 e Julho/2012. Fonte: Usina Jalles Machado.

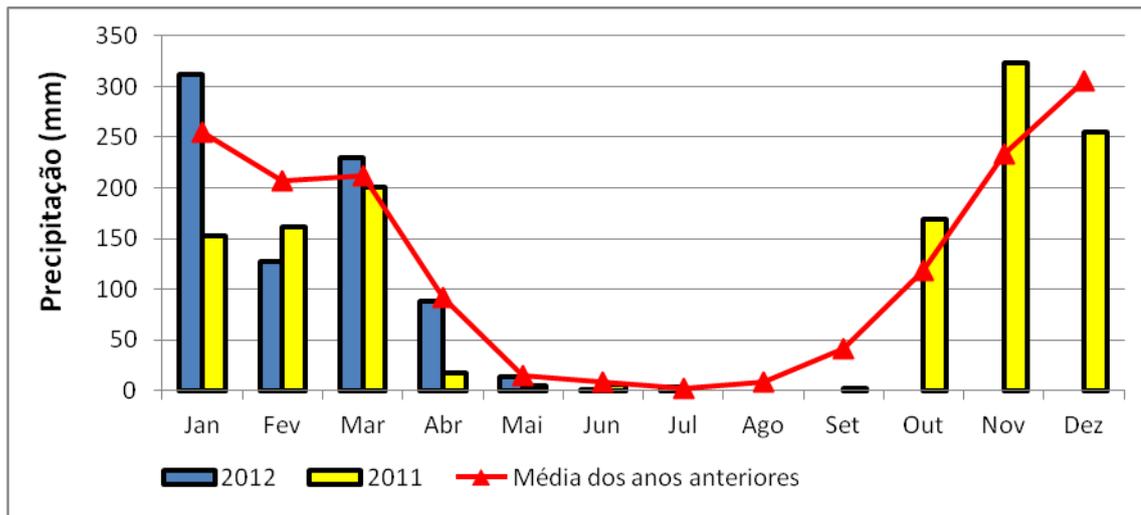


Figura 04 – Pluviometria média (mm) durante a condução do experimento em cana-soca, entre 2011 e 2012. Fonte: Usina Jalles Machado.

## 2.6 - Tratamentos

Os tratamentos consistiam em diferentes opções de preparo de solo para a implantação do sistema de produção da cultura da cana-de-açúcar, sendo eles:

Tratamento 01: Dessecação + Arado de Aiveca + Grade Leve (AA+G);

Tratamento 02: Subsolador + Grade Leve (SS+G);

Tratamento 03: Dessecação + Sulcação (SD);

Tratamento 04: Dessecação + Subsolador + Sulcação Direta (SS+SD);

Tratamento 05: Destruidor de Soqueira + Subsolador (DS+SS);

Tratamento 06: Destruidor de soqueira + Grade Média + Arado de Aiveca + Grade Leve (DS+GAAG);

De acordo com cada tratamento, foram realizadas as seguintes operações de manejo para implantação da cultura:

Dessecação - Foram utilizados herbicidas de largo espectro, glyphosate adicionando 2,4 – D, nas doses de 3,0 e 2,0 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Correção da acidez do solo – O corretivo utilizado foi um calcário dolomítico com PRNT de 85 %, sendo que a dose de 1,5 t ha<sup>-1</sup> foi distribuída em todos os tratamentos de forma uniforme.

Aração - Foi realizada com arado de aiveca, atingindo uma profundidade efetiva de 0,35 a 0,4m.

Gradagem - Foi utilizada uma grade leve (niveladora), atingindo a profundidade de 0,15 a 0,2m.

Subsolagem - Foi utilizado um subsolador, atuando em profundidades médias de 0,4m.

Sulcação Direta – Foi realizado a abertura de sulco com sulcador, atingindo profundidades de 0,3 a 0,4m.

Foi realizada uma gessagem após a implantação de todos os tratamentos. A dose fornecida foi de 800 kg ha<sup>-1</sup> distribuída a lanço, sendo única pra todos os tratamentos.

## 2.7 - Plantio da cana-de-açúcar

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado manualmente no dia 25 de abril de 2009, com auxílio do implemento agrícola Sulcador, onde os sulcos abertos atingiram aproximadamente 0,35 – 0,4m de profundidade, colocando-se 18 gemas por metro, da variedade CTC 02. Logo após a distribuição dos toletes nos sulcos, realizou-se a cobertura dos mesmos.

## 2.8 – Manejo de adubação em cana-planta

A adubação de plantio foi realizada no sulco com distribuição de 250 kg ha<sup>-1</sup> de Fosfato Monoamônio (MAP), equivalente a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 27 kg ha<sup>-1</sup> de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Foi realizada também uma adubação de cobertura no dia 05 de setembro de 2009 com o formulado líquido 05-00-13 + 0,3% de Zn + 0,3 % de B, na quantidade de 1000 L ha<sup>-1</sup>, equivalente a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, 130 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn e de B.

## 2.9 - Manejo de adubação em Cana-Soca

A adubação nas soqueiras, tanto em seu primeiro ano, quando em seu segundo ano, foi realizada de acordo com as exigências da cultura e estimativas de produtividade, utilizando 90 Kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Aplicados em cobertura, em formulado líquido.

## 2.10 - Avaliações dos atributos físicos do solo em Cana-planta e Cana-soca.

Foram coletadas amostras do tipo indeformadas nas camadas 0,0 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 metros, nas parcelas, sendo feita quatro repetições. Foi utilizado um amostrador tipo Uhland e um anel de metal de Koppecky com volume interno definido para determinar a porosidade total do solo, macroporosidade, microporosidade e a densidade do solo. Todas as determinações foram realizadas de acordo com a metodologia da Embrapa (1997).

A Resistência do solo á penetração foi realizada após a colheita da área experimental, tanto em cana-planta, quanto na segunda cana-soca. As camadas avaliadas foram 0,0 – 0,20; 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 metros, com quatro repetições, em cada parcela, sendo os pontos de amostragem selecionados de forma aleatória nas entre-linhas de cana-de-açúcar. Em cana-planta foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR, desenvolvido por STOLF et al. (1983), em cana-soca a coleta dos dados foi realizada com auxílio do PenetroLOG (penetrômetro digital). Também foi realizada a quantificação dos valores de umidade do solo em ambos períodos de avaliação.

## 2.10 – Produtividade em Cana-planta e Cana-soca

A produtividade foi estimada em toneladas de colmos por hectare (TCH). Sendo realizada a queima do canavial na área experimental e, logo após, a colheita foi feita de forma manual. Posteriormente, foram pesadas, com o auxílio de balança adaptada a um carregador de cana, as cinco linhas centrais de todos os cinquenta metros da parcela, totalizando uma área avaliada de 375m<sup>2</sup> por parcela, sendo posteriormente os dados extrapolados para um hectare.

## 2.11 - Análises estatísticas

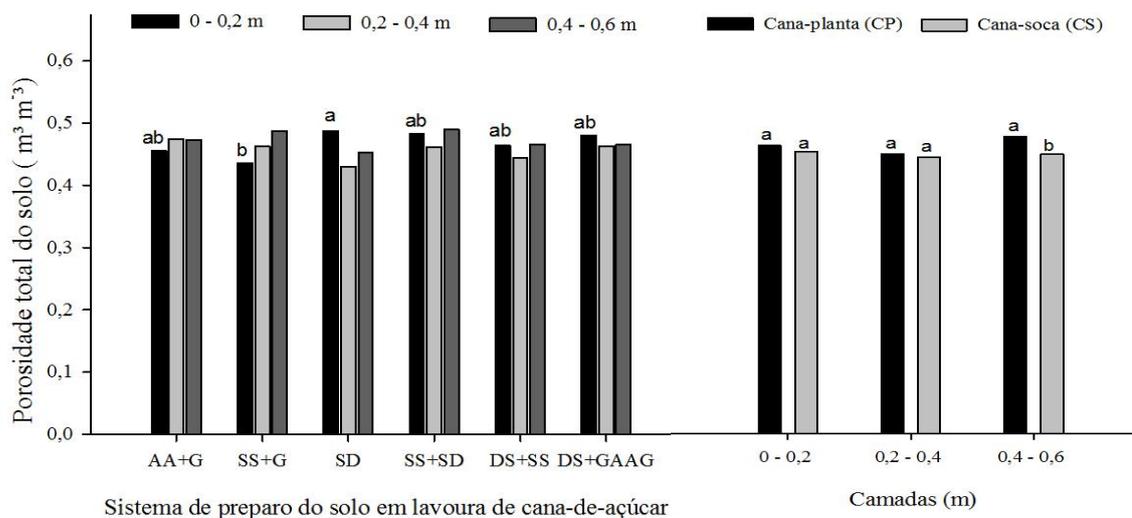
Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $P < 0,01$  e  $0,05$ ) e, quando significativas às médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), pelo programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

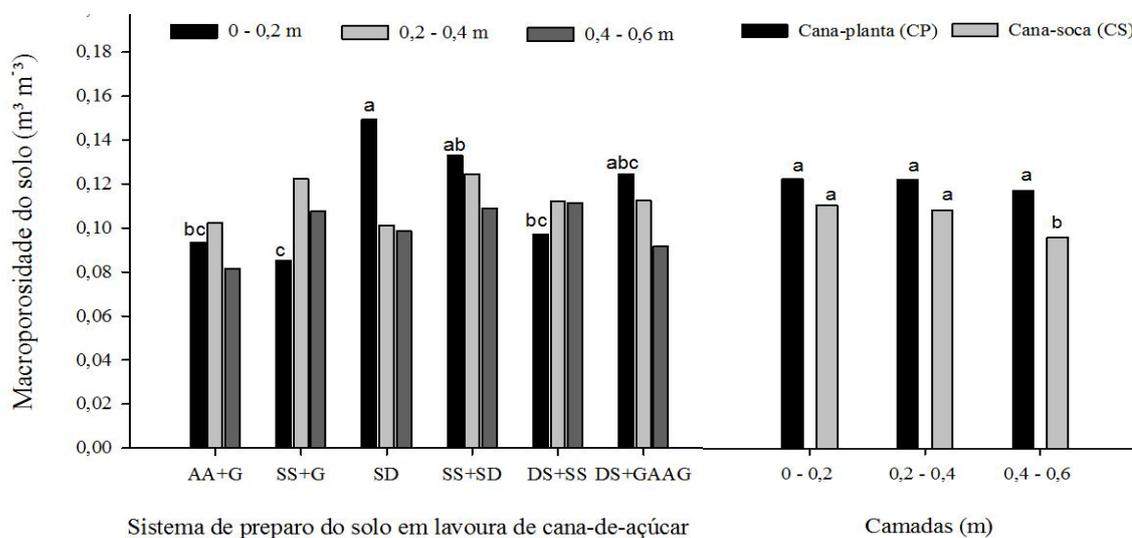
Não foi observada interação significativa ( $P>0,05$ ) para os atributos físicos do solo entre os diferentes sistemas de preparo de solo e as épocas avaliadas (cana planta e cana-soca), dentro de cada camada de solo (0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m). Entretanto, as diferenças verificadas ocorreram apenas de forma isolada nos fatores.

Na camada 0-0,2m foi observado superioridade nos valores médios de porosidade total e macroporosidade do solo para o sistema de preparo com uso de Sulcação direta (SD), como observado nas Figuras 05 e 06. Os maiores valores foram obtidos, provavelmente, ao maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, visto que é uma área de reforma de canavial. Estes resultados divergem dos obtidos por Tormena et al., (2002), que em trabalho avaliando o plantio direto (revolvimento apenas de sulcação na linha de plantio), preparo mínimo (escarificação seguido por grade niveladora) e plantio convencional (arado de aiveca seguido por grade niveladora) em Latossolo Vermelho distrófico, constatou maiores valores de macroporosidade e porosidade total para camadas superficiais, em sistemas que priorizavam sua mobilização intensa. De acordo com Domingues (2012) o maior valor da macroporosidade nos sistemas que menos revolveram o solo pode ser explicado pelo fato da cultura de cana-de-açúcar acumular uma grande quantidade de raízes nesta camada, o que favorece a manutenção dos macroporos. Na substituição das raízes, entre um corte e outro, elas secam e o poro permanece.

O preparo de solo com Subsolador + grade (SS+G) apresentou baixos valores médios de macroporosidade do solo ( $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) na camada de 0-0,2m, valores inferiores ao limite considerado como crítico. De acordo com Araújo et al., (2004) o valor mínimo do espaço poroso ocupado pelo ar deve ser de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Sendo este, ainda é possível o desenvolvimento normal do sistema radicular da cana-de-açúcar (VOMOCIL; FLOCKER, 1961) e da maioria das culturas (ARGENTON et al., 2005). Os demais sistemas de preparo de solo obtiveram valores médios acima de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , indicando que as condições de aeração foram adequadas ao suprimento de oxigênio e desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. Em relação à porosidade total do solo, considera-se um solo ideal aquele que apresenta cerca de 50% do seu volume como sendo espaço poroso (CAMARGO; ALLEONI, 1997). No entanto, todos os sistemas de preparo de solo apresentaram valores inferiores, porém próximos aos ideais.



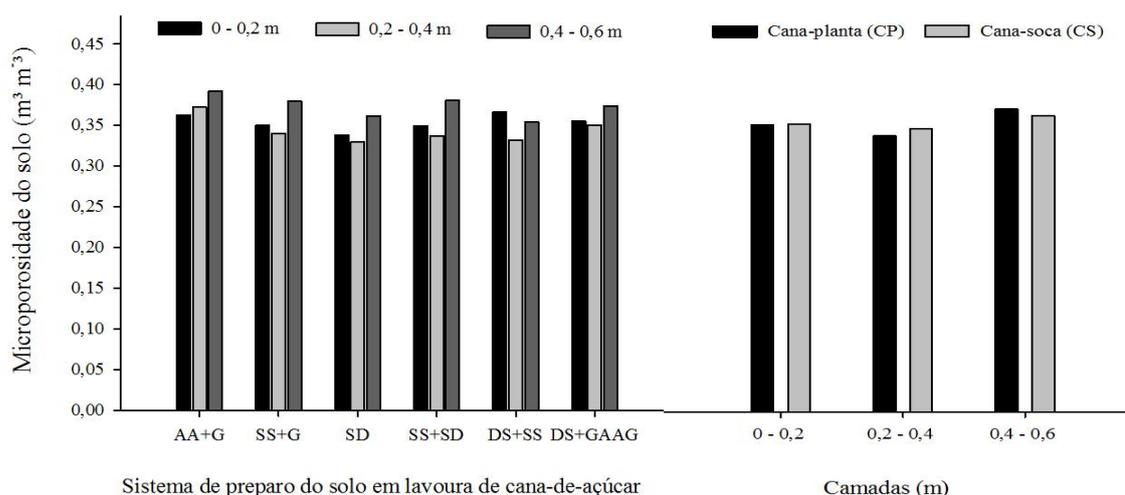
**Figura 05.** Porosidade do solo, em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas de cultivo em cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; CP: Cana-planta; CS: Cana-soca; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).



**Figura 06.** Macroporosidade do solo, em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas de cultivo em cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; CP: Cana-planta; CS: Cana-soca; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

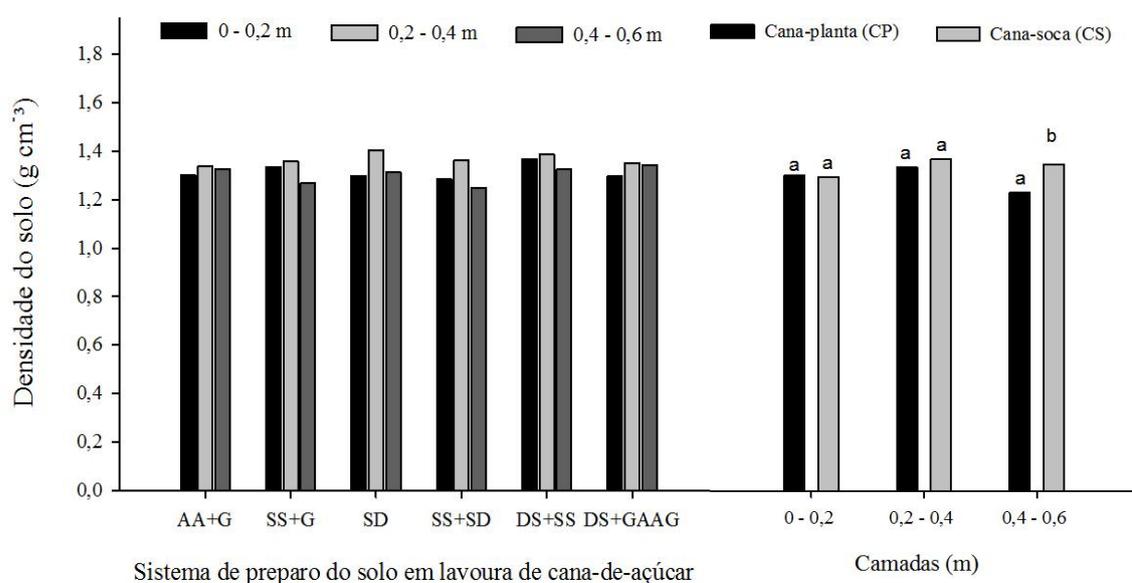
Houve redução de 18% nos valores médios de macroporosidade do solo para a camada de 0,4-0,6m no cultivo de cana-planta ( $0,11\text{m m}^{-3}$ ) em relação ao cultivo de segunda cana-soca ( $0,09\text{m m}^{-3}$ ). Evidenciando a influência dos sistemas de preparo de solo em camadas subsuperficiais. Centurion et al., (2007) em experimento com Latossolo Vermelho distrófico (LVd), comparando cerrado natural, cana-planta, cana-soca de segundo ano e cana-soca de quarto ano, observaram redução nos valores de macroporosidade do solo apenas no quarto ano de soqueira, os autores afirmaram que a insignificância verificada entre cana-planta e cana-soca de segundo ano ocorreu devido ao pequeno tempo de instalação da cultura, e que, a diferença verificada entre a cana-planta e a cana-soca de quarto ano, ocorreu provavelmente, devido ao tráfego intenso de máquinas e implementos agrícolas nestes sistemas de produção. Camillotti et al., (2005) em Latossolo Vermelho distrófico típico com o objetivo de avaliar o efeito prolongado de diferentes sistemas de preparo de solo também observaram uma sensível redução da macroporosidade do solo após a realização do quarto corte de cana-de-açúcar para as camadas subsuperficiais, independente do preparo de solo em estudo.

Os valores de microporosidade do solo não diferiram estatisticamente ( $P>0,05$ ) entre os sistemas de preparo de solo e as épocas, em nenhuma das respectivas camadas avaliadas (Figura 07). Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Falleiro et al., (2003), Tormena et al., (2004) e Centurion et al., (2007).



**Figura 07.** Microporosidade do solo, em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; CP: Cana-planta; CS: Cana-soca; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

Foi verificado aumento de 8,8% nos valores médios de densidade do solo (Ds) na cana-soca (1,36 g cm<sup>-3</sup>) em relação ao ano de cana-planta (1,24 g cm<sup>-3</sup>), na camada de 0,4-0,6m (Figura 08). Estes resultados corroboraram com Centurion et al., (2007), que estudando um Latossolo Vermelho distroférico, verificaram aumentos nos valores de densidade do solo no segundo ano de cana-soca em relação ao ano de cana-planta. Camilotti et al., (2005) em Latossolo Vermelho distrófico típico com o objetivo de avaliar o efeito prolongado de sistemas de preparo do solo observaram aumento pronunciado na densidade do solo após a realização do quarto corte da cana-de-açúcar para as camadas compreendidas entre 0,2 e 0,5m, independentemente do manejo de solo adotado. Reinert e Reichert (2006) afirmaram que a densidade do solo tende a aumentar com o aumento da profundidade no perfil, isto se deve, provavelmente, ao menor teor de matéria orgânica, menor agregação, menor quantidade de raízes e compactação causada pela massa das camadas superiores.

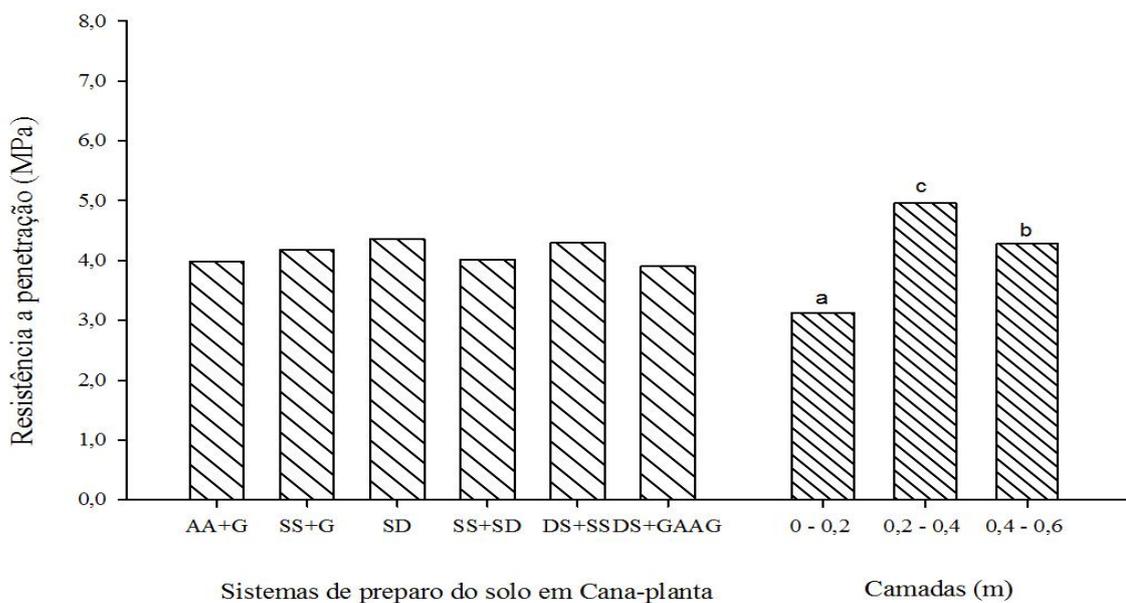


**Figura 08.** Densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup>, em diferentes sistemas de preparo de solo e épocas de avaliação no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2010 e 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; CP: Cana-planta; CS: Cana-soca; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

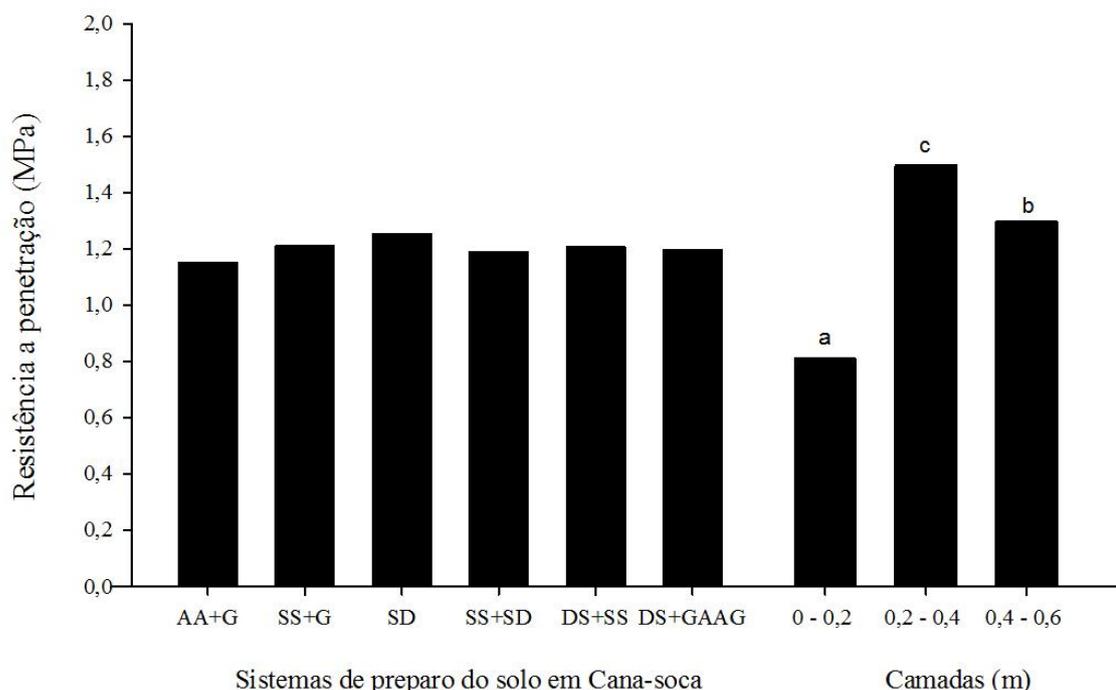
Os valores médios de Ds foram considerados no limite superior crítico para o desenvolvimento adequado da maioria das culturas de interesse econômico. De acordo com Segato et al., (2006), o desempenho das raízes da cana-de-açúcar pode ser prejudicado à medida que os valores de densidade do solo superem 1,2 g cm<sup>-3</sup>.

Os valores de Resistência do solo a penetração (RP) foram avaliados de forma isolada perante os cultivos de cana-planta (Figura 09) e cana-soca (Figura 10), visto que, as distintas metodologias utilizadas e as condições de umidade que os solos apresentaram frente às duas épocas estudadas (Tabela 04) impossibilitou a realização de uma análise conjunta entre os dados. No entanto, os resultados de RP não apresentaram interações significativas entre os sistemas de preparo de solo e as camadas ( $P>0,05$ ), sendo verificada diferença isolada apenas em relação às camadas, tanto em cana-planta, como em cana-soca.

A camada de 0-0,2m apresentou os menores valores de RP (3,13 e 0,81 MPa, em cana-planta e cana-soca, respectivamente), esses valores ocorreram, provavelmente, devido esta camada se relacionar à ação efetiva do revolvimento do solo pelos implementos agrícolas, além de ser, onde conseguimos o maior aporte de matéria orgânica pelos resíduos culturais das safras anteriores.



**Figura 09.** Resistência do solo a penetração, em MPa, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-planta na região do Cerrado, 2010. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; CP: Cana-planta; CS: Cana-soca; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).



**Figura 10.** Resistência do solo a penetração, em MPa, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-soca na região do Cerrado, 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; CP: Cana-planta; CS: Cana-soca; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 04.** Umidade do solo (%) no cultivo de cana-planta e cana-soca em diferentes preparos de solo.

Manejo/ camada	AA+G	SS+G	SD	SS+SD	DS+SS	DS+GAAG
----- Cana-planta -----						
0-0,2	18,4	17,1	19,9	18,4	20,3	17,5
0,2-0,4	19,3	18,1	20,2	19,3	20,4	18,9
0,4-0,6	20,4	18,8	20,2	21,4	19,5	18,5
----- Cana-soca -----						
0-0,2	23,9	22,5	25,3	23,6	20,9	20,3
0,2-0,4	20,4	25,4	21,8	24,3	23,1	24,2
0,4-0,6	22,5	25,4	23,5	23,9	20,4	20,1

Tanto em cana-planta quanto em cana-soca, foram verificadas diferenças entre as camadas de 0-0,2m, 0,2-0,4m e 0,4-0,6m, sendo que, na camada intermediária (0,2-0,4m) foi encontrado os maiores valores de RP, apresentando superioridade em relação às camadas adjacentes de 0-0,2 e 0,4-0,6m. A formação desta faixa de RP na camada de 0,2-0,4m se deve, possivelmente, pela operação de descompactação dos solos, que coincidem com o final do percurso vertical de alcance das ferramentas dos implementos agrícolas. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et al., (2009), que estudando a resistência do solo a penetração em Latossolo Vermelho distrófico do

Triângulo Mineiro sob diferentes sistemas de preparo de solo, dentre eles, aração, gradagem e plantio direto, verificaram este comportamento na camada de 0,2-0,4m, porem sem diferenças estatísticas, segundo estes autores, a maior compactação subsuperficial pode ser atribuída às próprias ferramentas de preparo do solo, que promoveu um espelhamento logo abaixo do ponto de contato da máquina com o solo. De acordo com Mantovani (1990) as grades pesadas são implementos que podem causar compactação em camadas subsuperficiais, principalmente quando a profundidade de trabalho é constante ao longo dos anos. Souza et al., (2005), destacaram que o preparo de solo inadequado pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão, propiciando a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas movimentadas pelos equipamentos.

O preparo do solo para implantação da cultura de cana-de-açúcar e suas atividades de manejo cultural e colheita, consistem de etapas que necessitam de um uso intenso de máquinas, implementos agrícolas e caminhões com alta capacidade de transporte de cargas. Estas atividades dentro dos campos de produção em condições inadequadas de umidade do solo tendem a promover a compactação dos mesmos, tanto em superfície, quanto em subsuperfície. Segundo Cunha et al., (2009), o tráfego de máquinas nas lavouras deve observar a umidade do solo, e deve-se evitar trabalhar em condições com alta umidade. Entretanto, nos campos de produção nem sempre isso é possível, o que reforça a necessidade de conhecer o comportamento do solo perante às pressões aplicadas em condições extremas de umidade.

A RP verificada no ano de cana-planta e na segunda cana-soca divergiram em função das distintas metodologias aplicadas e das condições de umidade do solo nas épocas de avaliação, entretanto, demonstraram valores médios de RP de 3,29 MPa. Lipiec e Hatano (2003) citaram que valores de resistência à penetração variando de 1 a 1,7 MPa começam a causar redução do desenvolvimento radicular, e que valores entre 3 e 4 MPa causam a paralisação do crescimento das raízes. Isto dependendo da umidade, tipo de solo e distribuição do tamanho de poros, especialmente quando para a medição se utilizam cones de diâmetro maior que o diâmetro das raízes. Cunha et al., (2009) afirmaram que a resistência do solo a penetração é um índice integrado pela compactação do solo, teor de água, textura e tipo de argila e dos outros minerais que constituem o solo. Domingues (2012) afirma que, os valores de resistência do solo a penetração são bastante variáveis por causa da influência da umidade do solo e da

textura, o que torna imprecisa as comparações na literatura, mesmo em solos semelhantes.

A produtividade da cultura de cana-de-açúcar não apresentou interação significativa entre os sistemas de preparo de solo e as épocas avaliadas ( $P>0,05$ ). No entanto, os valores das médias dos sistemas com revolvimento mais intenso do solo, com uso de grades e arados de aivecas, como AA+G e DS+GAAG foram superiores, 85,32 e 85,65  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. Como observado na Figura 10.

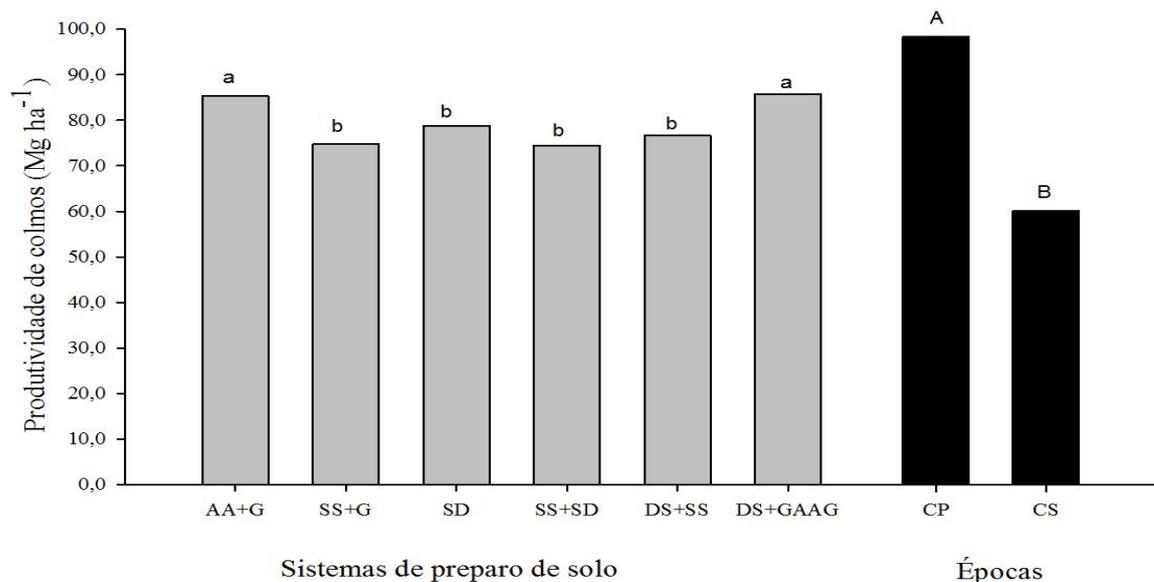


Figura 11. Produtividade de colmos, em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , em diferentes sistemas de preparo do solo em cana-planta e cana-soca. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si os sistemas de preparo de solo, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

Os valores médios de produtividade de colmos em cana-plana ( $98,46 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foram superiores aos valores de segundo ano de cana-soca ( $60,08 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Estas quedas de produtividade em cana-soca podem estar relacionadas á redução da macroporosidade e porosidade total do solo e ao aumento da densidade do solo nas camadas de 0,4-0,6m. As irregularidades climáticas no presente ano agrícola e o controle pouco eficiente das plantas daninhas na área experimental também contribuíram para os baixos índices de produtividade nesta época.

#### 4 - CONCLUSÕES

- Na camada 0-0,2m a sulcação direta foi a que proporcionou maiores valores de porosidade total e macroporosidade, enquanto o uso de subsolador + grade niveladora os menores.
- Independente do sistema de preparo do solo, houve um aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total e macroporosidade na camada de 0,4-0,6m.
- A camada de 0,2-0,4m apresentou maior resistência a penetração, independentemente do sistema de preparo de solo empregado.
- A produtividade de colmos na segunda cana-soca foi maior que a cana-planta.

## 5 - REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519- 531, 2004.

ARAÚJO, A. M.; TORMENA, C. A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28 p. 337-345, 2004.

ARGENTON, J.; et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma de estrutura de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-35, 2005.

BERTOL, I.; et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

CAMILOTTI, F.; et al. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 189-198, 2005.

CEDDIA M. B.; et al., Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no estado do Espírito Santo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1467-1473, 1999.

CENTURION, L. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeitos de forma de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CENTURION, J. F.; et al. 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**, Viçosa, 31, p. 199-209, 2007.

CUNHA, J. P. A. R., CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n.3, p. 371-375, 2009.

DOMINGUES, LUIS AUGUSTO DA SILVA. **Atributos físicos do solo, desenvolvimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em preparos de solo em áreas de renovação e expansão**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p. 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 212 p. 1997.

FALLEIRO, R. M.; et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Campinas, v. 6, p. 36 – 41, 2008.

KAY, B. D.; ANGERS, D. A. Soil structure. In: Summer, M.E. (ed). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, p.A229- A275, 2000.

LIPIEC, J. & HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, 116, p. 107-136. 2003.

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. **Curso de uso e manejo da irrigação**, 5. Sete Lagoas, Embrapa/ CNPMS, 11p. 1990.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25 p. 531-538, 2001.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades Físicas do Solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 18p. 2006.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 259-266, 1994.

SEGATO, S. V; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: CP 2, 451 p. 2006.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7, n. 1, 2003.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 4, n. 2, p. 249-256, 2005.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, p. 18-23, 1983.

TORMENA, C. A.; et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 59, n. 4, p. 795- 801, 2002.

TORMENA, C. A.; et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28 p. 1023-1031, 2004.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 4, n. 2, p. 242-6, 1961.

### CAPÍTULO III

#### AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO E PRODUTIVIDADE DE CANA-SOCA SUBMETIDA Á DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DE SOLO

##### RESUMO

O monitoramento dos atributos físicos do solo em soqueiras de cana-de-açúcar tem como função desvendar uma forma sustentável de manejo do solo que minimize as quedas de produtividade e maximize a longevidade dos canaviais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a agregação de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argiloso do cerrado em cultivo de cana-soca. O experimento foi realizado na Usina Jalles Machado no ano agrícola de 2009, em área de reforma de canavial, utilizando a variedade CTC 02, sendo avaliado em sua segunda cana-soca, no ano 2012. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 6 x 3, com parcelas subdivididas (sendo os fatores de parcela, os preparo de solo e os fatores de subparcela, as camadas), em quatro repetições. Os tratamentos corresponderam aos sistemas de preparo de solo: 1. Dessecação + Arado de Aiveca + Grade; 2. Subsolador + Grade; 3. Dessecação + Sulcação Direta; 4. Dessecação + Subsolador + Sulcação direta; 5. Destruidor de Soqueira + Subsolador; 6. Destruidor de Soqueira + Grade + Arado de Aiveca + Grade. Foi avaliado o diâmetro médio geométrico e a distribuição dos agregados em classes de 4-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25 e <0,25mm, matéria orgânica do solo, argila dispersa em água e seu respectivo índice de floculação, nas camadas de 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m, também foi avaliada a produtividade da cana-soca. As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (ANAVA) e, quando significativas ( $P < 0,05$ ), foram submetidas ao teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). O sistema com uso de Sulcação direta apresentou os menores valores de Argila dispersa em água e maiores Índices de floculação. Já o sistema com uso de Destruidor de soqueiras + grade + arado de aiveca + grade, revelou os maiores valores de Argila dispersa em água e os menores Índices de floculação. Os maiores níveis de Matéria orgânica do solo foram encontrados na camada de 0-0,2m no sistema com Sulcação direta. Na camada de 0-0,2m foi verificado os maiores valores de Diâmetro médio geométrico e classes de agregados entre 4-2mm, em sistemas com Sulcação direta e Subsolador + sulcação direta. A maior produtividade foi encontrada no sistema com uso de Arado de aiveca + grade e Destruidor de soqueiras + grade + arado de aiveca + grade, entretanto, o sistema com Sulcação direta, além de ter contribuído para melhor qualidade física do solo, proporcionou valores de produtividade muito próximos aos sistemas com uso em comum de Arado de aiveca.

Palavras-chave: agregados; cana-de-açúcar; manejo do solo; cerrado.

## AGGREGATION OF A TYPIC HAPLUDOX SOIL AND RATOON CANE PRODUCTIVITY SUBJECTED TO DIFFERENT SOIL PREPARATION SYSTEMS

### ABSTRACT

The monitoring of soil physical properties in ratoon cane sugar has the function to unveil a sustainable soil management to minimize declines in productivity and maximize the longevity of reeds. The aim of this study was to evaluate the aggregation of a Typic Hapludox cerrado in ratoon crop. The experiment was conducted at the Plant Jalles Machado in the agricultural year 2009 in the area of sugarcane, using a variety CTC 02, being evaluated in its second ratoon cane, in the year 2012. The experimental design was a randomized block design (RBD) in 6 x 3 factorial split-plot (with the factors of the plots, the soil tillage and subplot factors, layers), with four replications. The treatments of tillage systems: 1. Moldboard + drying + Harrow 2. Ripper + Harrow 3. Desiccation furrowing + Direct; 4. Desiccation Ripper + Direct furrowing; 5. Stubble trasher+ Ripper; 6. Stubble trasher+ Harrow + Moldboard + Harrow. The geometric mean diameter and the aggregate distribution in classes 4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25 and <0.25 mm, soil organic matter, water dispersible clay and its respective flocculation index were evaluated at 0-0.2, 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m. Also, ratoon cane productivity was evaluated. The variables were subjected to analysis of variance (ANOVA) and when significant ( $P < 0.05$ ), the averages were compared by the Tukey test ( $P < 0.05$ ). The system with the use of direct furrowing showed the lowest values of clay dispersed in water and the greatest flocculation index. In contrast, the system with the use of Stubble trasher + Harrow + moldboard + Harrow showed the greatest value of clay dispersed in water and smallest flocculation index. The greatest levels of soil organic matter were found in the 0-0.2 m layer of the system with direct furrowing. The greatest values of geometric mean diameter and aggregate size classes between 4-2mm, in the 0-0.2 m layer, were found in the systems with direct furrowing and ripper + direct furrowing. The greatest yield was obtained with the system using moldboard + Harrow and stubble trasher + Harrow + moldboard + Harrow; however, the system with direct furrowing, besides contributing for better soil physical quality, had productivity values very close to systems with joint use of the moldboard plow.

Key-words: aggregates, cane sugar, soil management; savannah.

## 1 - INTRODUÇÃO

O intenso preparo inicial do solo com a utilização de arados, grades pesadas, subsoladores e a sulcação profunda para o plantio da cana-de-açúcar são práticas impactantes na fase inicial do estabelecimento da cultura, pois afetam diretamente a estrutura do solo e a estabilidade de agregados (SOUZA; ALVES 2003). Todavia, a utilização de sistemas de preparo com mínimo ou nenhum revolvimento do solo tem sido cada vez mais utilizado, por promover inúmeros benefícios, como, manutenção da estrutura, porosidade, retenção e infiltração da água no solo (BAYER, 1996). Com isso, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física tornam fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (CENTURION et al., 2007).

De acordo com Santos et al., (2012) a maior ou menor facilidade de dispersão e floculação da fração argila, juntamente com o estado de agregação do solo merecem destaque por estarem diretamente relacionadas com a susceptibilidade dos solos à erosão e a retenção de água e nutrientes. Estudos que exploram as relações entre os agregados e a matéria orgânica do solo vêm sendo realizados nos últimos anos, como os que identificaram, além da fração mineral, a fauna do solo, raízes e variáveis ambientais, como fatores que favorecem a formação dos agregados do solo (SALTON et al., 2008). Para um mesmo tipo de solo, diferentes práticas de manejo poderão afetar diretamente suas propriedades, incluindo os processos de agregação (CASTRO FILHO et al., 1998). Assim, o estado de agregação do solo é de grande importância para as atividades agrícolas, uma vez que está relacionado com a aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água (KOHNEKE, 1968).

Dentre os métodos mais usados para medir a estabilidade de agregados, aplicam-se forças de desintegração em uma amostra de agregados grandes (4 mm) e mede posteriormente a distribuição de tamanho de agregados resultantes (GOMIDES., 2009). Geralmente, os agregados de menor tamanho são mais estáveis, sendo mais difícil à manutenção dos agregados de maior tamanho (BRADY; WEIL, 2007).

O conhecimento do comportamento físico do solo no cultivo de cana-de-açúcar, principalmente quando referimos as soqueiras, tem mostrado grande importância para alcançar maiores índices de produtividade, além de uma maior longevidade dos canaviais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento dos atributos

físicos do solo e a produtividade da cana-soca em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico submetido a diferentes sistemas de preparo de solo em sua implantação.

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 – Localização da área experimental

A pesquisa foi realizada na região do Cerrado Goiano, em sistema de produção de cana-de-açúcar, em segunda cana-soca, na Usina Jalles Machado, localizada no município de Goianésia-GO, dentre as coordenadas 15° 10 ' de latitude sul e 49° 15' de longitude oeste, com aproximadamente 640 m de altitude e precipitação média anual de 1500 a 1700 mm.

### 2.2 – Implantação e Delineamento experimental

O experimento foi implantado no ano agrícola de 2009. As unidades experimentais constituíram-se de 19,5 metros de largura, 50 metros de comprimento, compostas por 13 linhas de cana-de-açúcar em espaçamento de 1,5 metros, totalizando uma área de 1000 m<sup>2</sup>. A área total do experimento foi 24000 m<sup>2</sup>. Separando os blocos e as parcelas existiam a presença de carregadores com larguras de 5 metros, cujo propósito foi para que efetuassem manobras com máquinas e implementos agrícolas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, em esquema fatorial 6 x 3 com parcelas subdivididas (sendo os preparos de solo, os fatores de parcela e as camadas, os fatores de subparcela).

### 2.3 – Caracterização da área

Historicamente a área foi destinada ao sistema de produção de grãos (milho, soja, sorgo), até que no ano agrícola de 2003 foi implantado o sistema de produção de cana-de-açúcar. Foram realizadas seis safras consecutivas até o ano agrícola de 2009/2010, sendo neste ano o canavial reformado, e assim o experimento implantado.

### 2.4 - Caracterização física do solo na área experimental.

A análise granulométrica da caracterização física do solo da área experimental foi realizada antes de sua implantação, foram obtidas através de amostragens realizadas em camadas (0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m) e encaminhadas para o laboratório de análise de

Solos e Nutrição de Plantas da Usina Jalles Machado (Tabela 01). O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico argiloso (EMBRAPA 2006).

Tabela 01. Resultados da análise granulométrica do solo na área experimental na Usina Jalles Machado, Goianésia-GO, 2009.

Camadas (m)	AG	AF	Silte	Argila	Textura <sup>1</sup>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
0 – 0,2	143	330	96	431	Argilosa
0,2 – 0,4	115	338	98	450	Argilosa
0,4 – 0,6	116	319	105	461	Argilosa

AG = Areia grossa; AF = Areia fina.<sup>1</sup> Método da pipeta, (EMBRAPA, 2009).

## 2.5 - Caracterização química do solo na segunda cana-soca.

A caracterização química do solo em sua segunda cana-soca (Tabela 02) foi obtida através de amostragens realizadas nas camadas de 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m e encaminhadas para o laboratório de análise de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Uberlândia.

Tabela 02. Resultados da análise química do solo na segunda cana-soca, Usina Jalles Machado, Goianésia-GO, 2012.

pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	Al	P	K	H+Al	T	V	M	M.O.
--1:2,5--	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----dm <sup>-3</sup>	-----dm <sup>-3</sup>	--mg dm <sup>-3</sup> --	-----dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----dm <sup>-3</sup>	-----%	-----	g kg <sup>-1</sup>
	-----0 – 0,2 m-----									
6,02	1,45	0,78	0,04	3,26	52,04	2,22	4,59	51,23	2,99	23,8
	-----0,2 a 0,4 m-----									
5,21	2,34	0,32	0,24	2,24	24,79	2,70	5,42	28,70	21,42	16,7
	-----0,4 a 0,6 m-----									
5,21	0,35	0,24	0,17	0,48	19,08	2,30	2,94	21,62	20,91	13,9

pH em H<sub>2</sub>O; Ca, Mg, Al, (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) P disponível (extrator Mehlich<sup>-1</sup>); H + Al = (Solução Tampão – SMP a pH 7,5); CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio, M.O. = Método Colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

## 2.6 - Condições climáticas na época da segunda cana-soca.

O clima predominante da região é o tipo climático Aw (Megatérmico) ou tropical de savana, com invernos secos e verões chuvosos de acordo com a classificação de Köppen. Durante a condução do experimento em segundo ano de soqueira, ocorreram variações de temperatura de 20,9 °C, mínima, no mês de junho, a 27,8 °C em

setembro de 2011, máxima (Figura 01). Dados da estação meteorológica da Usina Jalles Machado, indicaram um acúmulo de 1295 mm de precipitação durante o ano de 2011 e 776 mm nos primeiros meses do ano de 2012 (Figura 02).

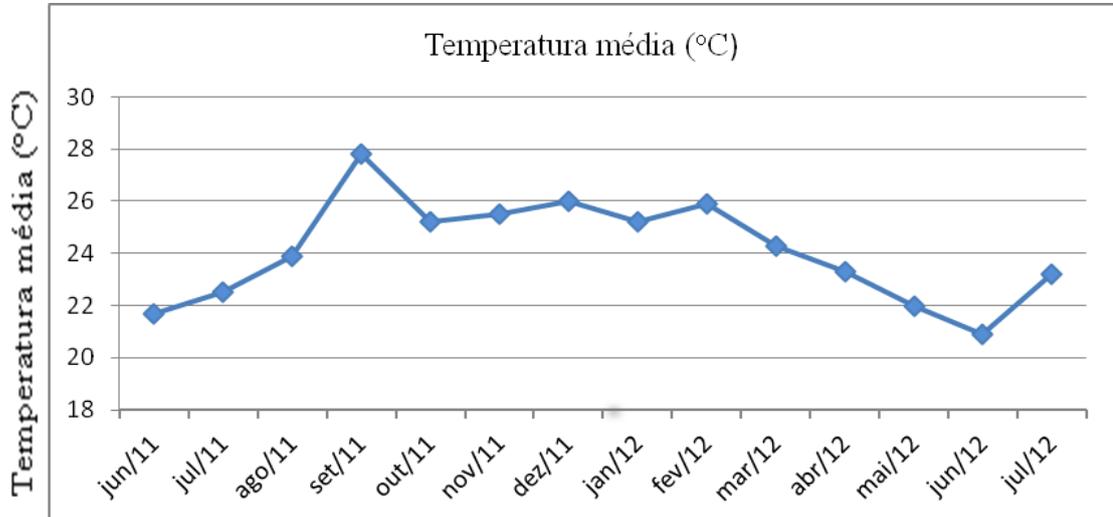


Figura 01 – Temperatura média (°C) durante a condução do experimento em cana-soca, entre Junho/2011 e Julho/2012. Fonte: Usina Jalles Machado.

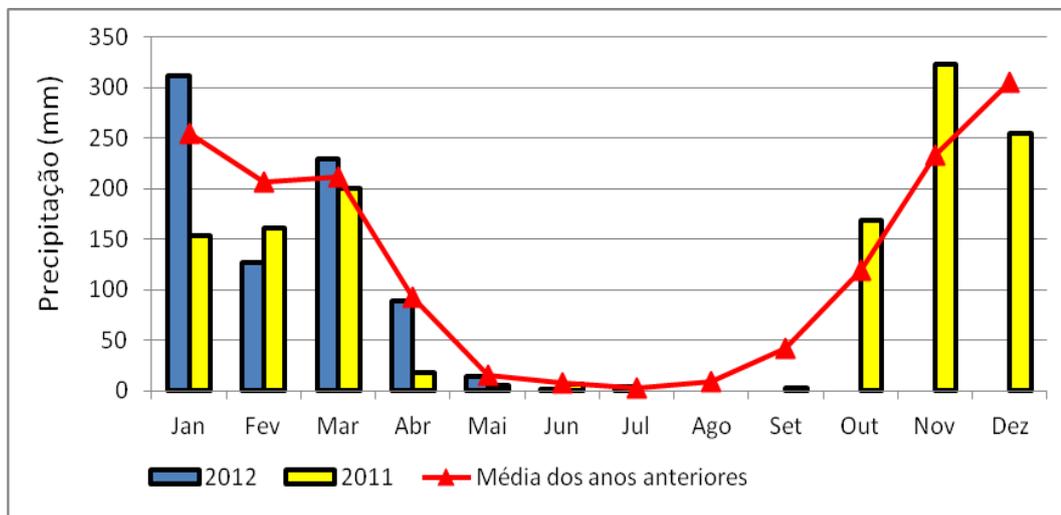


Figura 02 - Pluviometria média (mm) durante a condução do experimento em cana-soca, 2011 e 2012. Fonte: Usina Jalles Machado.

## 2.7 - Tratamentos

Os tratamentos consistiam em diferentes opções de preparo de solo para a implantação do sistema de produção da cultura da cana-de-açúcar, sendo eles:

Tratamento 1: Dessecação + Arado de Aiveca + Grade Leve (AA+G);

Tratamento 2: Subsolador + Grade Leve (SS+G);

Tratamento 3: Dessecação + Plantio Direto (SD);

Tratamento 4: Dessecação + Subsolador + Plantio Direto (SS+SD);

Tratamento 5: Destruidor de Soqueira + Subsolador (DS+SS);

Tratamento 6: Destruidor de soqueira + Grade Média + Arado de Aiveca + Grade Leve (DS+GAAG);

De acordo com cada tratamento, foram realizadas as seguintes operações de manejo para implantação da cultura:

Dessecação - Foram utilizados herbicidas de largo espectro, glyphosate adicionando 2, 4 - D, nas doses de 3,0 e 2,0 L ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Correção da acidez do solo – O corretivo utilizado foi um calcário dolomítico com PRNT de 85 %, sendo que a dose de 1,5 t ha<sup>-1</sup> foi distribuída em todos os tratamentos de forma uniforme.

Aração - Foi realizada com arado de aiveca, atingindo uma profundidade efetiva de 0,35 a 0,4m.

Gradagem - Foi utilizada uma grade niveladora, atingindo a profundidade de 0,15 a 0,2m.

Subsolagem - Foi utilizado um subsolador, atuando em profundidades médias de 0,4m.

Sulcação Direta – Foi realizado a abertura de sulco com sulcador, atingindo profundidades de 0,3 a 0,4m.

Foi realizada uma gessagem após a implantação de todos os tratamentos. A dose fornecida foi de 800 kg ha<sup>-1</sup> distribuída a lanço, sendo única pra todos os tratamentos.

## 2.8 - Plantio da cana-de-açúcar

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado manualmente no dia 25 de abril de 2009, com auxílio do implemento agrícola sulcador, onde os sulcos abertos atingiram aproximadamente 0,35 – 0,4m de profundidade, colocando-se 18 gemas por metro, a variedade utilizada foi a CTC 02. Logo após a distribuição dos toletes nos sulcos, realizou-se a cobertura dos mesmos.

## 2.9 - Manejo de adubação em Cana-planta

A adubação de plantio foi realizada no sulco com distribuição de 250 kg ha<sup>-1</sup> de Fosfato Monoamônio (MAP), equivalente a 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 27 kg ha<sup>-1</sup> de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Foi realizada também uma adubação de cobertura no dia 05 de setembro de 2009 com o formulado líquido 05-00-13 + 0,3% de Zn + 0,3 % de B, na quantidade de 1000 L ha<sup>-1</sup>.

## 2.10 - Manejo de adubação em Cana-soca

A adubação em nas soqueiras, tanto em seu primeiro ano, quando em seu segundo ano, foi realizada de acordo com as exigências da cultura e estimativas de produtividade, utilizando 90 Kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Aplicados em cobertura, via formulado líquido.

## 2.11 – Avaliações dos atributos físicos do solo em cana-soca.

A Argila total foi determinada por meio da dispersão com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação por 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta volumétrica. A Argila dispersa em água foi obtida da mesma forma, porém utilizando água. As análises foram realizadas através de amostras deformadas de solo nas camadas 0,0 – 0,2; 0,2 – 0,4 e 0,4 – 0,6m, com quatro repetições. O Índice de floculação foi quantificado através da relação entre o teor de Argila dispersa em água e o teor de Argila total. Foram feitas avaliações nas camadas 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m; sendo realizadas quatro repetições. Ambos seguindo metodologia da Embrapa (1997).

A determinação da Estabilidade de agregados foi realizada através de quantificar o Diâmetro médio geométrico (DMG). Sendo utilizado um aparelho de oscilação vertical, proposto por Yoder (1936), conforme metodologia da Embrapa (1997). Também foi quantificada a massa de agregados distribuída em classes (<0,25mm; 0,25-0,5mm; 0,5-1,0mm; 1,0-2,0mm e 2,0-4,0mm). As avaliações foram realizadas nas camadas 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6m, com quatro repetições.

A determinação da Matéria orgânica do solo (MOS) foi realizada pelo método da oxidação com dicromato e leitura em espectrofotômetro de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (2009).

#### 2.12 – Produtividade

A produtividade foi estimada em toneladas de colmos por hectare (TCH). Sendo realizada a queima do canavial na área experimental e, logo após, a colheita foi feita de forma manual. Posteriormente, foram pesadas, com o auxílio de balança adaptada a um carregador de cana, as cinco linhas centrais de todos os cinquenta metros da parcela, totalizando uma área avaliada de 375m<sup>2</sup> por parcela, sendo posteriormente os dados extrapolados para um hectare.

#### 2.13 - Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos aos a análise de variância pelo teste F ( $P < 0,01$  e  $0,05$ ) e, quando significativas às médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), pelo programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de Argila dispersa em água (ADA) não apresentaram interação significativa ( $P>0,05$ ) entre os sistemas de preparo do solo e as camadas avaliadas (Figura 03). No entanto, os valores das médias do sistema que predicava de manejo conservacionista, como a Sulcação direta (SD) revelou menores valores de ADA ( $54,08 \text{ g kg}^{-1}$ ). Estes resultados podem estar relacionados ao menor revolvimento do solo, que por consequência, realizou menor perturbação ao arranjo de suas partículas. Os sistemas de produção que priorizam o cultivo mínimo e/ou reduzido conservam seus restos culturais na superfície do solo, protegendo-o contra a ação externa de fatores bióticos e abióticos, além de subsidiar a vitalidade da microbiota do solo. Estes fatores acabam gerando incrementos nos teores de Matéria orgânica do solo (MOS), permitindo a concretização do processo de floculação e agregação do solo, que tem a própria MOS como agente de ligação (cimentação), maximizando assim, a proteção física do solo contra ruptura dos agregados e, com isso, os valores de ADA são menores.

O fato dos valores das médias de ADA dos sistemas de manejo que fizeram uso de Subsolador + Grade Leve (SS+G) e SS+SD apresentarem estatisticamente iguais ao SD, deve-se provavelmente, ao subsolador não promover o revolvimento e a desagregação efetiva das partículas sólidas do solo, atuando somente no rompimento e descompactação das camadas em maiores profundidades.

O preparo do solo com uso do Destruidor de Soqueiras + Subsolador (DS+SS) e Destruidor de Soqueiras + Grade Média + Arado de Aiveca + Grade Leve (DS+GAAG) apresentaram altos valores das médias de ADA, sendo  $67,37$  e  $80,24 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente. Isto pode ter ocorrido, devido ao uso em comum do Destruidor de soqueiras em ambos sistemas de preparo de solo, visto que, a utilização deste implemento proporciona uma intensa mobilização do solo na operação de removimento das soqueiras, podendo assim, ter contribuído para uma maior desestruturação do solo.

O sistema com uso de DS+GAAG apresentou valores médios com superioridade de 32,6% para ADA em relação ao sistema com cultivo mínimo (SD). De acordo com o que preconizava este sistema, o revolvimento do solo por duas vezes de forma ininterrupta com a grade leve pode ter contribuído pela maior desestruturação das partículas do solo e, por consequência, propiciado em maiores conteúdos de Argila livre na solução do solo (ADA) e menores Índices de floculação (IF). De acordo com Prado e Centurion (2001) quando se ara e gradeia um solo fragmenta seus agregados e reduz o

grau de flocculação das argilas. O fato desse sistema (DS+DAAG) apresentar os maiores valores de ADA também deve estar relacionado ao maior número de implementos utilizados e, possivelmente, as maiores pressões exercidas no solo. Segundo Oliveira et al., (2003) o efeito compressivo ocasionado pelo manejo tende a desestruturar o solo com conseqüente aumento da ADA, devido à modificação na interação das partículas minerais, diminuindo, portanto, seu IF.

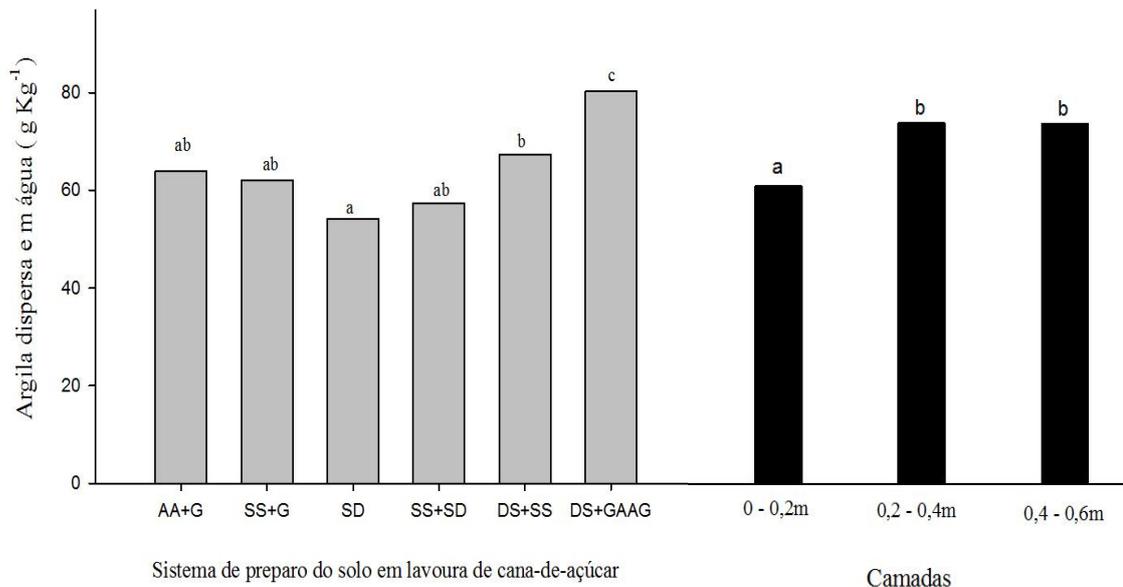


Figura 03. Argila dispersa em água, em g Kg<sup>-1</sup>, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). C.V(sistemas):13,1; C.V(camadas):9,75; DMS(sistemas):11,1; DMS(camadas):4,4.

Foi verificado aumento nos valores médios de ADA em relação às camadas subsuperficiais de 0,2-0,4m e 0,4-0,6m, em 17,59% e 17,37%, respectivamente, em relação à camada de 0-0,2m. Isso pode ter ocorrido devido este solo apresentar um maior teor de argila total nas camadas subsuperficiais de 0,2-0,4m (450 g kg<sup>-1</sup>) e 0,4-0,6m (461 g kg<sup>-1</sup>) do que nas camadas superficiais de 0-0,2m (431 g kg<sup>-1</sup>). Este aumento nos valores de ADA nas camadas de 0,2-0,4m e 0,4-0,6m, provavelmente possuem influências mediante o revolvimento intenso do solo pela mecanização agrícola, que em razão da desestruturação do solo, promoveu a migração da argila das camadas superficiais para as camadas subsuperficiais do solo, aumentando os valores de ADA.

Prado e Centurion (2001) em pesquisa realizada com a cultura da cana-de-açúcar, também encontraram eluviação da argila em profundidade no perfil do solo, porém sem verificar diferenças significativas ( $P>0,05$ ).

Outro fator que inferiu na formação deste gradiente de concentração da ADA no perfil do solo foi à presença de matéria orgânica. Visto que, os valores inferiores de ADA ( $56,24 \text{ g kg}^{-1}$ ) na avaliação de 0-0,2m podem estar relacionados com o maior aporte de matéria orgânica do solo nesta camada (Figura 16), atuando como agente de cimentação e floculação das partículas de argila. Spera et al., (2008) estudando dispersão de argila em microagregados em solos incubados, perceberam que a dispersão de argila mostrou-se dependente, dentre outros fatores, do teor de matéria orgânica do solo. Gomides (2009) afirmou que a menor floculação do solo pode estar relacionada à destruição da matéria orgânica nos horizontes superficiais pelo constante revolvimento do solo durante a preparação para o plantio da cana-de-açúcar, e consequente destruição dos agregados, facilitando assim, a transferência da argila dispersa das camadas superficiais para as mais profundas.

Assim como a ADA, o Índice de floculação (IF) também não apresentou interação significativa entre os sistemas de preparo de solo e as camadas avaliadas ( $P>0,05$ ). Entretanto, os valores das médias demonstraram diferenças (Figura 04). Em geral, os IFs encontrados foram baixos, revelando que para estas condições, a introdução da cultura da cana-de-açúcar com práticas de intenso revolvimento do solo aliado ao pequeno incremento de MOS, pode estar contribuindo para a diminuição da floculação da argila, sendo esta, a primeira etapa para formação dos agregados no solo.

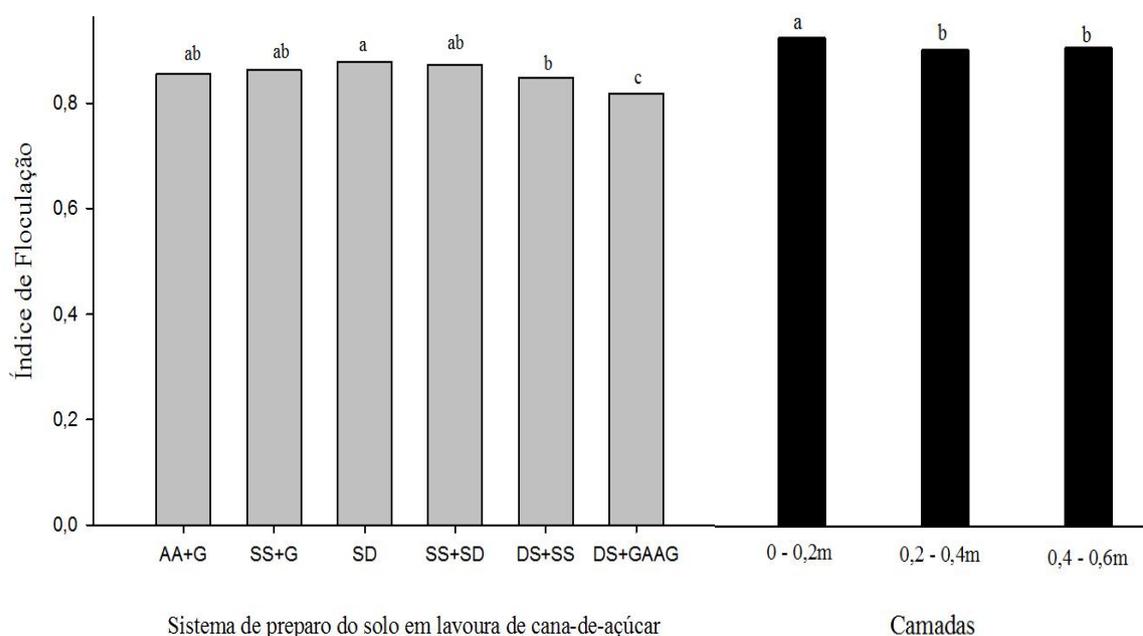
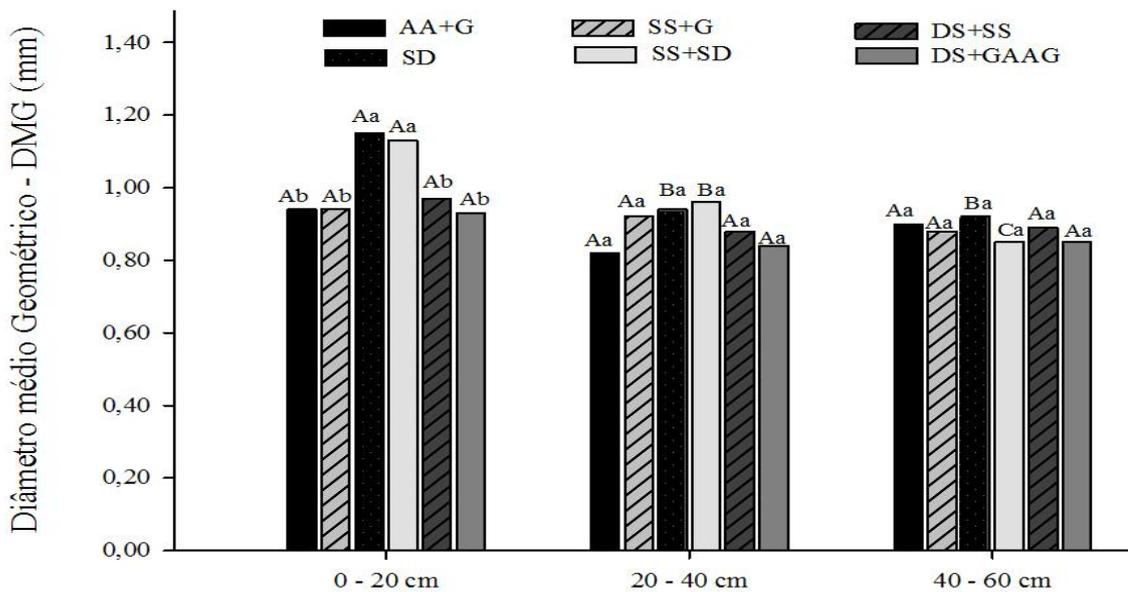


Figura 04. Índice de floculação, em %, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V.(sistemas):2,3; C.V.(camadas):1,79; DMS(sistemas):0,03; DMS(camadas):0,01.

Resende et al., (2012) comparando áreas cultivadas com cana-de-açúcar, produção de grãos, pastagens e cerrado natural, verificaram que a área de cana-de-açúcar apresentou maiores valor de ADA e menor grau de floculação. Os autores afirmaram que estes resultados devem-se provavelmente às operações de preparo do solo para o cultivo da cultura, as quais contribuíram para destruição dos agregados do solo.

A Estabilidade dos agregados foi representada pela variável Diâmetro médio geométrico (DMG). Os valores de DMG apresentaram interação significativa entre os sistemas de preparo do solo e as camadas em estudo ( $P < 0,05$ ). Sendo os sistemas que preconizavam um cultivo reduzido, como o SD e SS+SD revelaram maiores valores de DMG, com superioridade de 17,83% e 16,36%, respectivamente, em relação á média dos demais sistemas, isso, observado apenas para a camada de 0-0,2m (Figura 05). Estes resultados estão relacionados, provavelmente, ao menor revolvimento do solo nestes sistemas e ao maior aporte de matéria orgânica. Resultados semelhantes foram encontrados por Beutler et al., (2001), comparando sistemas conservacionistas e convencionais em Latossolo Vermelho distroférico típico do cerrado mineiro,

entretanto, estes mesmos autores também não verificaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo nas camadas subsuperficiais do solo. De acordo com Salton et al., (2008) os sistemas de manejo que proporcionam agregados mais resistentes são desejáveis, pois conservam a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos a forças externas, como pisoteio de animais e operações mecanizadas, além de maior resistência a perdas por erosão.



#### Camadas no perfil dos solos

Figura 05. Diâmetro médio geométrico, em mm, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-de-açúcar na região do cerrado, 2012. Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade. Médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si os sistemas de preparo de solo e letras maiúsculas as camadas, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V.(sistemas):6,08; C.V.(camadas):7,69; DMS (sistemas): 0,23; DMS:(camadas):0,05.

Os sistemas de preparo de solo com AA+G (Arado de Aiveca + Grade) e SS+G (Subsolador + Grade), apresentaram baixos valores de DMG, assim como, os que fizeram uso em comum do Destruidor de Soqueiras (DS+SS e DS+GAAG). O uso de Grade e Arado na descompactação do solo deve ter possibilitado a desagregação da formação estrutural do solo. Já, o Destruidor de Soqueiras, em seu processo de eliminação das socas de cana-de-açúcar, removeu a camada superficial do solo em uma operação bastante destrutiva, com isso, possivelmente a desestruturação física dos agregados foi inevitável. De acordo com Fontes et al., (1995), as alterações nos atributos físicos dos solos, como os Latossolos, em especial na camada mais rica em

matéria orgânica, podem ser provocadas pela quebra dos agregados por efeito mecânico, causado pelo revolvimento do solo no início do preparo para receber a cultura.

Em relação à profundidade, foi verificado que os sistemas que priorizaram o mínimo revolvimento do solo, tais como o SD e o SS+SD apresentaram valores de DMG estatisticamente superiores na camada de 0-0,2m, refletindo de certa forma, o manejo conservacionista destes sistemas com mínima perturbação do solo e maior aporte de matéria orgânica, propondo, um melhor estado de agregação no solo.

No sistema com uso de SD, as camadas de 0,2-0,4 e 0,4-0,6m não diferiram entre si, revelando certa homogeneidade nesta faixa, estes resultados certamente estão aliados ao revolvimento restrito do solo apenas na camada de 0-0,2m, em razão do plantio da cana-de-açúcar. Em contrapartida, no sistema com uso de SS+SD foi detectada diferença significativa entre as camadas 0,2-0,4 e 0,4-0,6m, isto, deve-se, provavelmente, pelo fato do implemento Subsolador, em sua operação de descompactação em maiores profundidades promover a desestruturação dos agregados na região subsuperficial do solo, além de possivelmente, ter incorporando parte da matéria orgânica ao solo, ocasionando assim, uma maior heterogeneidade entre estas camadas.

Foi verificado semelhança no comportamento dos valores de DMG e teores de Matéria orgânica do solo (MOS) em relação a cada sistema de preparo de solo utilizado (Figura 06). Um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo é a matéria orgânica e, é provável que parte da variação do tamanho dos agregados e dos índices de agregação, seja atribuída à variação do conteúdo de matéria orgânica no solo (WENDLING et al., 2012).

A MOS devido à capacidade que apresenta em formar diferentes tipos de ligações com partículas de maior superfície específica (SILVA; MENDONÇA, 2007) é a principal responsável pela estabilização dos agregados do solo (PASSOS et al., 2007) que por sua vez proporciona um maior DMG (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Castro Filho et al., (1998) estudando a estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em Latossolo sob diferentes sistemas de manejo, verificaram maior agregação das partículas do solo em áreas com maiores quantidades de matéria orgânica.

Os teores de Matéria Orgânica no Solo (MOS) não apresentaram interação significativa ( $P > 0,05$ ) entre os sistemas de preparo de solo e as camadas em estudo (Figura 16). Sendo que, os valores das médias de MOS mostraram superioridade na

camada de 0,0-0,2m (23,8 g kg<sup>-1</sup>) em relação as demais camadas avaliadas de 0,2-0,4 e 0,4-0,6m, com valores médios de 16,7 e 13,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 11).

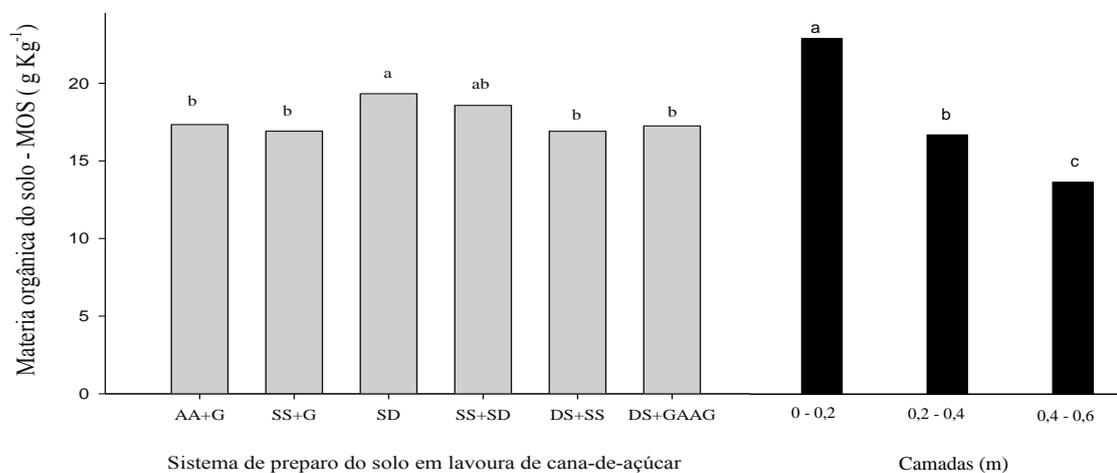


Figura 06. Teores de Matéria Orgânica do Solo, em g Kg<sup>-1</sup>, em diferentes sistemas de preparo de solo e camadas no cultivo de cana-de-açúcar na região do Cerrado, 2012. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade; CP: Cana-planta; CS: Cana-soca; Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

O sistema de preparo de solo SD apresentou maior teor de MOS, nesta segunda soqueira. Estes resultados podem ser justificados, devido á não incorporação dos resíduos vegetais (restos culturais de cana-de-açúcar) presentes anteriormente neste ambiente antes da reforma do canavial. Os demais tratamentos que fizeram uso de implementos como grades, arados e/ou subsoladores nas distintas combinações do preparo de solo incorporaram a biomassa vegetal, favorecendo o processo de decomposição dos resíduos, com isso, não revelando incrementos nos teores de MOS.

Em sistemas conservacionistas, quando o solo permanece coberto por material vegetal todo o tempo, espera-se que haja forte presença de material orgânico na camada superficial, promovendo intensa atividade biológica, resultando em produtos que desempenham função na formação e estabilização (agentes cimentantes) dos agregados (STONE; SILVEIRA, 2001).

Nas figuras 07 e 08 observam-se os resultados da estabilidade de agregados, expressos pela distribuição dos agregados nas classes 4-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25 e <0,5mm, dentro das camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4m. Foram verificadas interações significativas dentro de cada camada de solo avaliada (P<0,05). De acordo com Salton

et al., (2008) os sistemas de manejo ao influenciarem a intensidade dos fluxos e a dinâmica de matéria e energia para o sistema solo, resultaram em diferentes graus de organização da massa do solo em agregados.

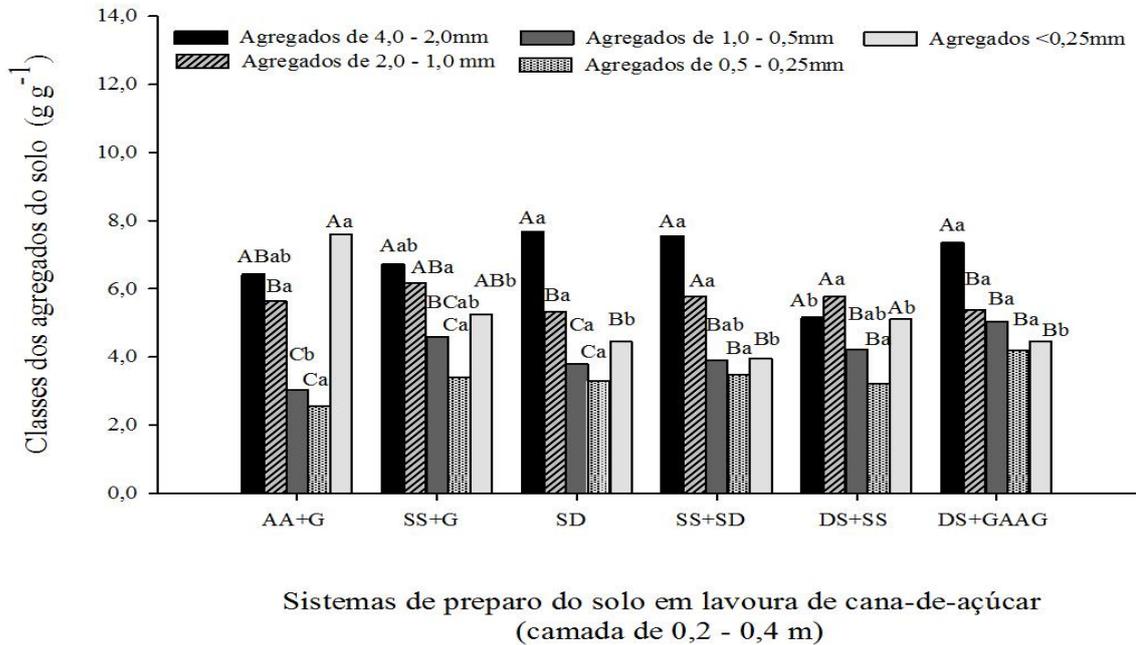
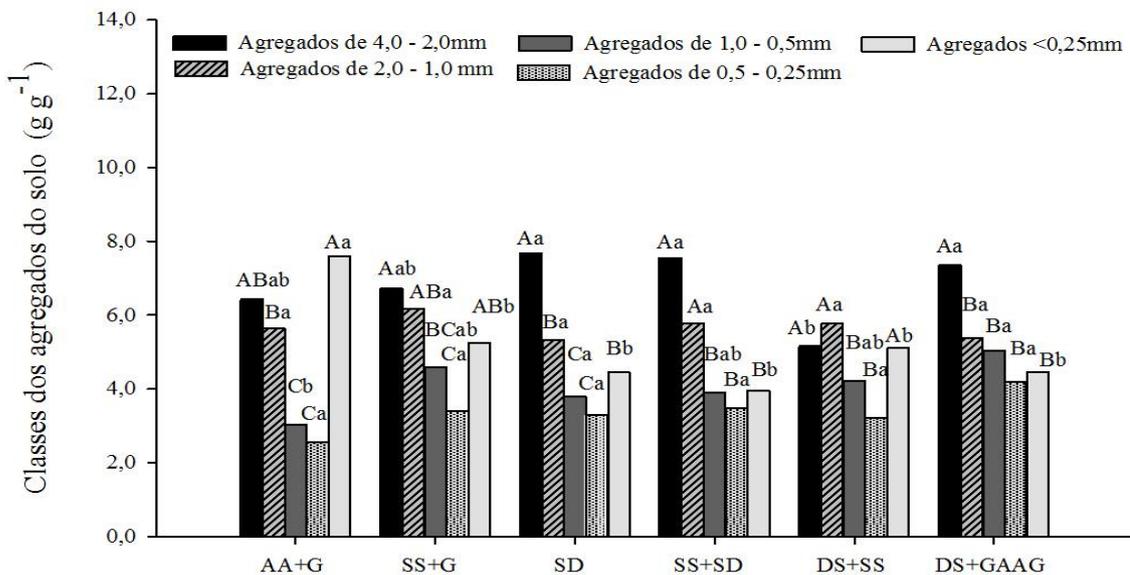


Figura 07. Distribuição dos agregados em classes, em  $g\ g^{-1}$ , nos diferentes sistemas de preparo do solo, na camada de 0-0,2m. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade. Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si os sistemas de preparo de solo e letras maiúsculas as classes de agregados, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ). C.V: 26,2; DMS:0,83.

Na camada de 0-0,2m, observou-se predominância na classe de agregados entre 4-2mm em sistemas SD e SS+SD, que apresentaram frações correspondendo a 37,26 e 39,59%, respectivamente. O mínimo revolvimento do solo, aliado as atividades biológicas do sistema radicular das soqueiras de cana-de-açúcar, provavelmente, devem ter contribuído pela maior estabilidade desta classe. Entretanto, o sistema convencional DS+GAAG apresentou os menores valores para a classe de agregados de 4-2mm, sendo frações com 22,89%. Os demais sistemas de preparo de solo apresentaram comportamentos intermediários. De acordo com Salton et al., (2008) os macroagregados formados por processos físicos, por meio de operações mecânicas de máquinas e equipamentos ou pelo pisoteio de animais, podem não ser estáveis. Contudo, o que confere maior estabilidade aos agregados são agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos, entre outros.

Beutler et al., (2001) comparando sistemas conservacionistas e convencionais, em Latossolo Vermelho distroférico típico no cerrado mineiro verificou que a semeadura direta apresentou a maior percentagem de agregados na classe maior que 2 mm e as menores nas classes inferior á 2 mm e inferior á 1 mm, bem como maior diâmetro médio geométrico dos agregados na superfície do solo. Almeida et al., (2009) em Latossolo Vermelho distroférico típico no cerrado do estado de São Paulo, em área de renovação de canavial em seu primeiro ano de soqueira, verificou predominância dos agregados nas classe de maior diâmetro.



Sistemas de preparo do solo em lavoura de cana-de-açúcar (camada de 0,2 - 0,4 m)

Figura 08. Distribuição dos agregados em classes, em  $g\ g^{-1}$ , nos diferentes sistemas de preparo do solo, na camada de 0,2-0,4m. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade. Médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si os sistemas de preparo de solo e letras maiúsculas as classes de agregados, pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ). C.V.:25,66; DMS:0,83.

Na camada de 0,2-0,4m os sistemas SD, SS+SD e DS+GAAG apresentaram maiores valores de classes de agregados entre 4-2mm. No entanto, foi observado aumento acentuado da classe <0,25mm perante o sistema de preparo de solo AA+G. De acordo com Mendes et al., (2009) o aumento acentuado nas quantidades de microagregados em solos sob plantio convencional é consequência da quebra dos macroagregados decorrente dos constantes cultivos mecânicos e das características

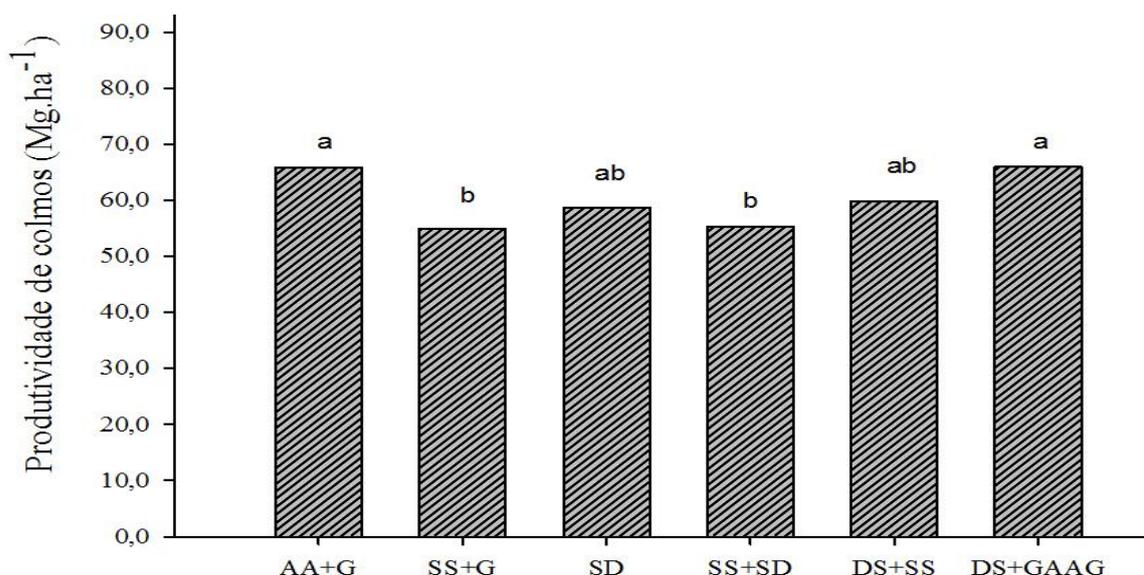
operacionais do arado de disco. Os autores também afirmaram que esses cultivos diminuem a estabilidade dos macroagregados, tornando-os mais susceptíveis às forças de ruptura quando separados por via úmida. Beutler et al., (2001) Também não verificaram diferenças entre os sistemas de manejo para as camadas subsuperficiais.

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar na segunda soqueira foi influenciada pelos diferentes sistemas de preparo de solo ( $P < 0,05$ ). Sendo os sistemas que fizeram uso em comum do Arado de aiveca (AA+G e DS+GAAG), os detentores dos maiores valores de produtividade ( $65,77$  e  $65,97 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente), porém sem diferir estatisticamente dos sistemas SD e DS+SS. As menores produtividades foram obtidas nos sistemas SS+G e SS+SD, sendo  $54,97$  e  $55,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente (Figura 09).

Domingues (2012) em mesmo ambiente de pesquisa, porém, em cana-planta, também encontrou maiores produtividades para sistemas de preparo de solo AA+G e DS+GAAG, sendo  $104,87$  e  $105,34 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente, já as menores produtividades, foram encontradas nos sistemas SS+SD e DS+SS, sendo  $93,52$  e  $93,67 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente.

As quedas de produtividade nesta segunda cana-soca ocorreram devido às irregularidades climáticas no presente ano agrícola, ao controle pouco eficiente das plantas daninhas na área experimental, que provocaram certa interferência no desempenho da cultura.

Apesar das maiores produtividades encontradas no uso de AA+G e DS+GAAG, estes sistemas de preparo de solo mostraram-se estatisticamente semelhantes em relação ao sistema de preparo de solo conservacionista SD. Resultados similares foram encontrados por André (2009) que verificou maiores produtividades de cana-de-açúcar em sistemas de preparo de solo convencionais em relação aos demais, porém sem significância estatística dos preparos com Cultivo mínimo + Gradagem e Plantio Direto.



### Sistema de preparo do solo em lavoura de cana-de-açúcar

Figura 09. Produtividade de colmos, em Mg ha<sup>-1</sup>, nos diferentes sistemas de preparo do solo em cana-soca de segundo ano. AA+G: Arado de Aiveca + Grade; SS+G: Subsolador + Grade; SD: Sulcação Direta; SS+SD: Subsolador + Sulcação Direta; DS+SS: Destruidor de Soqueiras + Subsolador; DS+GAAG: Destruidor de Soqueiras + Grade + Arado de Aiveca + Grade. Médias seguidas por letras distintas diferem entre si os sistemas de preparo de solo, pelo teste de Tukey (P<0,05). C.V: 6,46; DMS: 8,9.

O fato do sistema conservacionista (SD) apresentar produtividade estatisticamente semelhante aos sistemas convencionais (AA+G e DS+GAAG) foi visto de forma bastante positiva perante os menores custos de produção que estes sistemas conservacionistas proporcionam com o menor revolvimento do solo, menor exigência de mão-de-obra, economia de energia (óleo diesel), menor uso e desgaste dos implementos agrícolas, agregando assim, uma relação custo-benefício positiva dentro do sistema de produção. Também podemos resaltar as vantagens da SD perante as avaliações dos atributos físicos do solo, revelando menores valores de ADA e maiores de IF, maior diâmetro médio geométrico de agregados e teor de matéria orgânica no solo.

#### 4 - CONCLUSÕES

- A adoção de sistemas mais conservacionistas, como a Sulcação direta e o Subsolador + Sulcação direta contribuíram para os atributos do solo considerados indicadores de qualidade física.
- A maior produtividade de cana-soca foi obtida em sistemas de preparo do solo que foram mais destrutivos a estrutura. Contudo, os sistemas de preparo conservacionistas, além de contribuírem para melhor qualidade física do solo, proporcionaram valores de produtividade muito próximos aos sistemas mais destrutivos.

## 5- REFERÊNCIAS

ANDRÉ, J. A. **Sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar em sucessão com amendoim**. 2009. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

ALMEIDA, C. X.; et al. Índice de floculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 123-129, 2009.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 241 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. **Nature and Properties of Soils**. 14. Ed. Hardcover – Sep. 16, p. 990, 2007.

BEUTLER, A. N.; et al. Agregação de latossolo vermelho Distrófico típico relacionada com o manejo da região dos cerrados do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 129-136, 2001.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22 p, 527-538, 1998.

CENTURION, J. F.; et al. 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**, Viçosa, 31, p. 199-209, 2007.

DOMINGUES, LUIS AUGUSTO DA SILVA. **Atributos físicos do solo, desenvolvimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em preparos de solo em áreas de renovação e expansão**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 212 p, 1997.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Campinas, v. 6, p. 36 – 41, 2008.

FONTES, M. P. F. et al. Calcium salts and mechanical stress effects on water-dispersible clay of oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 1, p. 224-227, 1995.

GOMIDES, J. N. **Comportamento físico de Latossolo cultivado com cana-de-açúcar e adubado com dejetos de animais de criação intensiva**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2009.

SILVA, A. J. da. **Alterações físicas e químicas de um argissolo amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar**. 2003. 120p. Tese (Doutorado em Ciência do solo). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, Março, 2003.

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

KOHNKE, H. Soil physics. New York, **Mac Grow-Hill**. p.118-142. 1968.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27. p. 435-443, 2003.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 197-203, 2001.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1109-1118, 2007.

RESENDE, T. M.; et al. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 179-184, Mar. 2012.

SANTOS, D. S.; et al. Atributos físicos e matéria orgânica de áreas de latossolo utilizadas para atividade pecuária no bioma cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 500-508, July/Aug. 2012.

SALTON, J. C.; et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 11-21, 2008.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 313-319, 1997.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S.. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, B. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 275 – 374, 2007.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7, n. 1, 2003.

SPERA, S. T.; et al. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2613-2620, 2008.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n2, p. 395-401, 2001.

WENDLING, B.; et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de Conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e Plantio direto. **Bioscience Journal**, v.28, p. 256-265, 2012.