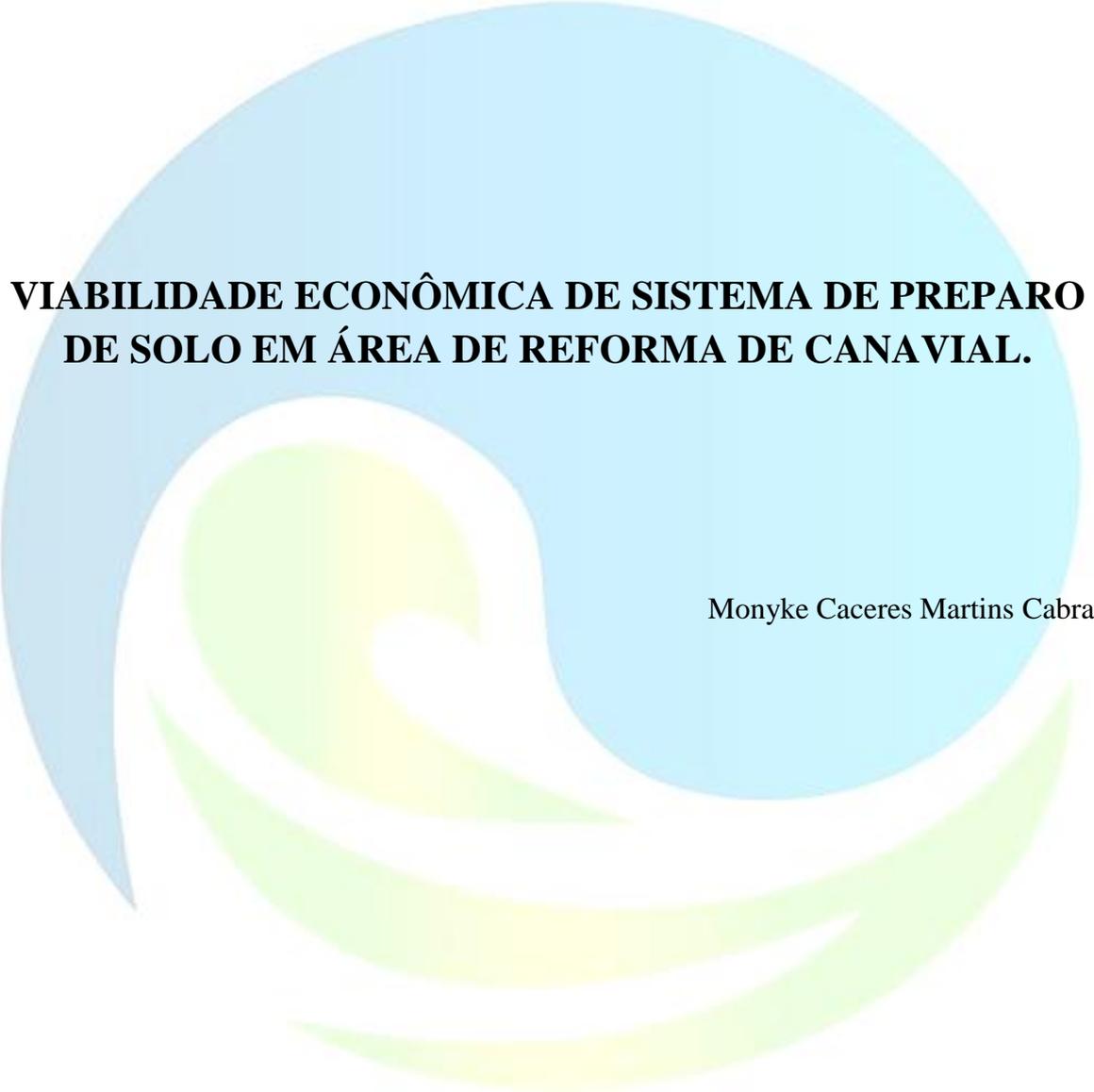


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS



**VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA DE PREPARO  
DE SOLO EM ÁREA DE REFORMA DE CANAVIAL.**

Monyke Caceres Martins Cabral

**DOURADOS – MS  
ABRIL-2014**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

## **VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA DE PREPARO DE SOLO EM ÁREA DE REFORMA DE CANAVIAL.**

Acadêmica: Monyke Caceres Martins Cabral  
Orientador: Professor Dr. Laércio Alves de Carvalho

“Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Recursos Naturais, área de concentração em Recursos Naturais, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais”.

**DOURADOS – MS  
ABRIL-2014**

## FICHA CATALOGRÁFICA

C12 Cabral, Monyke Caceres Martins

Viabilidade econômica de sistema de preparo de solo em área de reforma de canal /Monyke Caceres Martins Cabral. Dourados, MS: UEMS, 2014.

58p. ; 30cm.

Dissertação (Mestrado) – Recursos Naturais – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Dourados, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho.

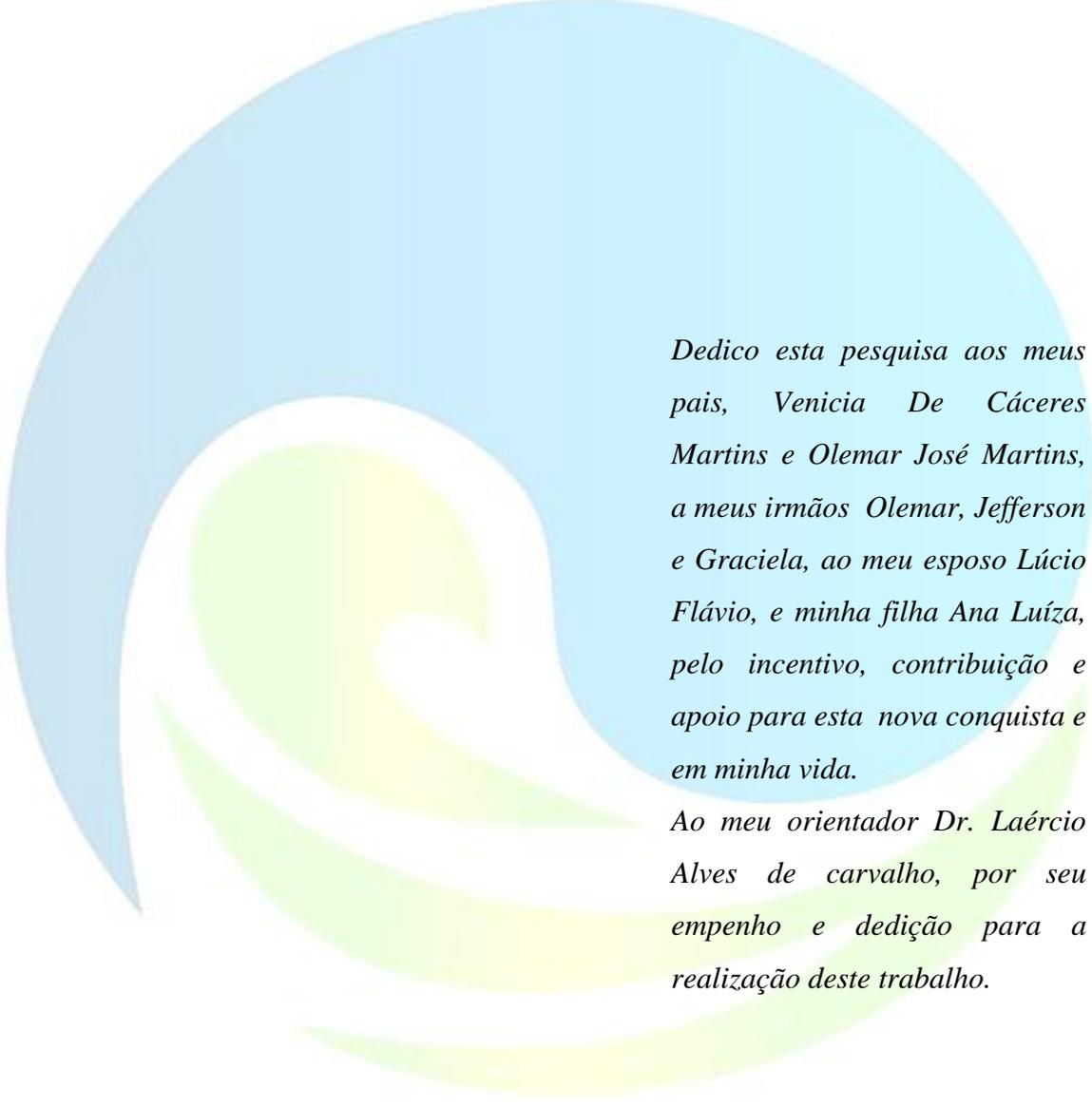
1. *Saccharum* spp. 2. Preparo do solo. 3. Avaliação física do solo I.Título.

CDD 20.ed. 633.61



*Determinação, coragem e auto confiança  
são fatores decisivos para o sucesso.  
Independentemente das circunstâncias,  
devemos ser sempre humildes, recatados  
e despidos de orgulho.*

***Dalai Lama***



*Dedico esta pesquisa aos meus pais, Venicia De Cáceres Martins e Olemar José Martins, a meus irmãos Olemar, Jefferson e Graciela, ao meu esposo Lúcio Flávio, e minha filha Ana Luíza, pelo incentivo, contribuição e apoio para esta nova conquista e em minha vida.*

*Ao meu orientador Dr. Laércio Alves de carvalho, por seu empenho e dedicação para a realização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a graça da oportunidade de ingressar nesse Programa de Mestrado, por ter me dado sabedoria para conduzir todas as etapas realizadas durante o mestrado, e que nos momentos difíceis, me abençoou, me deu serenidade, paciência e força para persistir em meus objetivos. Que ainda durante o mestrado me enviou o presente mais precioso, minha filha Ana Luíza.

A minha família, que esteve sempre presente me amparando e sustentando.

Ao orientador professor Dr. Laércio Alves de Carvalho, por não desistir de mim, sempre me incentivando e acalmando.

Ao programa de formação de recursos humanos PFRH- PB 10, oferecida pela Petrobrás, pela concessão da bolsa de Mestrado.

A todos os professores da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, pelo conhecimento compartilhado.

A todos os meus amigos (as), principalmente Luciane Pierezan, pela amizade, apoio, estímulo e parceria durante toda nossa trajetória.

E a todos que não foram citados, mas que de alguma forma foram importantes para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos...

**MUITO OBRIGADA!**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>1</b>
1– INTRODUÇÃO.....	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Histórico e aspectos econômicos da cana-de-açúcar.....	3
2.2. Cultura.....	4
2.3 Qualidade do Solo.....	5
2.4 Manejo do solo.....	7
2.5 Indicadores de qualidade do solo.....	10
2.6 Propriedades físicas do solo.....	11
3– REFERÊNCIAS .....	18
<b>CAPÍTULO 2 - VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA DE PREPARO DE SOLO EM ÁREA DE REFORMA DE CANAVIAL.....</b>	<b>29</b>
1 – INTRODUÇÃO.....	30
2 – MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Local e clima.....	31
2.2 Preparo do solo e Tratamentos.....	31
2.3 Coleta das Amostras.....	32
2.4 Análise dos dados.....	34
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4 – CONCLUSÕES.....	44
5 – REFERÊNCIAS .....	45

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Valores médios mensais de precipitação pluvial na área do experimento. As letras iniciais representam cada mês, de janeiro até dezembro..... 31
- Figura 2. Relação entre resistência do solo à penetração ( $RP_{cc}$ ) e a densidade do solo até a profundidade de 0,35 m, considerando todos os sistemas de preparo..... 42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características granulométricas, densidade de partícula ( $D_p$ ), densidade do solo máxima ( $D_{s_{máx}}$ ) e umidade ótima de compactação ( $U_{g_{ót}}$ ) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.....	35
Tabela 2. Coeficientes de ajuste de um polinômio de 2º grau ( $D_s = a U^2 + b U + c$ ) observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.....	36
Tabela 3. Densidade do solo ( $D_s$ ), densidade do solo relativa ( $D_{s_{rel}}$ ), macroporosidade ( $Ma$ ), microporosidade ( $Mi$ ) e porosidade total ( $Pt$ ) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.....	37
Tabela 4. Resistência do solo à penetração com controle de umidade ( $RP_{cc}$ ) e sem o controle de umidade ( $R_p$ ) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.....	40
Tabela 5. Desempenho agrícola e industrial médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.....	43
Tabela 6. Atributos tecnológicos médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.....	43

## RESUMO

O Estado de Mato Grosso do Sul vem se destacando no cultivo de cana-de-açúcar para a produção sucroalcooleira, que mesmo sendo uma atividade que gera lucros, pode prejudicar o solo devido a vários fatores, um desses se deve a alta mecanização da cultura, que pode levar a compactação do solo. Tendo em vista isso, o presente estudo, tem como objetivo avaliar os atributos físicos do solo de um Neossolo Quartzarênico órtico do Cerrado Sul-mato-grossense após preparo mecanizado para reforma de canavial e sua relação com a produtividade. Os cinco tratamentos para o preparo do solo foram (subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; aração com arado aiveca + gradagem niveladora; subsolagem em área total + gradagem niveladora; subsolagem em área total; e gradagem intermediária). Para determinação dos atributos físicos do solo, amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas 20 meses após o preparo do solo nas camadas de 0,15-0,25 m e 0,25-0,35 m. Foram avaliadas a textura do solo, densidade de partícula (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), resistência do solo à penetração (Rp) e densidade do relativa (Dr). Para a obtenção dos resultados, foi realizada uma análise descritiva, tendo por parâmetro a comparação de médias a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, através do delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas e cinco repetições. A avaliação das amostras de preparo do solo com combinações entre subsolagem na linha de plantio + grade niveladora; arado de aiveca + grade niveladora ou subsolagem em área total + grade niveladora proporcionaram melhor composição da estrutura física do solo, verificando um melhor desempenho na produtividade da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*, preparo do solo, avaliação física do solo, compactação do solo.

## ABSTRACT

The state of Mato Grosso do Sul has been highlighted in the cultivation of sugar cane for sugar and ethanol production, even being an activity that generates profits, can harm the soil due to several factors, one of these is due to high mechanization of culture, which can lead to soil compaction. In view of this, the present study aims to evaluate the soil physical attributes of a Typic Orthic Quartzarenic the Cerrado of Mato Grosso do Sul after mechanical preparation for reform of sugar cane and its relationship with productivity. The five treatments were tillage (sub-soiling, leveling and moldboard plowing in the planting area, the total area sub-soiling and middle graders with the same harrowing and sub-soiling of the distressed area). To determine the physical attributes of the soil, disturbed and undisturbed soil samples were collected 20 months after tillage layers of 0.15-0.25 0.25-0.35 m. Soil texture, particle density ( $D_p$ ), bulk density (BD), total porosity ( $P_t$ ), macroporosity ( $M_a$ ), microporosity ( $M_i$ ), soil penetration resistance ( $R_p$ ) and the relative density were evaluated ( $D_r$ ). To obtain these results, a descriptive analysis was performed, with the parameter comparison of means at 5% probability by Tukey test, using the completely randomized split plot with five replications. The evaluation of samples of soil tillage with combinations of subsoiling on the planting + harrowing line; moldboard plowing + harrowing and subsoiling in total area + grade graders showed improved physical composition of the soil structure, verifying a better performance on the productivity of cane sugar.

**KEYWORDS:** *Saccharum* spp., soil preparation, physical soil assessment, soil compaction.

# **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

## **1– INTRODUÇÃO**

No século XX de acordo com Natal & Netto (2007), iniciou-se o estudo da tecnologia para a fabricação do motor a álcool e do próprio álcool de forma mais concentrada, e as pequenas usinas de bebida destilada foram aperfeiçoadas para a fabricação do etanol, que posteriormente, com a criação do decreto 19.717 de 20 de janeiro de 1931, passou a ser adicionado 5% de álcool a toda gasolina importada.

A consagração agroindustrial vinda com a crise do petróleo em 1973 proporcionou a criação do Proálcool, em 1975, visando diminuir a dependência de importação de combustíveis derivados de petróleo, que oneravam a balança comercial do Brasil (NATAL & NETTO, 2007), prestando grande contribuição ao desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro no país.

A expansão da agroindústria canavieira, relacionada às favoráveis perspectivas do mercado internacional do álcool como fonte renovável de energia, suas vantagens quando comparado com o petróleo e, ainda, as boas condições da comercialização do açúcar na contribuição da indústria alimentícia, despertou o interesse de investimentos internacionais nesse setor no território brasileiro, bem como sua expansibilidade (NOVAES, 2007).

No Estado de Mato Grosso do Sul estão sendo estruturadas normas e acordos nos municípios para a proibição da prática da queima nos canaviais, o que vem resultando na adoção de novas metodologias pelas indústrias sucroalcooleiras para a retirada da cana-de-açúcar do solo com uso intensivo da mecanização nos canaviais. Em consequência, pode resultar em modificação das propriedades físicas do solo, contribuindo, assim, para possível compactação do mesmo (SOUZA et al., 2012).

Entre as operações para eliminar possíveis problemas de compactação destaca-se o preparo de solo, que rompe as camadas compactadas, favorecendo o desenvolvimento inicial da cultura e criando condições ideais para o desenvolvimento das raízes, visando longevidade das culturas (TAVAREZ et al., 2010). A subsolagem é uma das operações utilizadas no preparo do solo, tanto para o plantio quanto para o cultivo de soqueiras, que visa o rompimento de camadas compactadas em subsuperfície.

Para Carvalho et al. (2011), o preparo de solo para implantação do canavial representa uma etapa crucial na longevidade da cultura, em que o solo será novamente

revolvido após o quinto ou sexto corte de cana-de-açúcar dependendo da variedade e/ou produtividade. Vieira & Klein (2007), afirmam que dentre os componentes de manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influencia nos atributos físicos, por alterar sua estrutura e podendo modificar variáveis relacionadas (VIEIRA, 1985). Dessa forma, a realização de um bom preparo inicial do solo pode interferir de forma positiva ou negativa, dependendo da forma de manejo.

A compactação dos solos em agrossistemas canavieiros tem sido atribuída principalmente à colheita mecanizada em condições de elevados conteúdos de água no solo (PANKHURST et al., 2003), provocando redução da porosidade total e consecutivo aumento na densidade do solo, principalmente na profundidade de 0,20-0,40 m, justificado pela ausência de revolvimento do solo (CARVALHO et al., 2011). Fator esse determinante na compactação, em que compromete a sustentabilidade do sistema, modificando a estrutura do solo e afetando a produtividade e longevidade dos canaviais (DIAS JÚNIOR & PIERCE, 1996; SILVA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2003).

A fim de reduzir a compactação ocasionada pelas operações de corte, carregamento e transporte, na colheita mecanizada deve ser feito um planejamento para a escolha do sistema de preparo de solo em cada ambiente de produção. Para Silva Junior & Carvalho (2010) a escolha do preparo pode ser feita por meio do uso de indicadores de qualidade física do solo, como a densidade, porosidade e resistência à penetração. Além disso, pela suscetibilidade à compactação pelo ensaio de *Proctor* normal, determinado pela relação da densidade máxima do solo pela umidade ótima de compactação (VARGAS, 1977).

No presente capítulo, será feito uma revisão da literatura geral sobre assuntos reconhecidamente relevantes para o tema pesquisado. Em sequência, se apresenta o artigo gerado a partir da pesquisa realizada.

## **2 – REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Histórico e aspectos econômicos da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar foi encontrada na região leste da Indonésia e Nova Guiné, e ao longo de muitos séculos, se disseminou para várias ilhas do sul do Oceano Pacífico, como: China, Arquipélago da Malásia e Bengala, aparecendo como planta produtora de açúcar na Índia tropical. Os Persas foram os primeiros a desenvolver técnicas de manipulação e industrialização do açúcar estabelecendo as rotas do açúcar entre os países asiáticos e africanos (DELGADO & CESAR, 1977).

De acordo com Brandão (1985), inicialmente o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil visava principalmente a fabricação de açúcar, com objetivo econômico para Portugal, sendo a principal fonte econômica oriunda da agricultura e a mais longa das bases econômicas de nossa história.

O plantio da cana-de-açúcar no Brasil iniciou-se em São Paulo, no ano de 1522, no período colonial, apresentava-se como maior fornecedor de açúcar para a Europa. Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo ao País duas safras ao ano e conseqüentemente, produção de açúcar e etanol para os mercados interno e externo (UNICA, 2008).

Segundo o Conab (2013), a produtividade obtida na atual temporada da safra 2013/14 apresentou uma considerável melhora em relação à safra passada, com um crescimento de 7,9% na média geral, passando de 69.407 kg ha<sup>-1</sup> para 74.891 kg ha<sup>-1</sup>. As boas condições climáticas neste ano safra em relação à passada, além do maior investimento em manutenção dos canaviais e aumento de área de renovação e expansão deve proporcionar esse crescimento no volume de cana-de-açúcar colhida para a safra em curso.

Para a temporada 2013/14, a cultura da cana-de-açúcar continua em expansão. A previsão é que o Brasil tenha um acréscimo de cerca de 325,8 mil hectares, equivalendo a 3,8% em relação à safra 2012/13. O acréscimo é reflexo do aumento de área na região Centro-Sul. A região Norte/Nordeste praticamente se mantém com a mesma área para a próxima safra. São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais deverão ser os

estados com maior acréscimo de áreas, com 132,6 mil hectares, 92,5 mi hectares, 81,4 mil hectares e 58,0 mil hectares, respectivamente (CONAB, 2013).

A cultura da cana-de-açúcar apresenta grande valor no agronegócio brasileiro, na qual a indústria sucroalcooleira representa cerca de 2% das exportações nacionais, além de reunir 6% dos empregos agroindustriais brasileiros e contribuir de maneira efetiva para o crescimento do mercado interno de bens de consumo (BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; UNICA, 2008), oferecendo subprodutos para diversos setores da produção de alimentos e outros derivados, como na fabricação de ração animal, combustível, fonte alimentícia com o açúcar (SOUZA & MACEDO, 2009).

A agroindústria da cana-de-açúcar direciona-se a integrar os sistemas de produção alimentar, não alimentar e energético, envolvendo atividades agrícolas e industriais, e ainda atua com vantagens comparativas em relação às outras matérias-primas, pelo fato de ser intensiva em mão de obra e no caso brasileiro, este custo é de baixo, o que gera maiores lucros aos produtores e as indústrias do setor (VASCONCELOS, 2002).

A relevância da cana-de-açúcar no agronegócio brasileiro é indiscutível e, apesar do Brasil se destacar no cenário internacional por toda sua tecnologia já empregada nas diferentes etapas de produção, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo, desde a lavoura até a indústria (COSTA, 2005).

## **2.2. Cultura da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), com habilidade única de estocar sacarose nos colmos, é uma planta tropical pertencente à família das gramíneas ou poáceas juntamente com os gêneros *Zea* e *Sorghum*. A cana-de-açúcar moderna, assim denominada por alguns pesquisadores, é considerada um híbrido complexo entre duas ou mais espécies do gênero *Saccharum* (*S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. edule* e *S. robustum*) (CHEN; CHOU, 1993).

De forma geral, a planta é constituída de um sistema radicular, dos colmos, onde a sacarose é predominantemente estocada, e das folhas dispostas ao redor da cana, dos nódulos intercolmos e também na parte superior da planta onde se localiza a gema apical (palmito) (MANTELATTO, 2005).

A parte morfológica da cana-de-açúcar de interesse comercial é o colmo, que possui sacarose industrializável. A composição química dos colmos é extremamente

variável em função de diversos fatores como: variedade da cultura; idade fisiológica, condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, tipo de cultivo entre outros (PARANHOS, 1987).

As variedades híbridas obtidas por um cuidadoso e criterioso trabalho de seleção e melhoramento genético entre as variedades conhecidas, faz com que características desejáveis para regiões e situações específicas sejam agrupadas por cruzamentos (MARTINS, 2004).

Dentre as principais características a serem atendidas nas variedades, destacam-se as agrônômicas especiais de produtividade, a rusticidade, resistência às pragas e doenças, além de características industriais, o alto teor de sacarose e médio teor de fibras (STUPIELLO, 1987).

O que é observado por Matsuoka (2000) de que no Brasil tem-se desenvolvido estudos sobre quais as variedades de mudas de cana-de-açúcar que se adaptam melhor nas diferentes regiões do país, o que favorece um maior aproveitamento de sua matéria-prima para a indústria canavieira.

### **2.3 Qualidade do Solo**

O termo qualidade do solo tornou-se mais usual a partir de 1990, após a publicação do relatório intitulado “*soil and water quality – an agenda for agriculture*” (Karlen et al., 1997). Segundo Araújo (2008), nesse relatório, a qualidade do solo havia sido concebida em razão de seu papel em ecossistemas naturais e agroecossistemas, uma vez que a qualidade deste recurso natural, historicamente, sempre esteve relacionada à sua produtividade.

O desenvolvimento do conceito e sua aplicação no manejo e uso da terra, desde então, tem tido várias abordagens. Karlen et al. (1997) consideram como qualidade do solo, a capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano.

Sojka e Upchurch (1999) *apud* Araújo (2008) definiram três cenários que dificultam a construção de um conceito de qualidade do solo: “a) a definição pode mudar para a mesma área de terra e mesmo uso, dependendo das condições climáticas (efeito da sazonalidade); b) a definição pode mudar dependendo da habilidade de cada produtor em

manejar sua área, uma vez que alguns aplicam demasiada quantidade de “*inputs*”, fazem uso inadequado de mecanização, desperdiçando tempo no campo, etc.; c) a definição deve mudar para cada cultivo e sistema de cultivo, para cada praga, doença, etc., uma vez que a sistemática para cada cenário altera a definição de qualidade do solo”.

Karlen et al. (1997), e USDA (2001), aprofundam a discussão, ao afirmarem que a qualidade do solo pode ser vista de duas diferentes formas: (a) como uma característica intrínseca de determinado solo (qualidade intrínseca) e como (b) uma condição de "saúde" do solo (qualidade dinâmica do solo). A qualidade intrínseca ao solo é aquela governada pelos processos formadores do mesmo. Consequentemente, cada solo apresenta uma capacidade própria de funcionar. Esta característica intrínseca pode ser definida por parâmetros que reflitam o potencial pleno ou ideal de determinado solo de realizar determinada função.

Tornar uma área nativa própria à agricultura consiste em quebrar o equilíbrio de um sistema complexo, composto por macro, meso e micro-organismos, responsáveis pela estrutura do solo, que por sua vez, suprirá as necessidades do sistema exploratório agrícola. O cuidado do solo, especialmente em relação à erosão, é um pré-requisito à sobrevivência das espécies vivas da terra. Daí a importância de se estudar e monitorar a qualidade do solo para mantê-lo permanentemente produtivo e sem degradação (BRADY & WEIL, 2002; COGO & LEVIEN, 2002).

Recentemente, segundo Doran et al. (1996), Carter et al. (1997); Gregorich (2002) começaram a desenvolver métodos de quantificar a qualidade do solo, definindo-a concisamente como “o grau de aptidão do solo para um uso específico”. Assim, dependendo da função a qual um solo é determinado a servir, a qualidade do solo pode significar coisas diferentes para diferentes pessoas (GREGORICH, 2002).

Usualmente, a qualidade do solo é considerada sobre três aspectos: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar os manejos sustentáveis do solo. No entanto, a qualidade física do solo merece destaque especial, pois pode possuir grandes efeitos nos processos químicos e biológicos no solo, porém ainda pouco explorado nos estudos de qualidade do solo (DEXTER, 2004).

As funções mais importantes do solo agrícola são: o suporte e crescimento; o fornecimento de água, gases e nutrientes e a função tampão ou filtro. A essas funções estão

associados vários processos, como a germinação, o crescimento radicular, armazenamento de água, aeração e a dinâmica de nutrientes (CARTER et al., 1997).

O uso de metodologias que quantifiquem e qualifiquem as condições estruturais do solo nos vários sistemas de manejo é importante na avaliação da qualidade do solo, considerada um indicador da sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo (ARSHAD et al., 1996). Assim, os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando diferentes propriedades físicas relacionadas com a forma e com a estabilidade estrutural do solo, tais como: densidade do solo, porosidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, condutividade hidráulica saturada e agregação do solo (SILVA et al., 2000a; WENDLING et al., 2005).

## **2.4 Manejo do solo**

Com a crescente evolução tecnológica, estamos nos deparando com maquinários cada vez mais sofisticados e de grande porte para as operações de preparo e cultivos agrícolas. Se por um lado, facilita o trabalho no campo, por outro esse aumento no peso das máquinas, aliada a uma inadequada umidade do solo durante as operações, reflete na compactação do solo. Cada vez mais pesquisas são realizadas com parâmetros que demonstrem os efeitos causados com o tráfego de máquinas sobre as áreas de cultivo (KAISER, 2010; ROSA et al., 2011; VOGELMANN et al., 2012).

Os sistemas de manejo do solo nas atividades agrícolas, com a finalidade de proporcionar condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas, tem sido o grande responsável pelas grandes alterações na estrutura do solo, com redução do espaço poroso (REICHERT et al., 2007), afetando o movimento da água no interior do solo e suas propriedades físico-hídricas (KLEIN & CAMARA, 2007), com redução do crescimento radicular das plantas.

O peso das máquinas e equipamentos aliado à intensidade do tráfego, tanto na colheita como nos tratamentos culturais em plantações de cana-de-açúcar podem causar compactação do solo e, com isso, comprometer a produtividade da cultura (PACHECO & CANTALICE, 2011). A adoção de sistemas de preparo ou manejo do solo com o mínimo de revolvimento e/ou operações mecanizadas com eficácia e na umidade adequada podem evitar ou diminuir a degradação física do solo, pela erosão e compactação, além de

aumentar a produtividade e reduzir custos de produção pela diminuição da intensidade de operações no preparo e manejo do solo. (KLEIN & CAMARA, 2007).

O preparo convencional do solo consiste no revolvimento mecânico das camadas superficiais, geralmente utilizam uma aração e duas gradagens (FASINMIRIN & REICHERT, 2011), para reduzir a compactação, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, além de facilitar o crescimento das raízes das plantas.

O revolvimento excessivo pode proporcionar efeitos indesejáveis como a desagregação da estrutura do solo que, aliada à ausência de resíduos na superfície do solo, aumenta ainda mais a susceptibilidade do solo à erosão pelo impacto da gota de chuva. É o caso dos solos arenosos, que apresentam elevada suscetibilidade a erosão, onde tem sido estimulada a adoção de preparo conservacionista para manter a cobertura e reduzir a erosão (TORMENA et al., 2002).

Nos anos 30 do século XX, surge na Inglaterra um novo sistema de cultivo realizado em solo não arado ou gradeado, denominado de plantio direto. Esse sistema nasce como uma alternativa para combater a erosão por meio do controle do escoamento superficial da água da chuva utilizando restos culturais como barreira que reduz a velocidade da água de escoamento, facilitando a infiltração de água no solo. No Brasil, este plantio só se desenvolveu rapidamente a partir da década de 70, quando foi adotado por agricultores no sul do país (CORRÊA & CRUZ, 1987).

Este tipo de preparo mínimo do solo é visualizado como uma técnica conservacionista, pois proporciona a melhoria das propriedades químico-físicas do solo e a conservação por períodos mais prolongados da água e da matéria orgânica, propiciando condições para o aumento da capacidade produtiva do solo (ALVES, 1992).

É importante salientar que as melhorias verificadas no plantio direto relacionam-se diretamente com a adoção de cobertura morta. A manutenção dessa cobertura nos solos da região do Cerrado é dificultada pelo clima, pois a seca é bastante prolongada e a palhada é rapidamente decomposta. Porém, esses resíduos quando satisfatoriamente permanecem na superfície do solo interferem positivamente nas funções ambientais desempenhada por esse elemento natural (CARNEIRO et al., 2008).

O sistema de plantio direto (PD) caracteriza-se pelo revolvimento do solo apenas no sulco da sementeira, com rotação de culturas e manutenção da palhada na superfície do solo (BEUTLER et al., 2007), do qual surgiu com o propósito de reduzir os processos

erosivos do solo, pela ausência de mobilização e presença da cobertura vegetal do solo (palhada). Além disso, atua na melhoria das condições estruturais e biológicas do solo, eleva sua capacidade de infiltração e retenção de água e seu teor de matéria orgânica, diminui as variações de temperatura do solo, apresenta menor perda de água por evaporação, promovendo, portanto, a preservação do meio ambiente e no aumento da produtividade agrícola (FASINMIRIN & REICHERT, 2011).

Há inúmeros estudos voltados a diferentes níveis de compactação do solo em plantio direto. Contudo, ainda existem dúvidas sobre qual o estado de compactação do solo que influi negativamente na produção das culturas e quais os limites críticos das propriedades físico-mecânicas que limitam o pleno desenvolvimento das plantas (SECCO et al., 2004).

Em virtude das práticas utilizadas e do tempo de adesão, pode resultar em aumento da densidade do solo e, conseqüentemente, a compactação do mesmo, um dos principais problemas físicos que afeta a dinâmica da água (infiltração e movimentação) e limita a produtividade das culturas (CAMARA & KLEIN, 2005; BEUTLER et al., 2007). No entanto, a manutenção da palha na superfície do solo ao longo do ano e a alternância de espécies vegetais e sua manutenção na superfície do solo na área (rotação de culturas) reduz a degradação do solo (MENTGES et al., 2007).

A escarificação é uma técnica de preparo do solo que propõem mínima mobilização do solo mantendo, sobretudo, os restos culturais na superfície do solo (FASINMIRIN & REICHERT, 2011) e atuando com uma das alternativas recomendadas, frequentemente, para reduzir os efeitos da compactação dos solos e, conseqüentemente, reduzir a densidade e aumentar a porosidade do solo (CAMARA & KLEIN, 2005). Além disso, são observadas melhorias na estrutura do solo em relação às propriedades físico-hídricas e mecânicas do solo (CAMARA & KLEIN, 2005).

Para Cavalieri et al. (2006), a adoção de sistemas de preparo com mínimo revolvimento do solo e uso de plantas de cobertura, além de oferecer as condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cultura, proporciona manutenção ou melhoria dos sistemas de produção.

Os implementos escarificadores contêm hastes que são utilizados no manejo primário do solo, e apresentam vantagens sobre os implementos de discos por não promoverem uma inversão de camadas, obtendo-se com isto, maior capacidade operacional e, principalmente, menor alteração da estrutura do solo. São utilizados no preparo do solo e

rompimento de camadas compactadas superficial, facilitando, assim, a penetração das raízes e a infiltração da água no solo (CAMARA & KLEIN, 2005).

No sistema convencional, o preparo do solo consiste no revolvimento de camadas superficiais, visando incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e com isso elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, facilitando o crescimento das raízes das plantas (BRAUNAK & DEXTER, 1989 *apud* GABRIEL FILHO et al., 2000).

O revolvimento do solo também promove o corte das plantas daninhas e auxilia no controle de pragas e patógenos do solo (ALVARENGA et al.; 1987). Esse revolvimento é realizado, basicamente, com aração e gradagens. O arado efetua o corte e a inversão da camada arada do solo, além de promover a incorporação de resíduos vegetais e plantas daninhas à profundidade revolvida. A grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno (CAMARA & KLEIN, 2005).

O preparo intensivo do solo, promovido pelo sistema de cultivo convencional, atua desagregando as partículas da camada superficial do solo e acelera a oxidação da matéria orgânica, aumentando a possibilidade de translocação de argila no perfil, e, por consequência e a compactação, que leva à diminuição de infiltração de água e aumento nas perdas por erosão (ALVARENGA et al., 1987; GABRIEL FILHO et al., 2000; PAVAN JUNIOR, 2006; SILVA, 2008).

Outro problema, oriundo do uso excessivo e inadequado de arado e grade, é a compactação do solo nas camadas subsuperficiais (conhecida como pé de arado ou pé degrade). Essas camadas compactadas tendem a aumentar a erosão, pois dificultam a infiltração da água da chuva, saturando rapidamente o solo, e com isso aumentando o escoamento superficial da água que arrasta consigo as partículas do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

## **2.5 Indicadores de qualidade do solo**

Para avaliar a qualidade de um solo é necessário analisar algumas propriedades do mesmo, que, em conjunto, são denominadas indicadores de qualidade do solo, que podem ser propriedades ou processos físicos, químicos e biológicos do solo (USDA, 2001b).

Para Mielniczuk et al. (2003), uma questão essencial em relação à qualidade do solo é a identificação de indicadores que possam auxiliar na avaliação de terras em relação

à degradação, na realização de estimativas de necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgamento das práticas de manejo utilizadas, a fim de monitorar as mudanças na sustentabilidade e na qualidade ambiental.

Segundo Doran & Parkin (1994), os indicadores de qualidade do solo são importantes para focar os esforços de conservação em melhoria das suas condições, avaliar práticas e técnicas de manejo do solo, relacionar qualidade do solo com outros recursos, coletar as informações necessárias para determinar tendências de mudanças na qualidade do solo e orientar as decisões de manejo.

Os indicadores escolhidos para uma determinada avaliação devem ser testados e monitorados, permitindo, então, avaliar as mudanças da qualidade do solo ao longo do tempo ou em diferentes escalas, possibilitando identificar a heterogeneidade natural do solo, flutuações sazonais ou incertezas analíticas. Para cada região agroclimática, é necessário determinar os atributos que são mais sensíveis ao manejo, pois estes são os mais desejáveis como indicadores e para observação das mudanças na qualidade do solo (ARSHAD & MARTIN. 2002 *apud* MORRIS, 2007).

Tendo o solo tem como função o suporte aos processos da vida, provendo o suporte físico e os nutrientes para as plantas, promover a retenção e o movimento da água, suportar as cadeias alimentares do solo e as funções reguladoras do ambiente, incluindo a ciclagem de nutrientes, a diversidade microbiana, a remediação de poluentes e a imobilização de metais pesados. Larson & Pierce (1994), propõem um modelo explicativo do relacionamento das funções do solo com os atributos do solo, que podem ser resumidos nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

## **2.6 Propriedades físicas do solo**

Diferentes propriedades físicas têm sido utilizadas na quantificação da qualidade física do solo (TOPP & ZEBCHUK, 1979). Do ponto de vista biológico, um solo com boa qualidade física requer balanço entre aeração e retenção de água, além de resistência do solo à penetração não impeditiva ao crescimento e às funções fisiológicas das raízes (LETEY, 1985).

O volume e a natureza da porosidade de um solo estão correlacionados propriedades como a textura, a estrutura, a densidade aparente, a umidade do solo, entre

outros, influenciando direta ou indiretamente, na infiltração, na permeabilidade ao ar e a água, na temperatura, na retenção da água e no crescimento das plantas (KIEHL, 1979).

Klein & Camara (2007) relatam que a porosidade livre de água, ou seja, a porosidade de aeração deve ser em torno de 10%, para que não restrinja a proliferação de raízes e redução na difusão de gases. Segundo Borges et al. (1998), a aplicação de níveis de compactação proporciona redução, de maneira linear, da porosidade total e do espaço de aeração.

A porosidade do solo é definida como a porção do volume do solo não ocupada por partículas sólidas, isto é, o volume dado pelos componentes orgânicos e inorgânicos, sua porosidade depende principalmente da textura e estrutura, sendo considerada como ideal quando apresentar 50% do seu volume. Sua caracterização é importante para a adoção de medidas de manejo, pois está estreitamente ligada à dinâmica de armazenamento e movimento da água e dos solutos e da circulação do ar no solo. Assim, o espaço poroso do solo regula as relações entre a fase sólida, líquida e gasosa (KIEHL, 1979).

A porosidade do solo pode ser dividida de maneira simples em macroporosidade e microporosidade. A primeira, sendo responsável pela aeração e drenagem da água, é constituída de poros com diâmetro maior do que 0,05 mm. Já a segunda, responsável pelo armazenamento da água, possui poros menores do que o referido valor. (EPSTEIN & BLOON, 2006).

Assim, são considerados valores ideais para a macroporosidade e a microporosidade quando apresentarem respectivamente  $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  do volume total do solo. Entretanto, valores de macroporosidade menores do que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  podem afetar o desenvolvimento das raízes, a ponto de comprometer a produtividade vegetal (KIEHL, 1979).

Na prática o espaço poroso tende a ser menor nos solos arenosos do que nos argilosos, indicando valores respectivamente entre  $0,35 - 0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $0,40 - 0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Porém, dependendo da classe granulométrica, o solo pode apresentar uma porosidade total mínima de  $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e máxima de  $0,80 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (KIEHL, 1979).

Quanto à densidade do solo, de acordo com Kiehl (1979), de maneira geral, pode-se afirmar que, quanto mais elevada for à densidade aparente do solo, maior será sua compactação, menor será sua estruturação, menor sua porosidade total e consequentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A porosidade do solo vem sendo muito utilizada nos estudos de correlação com outros atributos pertencentes à relação massa/volume, como por exemplo, a densidade global e resistência à penetração, apresentando considerável afinidade com eles (CARVALHO et al., 2008, MONTANARI & WENDLING et al., 2012).

A densidade do solo é considerada um atributo avaliador da qualidade estrutural do solo, sendo utilizada como indicador de sua estrutura. Desta forma, alterações dos seus valores refletem em modificações da estrutura do solo, devido à relação que existe entre a densidade e a porosidade total (DORAN et al., 1994).

O uso e o manejo alteram a densidade do solo e, conseqüentemente, a porosidade total e a de aeração. A porosidade de aeração está relacionada a razão entre o volume de ar, avaliado quando sua umidade estiver na capacidade de campo, e seu volume total. O ar ocupa o espaço poroso do solo não ocupado pela água. Para um solo seco, todo o espaço vazio (porosidade total) é ocupado pelo ar. A exigência das plantas para com a aeração do solo, isto é, a porosidade livre de água necessária para o seu pleno desenvolvimento, varia entre as espécies e os tipos de solos (MONTANARI, et al., 2010).

De acordo com Ripoli et al. (2007), a alta densidade prejudica o desenvolvimento radicular e da parte aérea, resultando em menor produtividade, porém ainda é discutível o significado de alta densidade para o desenvolvimento da cana-de-açúcar em determinado solo, ou seja qual é a faixa de densidade crítica.

O índice “S” avalia a porosidade estrutural que corresponde aos poros interpartículas, fendas, bioporos e poros macroestruturais resultantes do uso e manejo, sendo o maior valor de “S” equivalente a maior inclinação da curva de retenção de água, indicando melhor distribuição de poros e maior quantidade de poros com maior diâmetro (DEXTER, 2004). Segundo o autor, valores maiores que 0,035m indicam uma adequada distribuição de tamanho de poros e qualidade física do solo, independente do tipo de solo, em clima temperado.

A cultura da cana-de-açúcar ainda carece de estudos sobre o uso do índice S como indicador da qualidade física do solo. Para as culturas da soja e do milho, Beutler et al. (2008), apresentaram valores de índice S de 0,056 a 0,062m, respectivamente como limitantes a produtividade.

A compactação do solo é resultado do processo físico exercido pela ação das forças mecânicas. Tais forças aproximam as partículas unitárias do solo, expulsando o ar e a água do seu interior. Desta forma, ocorre a redução do seu volume total, por diminuir

drasticamente a macroporosidade e aumentar levemente a microporosidade. Consequentemente há um aumento tanto da densidade global como da resistência à penetração, assim como uma diminuição da taxa de infiltração (KOCHHANN et al.,2000).

Souza et al. (2010), verificaram em um Latossolo Vermelho eutroférico, trabalhando com a geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, valores de densidade do solo de 1,56 e 1,58 kg dm<sup>-3</sup> nas profundidades de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente. Esse valor de densidade do solo é muito alto e restringe o desenvolvimento do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar nas duas profundidades estudadas aumentando a compactação e diminuindo a macroporosidade do solo.

A densidade de partícula refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de terra sem considerar a porosidade. Por definição, entende-se densidade de partículas como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado por suas partículas sólidas. Nos solos, seus valores variam, em média, entre os limites 2,3 e 2,9 kg dm<sup>-3</sup>. Como valor médio adota-se 2,65 kg dm<sup>-3</sup>, isto porque os constituintes minerais predominantes nos solos são o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades de partículas estão em torno de 2,65 kg dm<sup>-3</sup> (KIEHL, 1979).

A densidade de partículas é a densidade média ponderada dos diferentes constituintes do solo. A densidade de partículas tem como aplicação: no cálculo da porosidade total, na determinação do tempo de sedimentação e é utilizada como critério para auxiliar na classificação de minerais. A densidade de partículas do solo pode ser designada como densidade real, massa específica real e peso específico real (COGO et al., 2003).

Segundo Kiehl (1979), a densidade de partículas é usada nas expressões matemáticas, em que se calculam volumes ou massas de sólidos das amostras ao se estudar a porosidade, a densidade do solo, a aeração e na determinação de sedimentação de partículas em vários fluídos, segundo a lei de Stokes, sendo necessário conhecer a densidade de partículas do solo.

Ainda segundo Kiehl (1979) é de acordo com a densidade, os minerais são classificados em leves, quando a densidade de partículas é menor que 2,85 kg dm<sup>-3</sup> e pesados, quando acima desse valor;em mineralogia, sendo importante para auxiliar a identificação de minerais pesados e leves. A presença de matéria orgânica baixa o valor da

densidade de partículas do solo, enquanto que a de óxidos de ferro e outros minerais pesados elevam a densidade para valores ao redor de  $3,00 \text{ kg dm}^{-3}$ .

A densidade relativa do solo (Dsr) consiste na relação entre a densidade em que se encontra o solo e a densidade máxima do solo obtida pelo ensaio de *Proctor* (CARTER, 1990). Vários autores têm mostrado a utilidade dessa relação na caracterização da compactação e resposta das culturas em diferentes tipos de solo (HAKANSSON, 1990; SILVA et al., 1997; BEUTLER et al., 2005).

Valores de Dsr acima de 86% são considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas e abaixo de 80% podem afetar a produtividade de alguns cereais em consequência da redução da capacidade de armazenamento de água no solo (LINDSTRON & VOORHEES, 1994).

Segundo Arvidsson & Hakansson (1991), em geral, na Dsr de 86% são obtidas maiores produtividades, oscilando com as condições climáticas e culturas, sendo os resultados similares para os diferentes solos.

Dentre os atributos físicos do solo com influência direta sobre o desenvolvimento das plantas, destaca-se a resistência mecânica do solo a penetração. De acordo com Pedrotti et al. (2001), 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.

A habilidade das raízes penetrarem no perfil diminui quando a densidade e a resistência do solo aumentam. Em solos com menor umidade, a coesão e a resistência do solo à penetração aumentam e a pressão hidrostática das células das raízes diminui, com conseqüente redução da força na coifa e na região meristemática para superar a resistência do solo (HAMZA & ANDERSON, 2005).

A resistência à penetração, estabelecida pela pressão, é a razão qualquer entre força necessária para a penetração de uma base metálica do penetrômetro, provida de uma extremidade, cuja área basal é conhecida e constante (ROSA FILHO et al., 2009), sendo um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação do solo (STONE et al., 2002), por apresentar relações direta com o crescimento das plantas (MONTANARI et al., 2010) e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (STRECK et al., 2004).

Comparações dos valores de resistência mecânica, quando efetuadas para distintos sistemas de preparo do solo, ficam dificultadas devido à variabilidade da umidade. Assim, tal umidade deve ser tomada concomitantemente à da resistência, sendo, portanto tida como variável de controle desse processo. Este procedimento permite que os valores da resistência, que normalmente apresentam elevada variabilidade, possam ser comparados entre distintos sistemas agrícolas (BENGOUGH et al., 2001).

Para Klein et al. (1998), a resistência mecânica do solo à penetração é influenciada por vários fatores, como a densidade e a umidade. Na sua determinação, é fundamental fazer o monitoramento dos dados de densidade e de umidade, uma vez que influenciam diretamente sobre os valores de resistência mecânica do solo à penetração.

Sendo a resistência do solo à penetração fortemente influenciada pela umidade do solo no momento da amostragem, quanto maior a umidade no solo, maior o coeficiente de variação para o atributo resistência à penetração, dessa forma é aconselhável que a amostragem seja realizada com baixos teores de água no solo, dados que corroboram com a metodologia sugerida: dois terços da microporosidade preenchida com água (SOUZA et al., 2006).

Pedrotti et al. (2001), ressaltaram, ainda, que a manutenção de valores mais elevados de água na camada superficial do solo, em função da presença contínua de cobertura vegetal em tratamentos com plantio direto, resulta na ocorrência de menores valores de resistência do solo à penetração.

Por outro lado, para um determinado tipo de solo, a resistência mecânica à penetração depende intimamente da sua densidade, do grau de umidade, do teor de matéria orgânica e da estrutura, assim como varia na razão inversa e direta respectivamente com a umidade e a densidade (BENGOUGH et al., 2001).

A taxa de alongação radicular diminui com o aumento da resistência à penetração do solo, que contrariamente às raízes, segue um trajeto linear no solo, de forma insensível à presença dos bioporos, planos de clivagem e/ou fraqueza. Tais locais são de extrema avidez à alongação radicular, resultando na super estimativa desse fato da ordem de duas a oito vezes maiores do que o crescimento normal das raízes (BENGOUGH et al., 2001).

Valores críticos de resistência, avaliados com o penetrômetro em condições de campo, nos quais a alongação radicular é reduzida, variaram entre 0,8-5,0 MPa, dependendo do solo e da cultura. Por outro lado, a máxima pressão axial que a raiz pode exercer varia de 0,24 a 1,45 MPa, dependendo da espécie. Dessa forma, a alongação

radicular diminui no solo quando a resistência, avaliada pelo penetrômetro, for muito maior do que a máxima pressão que a raiz poderá exercer (BENGHOUGH et al., 2001).

A resistência mecânica à penetração tem boa correlação com o crescimento radicular, entretanto com a redução do teor de água do solo ocorre um aumento do seu valor. A redução do teor de água do solo proporciona aumento da resistência à penetração, decorrente da maior coesão entre as partículas sólidas. A resistência do solo à penetração é um atributo físico relativamente fácil de ser obtido e, de certa forma, de ser correlacionado com a densidade e a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor a macroporosidade. Esta última constitui-se no principal espaço para o crescimento das raízes (MERCANTE et al., 2003).

Valores mais elevados de resistência à penetração foram encontrados nos sistemas de cultivo, onde o teor de água era menor. Utset & Cid (2001) verificaram comportamentos distintos da variabilidade espacial da resistência à penetração em condições de solo seco e de solo úmido. Na condição de solo seco, os autores obtiveram coeficiente de variação de 25% e ajustaram semivariograma do tipo esférico, enquanto que, quando úmido, o coeficiente de variação foi de 80% e os dados apresentaram efeito pepita puro, mostrando o efeito da variabilidade temporal da umidade do solo na variabilidade espacial da resistência à penetração.

Carvalho et al. (2008), avaliando a resistência mecânica do solo à penetração sob o cultivo da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho argiloso, encontraram dependência espacial para a resistência mecânica à penetração, não havendo uma correlação espacial da RMP com o conteúdo de água no solo.

### 3 – REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; PACHECO, E. B. Preparo do solo. **Informe Agropecuário**, v. 13, n. 147, p. 40-45, 1987.

ALVES, M.C, **Sistema de rotação de culturas com plantio direto em latossolo roxo: efeitos nas propriedades físicas e químicas**. Piracicaba: ESALQ, 1992, 173p.

ARAÚJO, E.A. **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental**. Viçosa: UFV, tese defendida em 2008. Tese de doutorado. 2008.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (SSSA Special Publication.49).

ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. A Model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 20, p. 319-332, 1991.

BAVER, L. D. **Soil physics**. 4.ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 529p.

BENGOUGH, A. G. CAMPBELL, D. J.; O'SULLIVAN, M. F. **Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth**. In: Smith, K.A.; Mullins, C.E. Soil and environmental analysis: Physical methods. 2001. Edinburgh, Marcel Dekker, New York, USA.

BEUTLER, A.N. et al. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1223-1232, 2007.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.

BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. S.; LEONEL, C. L.; CENTURION, J. F. Densidade relativa e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciências da terra**, Campina Grande, v.8, n.2, p 28-36, 2008.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 377-382.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 112 p. Tese defendida em 2007 (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. V. S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho-Escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1663-1667, 1998.

BRADY, N.C.; WEIL, R.P. **The nature and properties of soils**. New Jersey. Ed Prentice Hall, 2002. 1000p.

BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar: álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil**. Brasília: Horizonte editora, 1985.

BUSSCHER, W.J. FREDERICK, J. R.; BAUER, P. J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.3, p.999-1003, 2000. Disponível em: <<http://soil.scijournals.org/cgi/content/full/64/3/999>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.789-96, 2005.

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; SILVA, A. R.; MUTTON, M. A.; CENTURION, J. F. 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**, v. 25, n. 1, p. 189-198, 2005.

CARNEIRO, R. F. V.; MARTINS, M. A.; FREITAS, M. S. M.; DETMANN, E.; VÁSQUEZ, M. Bagaço de cana-de-açúcar como substrato para multiplicação de fungos micorrízicos arbusculares e sua influência sob o estímulos. **Revista Caatinga**. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO (UFERSA) Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Caatinga (Mossoró, Brasil), v.21 n.5 (Número Especial), p.189-196, dezembro de 2008. Disponível em: <[www.ufersa.edu.br/caatinga](http://www.ufersa.edu.br/caatinga)>.

CARTER, M.R., GREGORICH, E. G., ANDERSON, D. W., DORAN, J. W., JANZEN, H. H. and PIERCE, F. J. Concepts of soil quality and their significance. In: Gregorich, E.G., and M.R. CARTER (eds.). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier Science, 1997. p. 1-20.

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 70, p. 425-433, 1990.

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

CARVALHO, L. A.; M. NETO, V. J.; SILVA, L. F.; PEREIRA, J. G.; GOMES, W. A. A.; CHAVES, C. H. C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brillhante, MS. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 1, p. 7-22, 2008.

CARVALHO, L. A.; SILVA JÚNIOR, C. A.; NUNES, W. A. G. A.; MEURER, I.; SOUZA JÚNIOR, W. S. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no Centro Oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**. v.34, n.1 p. 199-211, 2011.

CAVALIERI, K. M. V. et al. Efeitos de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 137-147. 2006.

CHEN, J.C.P.; CHOU, C. **Cane Sugar Handbook**. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12nd.ed. New York John Wiley & Sons, 1993.

COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosion and productivity human life. In: LAL, R. (ed.).**Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 428-431.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. In: UFP - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Departamento de solos e engenharia agrícola. **Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de solos agrícolas – 2 ed. rev. e amp. Curitiba, 2003, 143p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Terceiro Levantamento**, Brasília, dez. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

CORRÊA, L.A.; CRUZ, J.C. Plantio direto. **Informe agropecuário**, v.13, n.147, p.46-52, 1987.

COSTA, M.C.G. **Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas**. 88 p. Tese defendida em 2005 (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO; I. A.; ALVARENGA; R. C. SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe agropecuário**, v.22, n.208, p.13-24, 2001.

DELGADO, A. A.; AZEREDO CÉSAR, M. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Vol. II. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1977.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory. Effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004.

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

DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; CAMPOS, M. S.; ANDRIOLI, I. Estudo agroeconômico de sistemas de preparo do solo em área de colheita mecanizada de cana crua. **STAB**, Ribeirão Preto, v. 19, n.8, p. 6-8, 2001.

DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1994. 244 p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, Spec Pub no 35, Madison, p.3-21, 1994.

DORAN, J. W., SARRANTONIO, M. and LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 56, p. 1-54, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. In: **Predicting Tillage Effects On Soil Physical Properties And Processes**, Madison, 1982. Proceedings. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.91-104.

FASINMIRIN, J.T.; REICHERT, J.M. Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta crantz*) production in the tropics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.113, n1, p.1-10, 2011.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S; STROHHAECKER, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, 2000.

GREGORICH, E.G. Quality. In: LAL, R. (ed.).**Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.1058-1061.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Research**, v.82 p.121-145, 2005.

HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil Tillage Res.**, v.16, p.105-120, 1990.

KAISER, D.R. **Estrutura e água em Argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 151f. Tese defendida em 2010. (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26; p. 857-867, 2002.

KAY, B.D. & ANGERS, D.A. **Soil structure**. In: A. SUMNER, M.E., org. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.229-276.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo; Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2007.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. Compactação e descompactação de solos. Passo Fundo: EMBRAPA TRIGO, 2000. 20 p.

LAL, R.; FOLLET, R .F.; KIMBLE, J.M. Achieving soil carbon sequestration in the United States. A challenge to policy makers. **Soil Science**, v. 168, n. 12, p. 827-845, 2003.

LAL, R. Soil quality and sustainability, In: LAL, R. et al., eds. **Methods of assessment of soil degradation**. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.17-30.

KUMAR, S.; S. K. SAINI, S. K.; BHATNAGAR, A. Effect of subsoiling and preparatory tillage on sugar yield, juice quality and economics of sugarcane (saccharum species hybrid) in sugarcane plant-ratoon cropping system. **Sugar Tech**, v. 14; p. 398-404, 2012.

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

LARSON, W. E.; PIERCE, F.J. The Dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison; Soil Science Society of America, 1994, cap.3, p.37-52.

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

LIMA, R. P.; LEÓN, JAVIER.; SILVA, A. R.; Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 016-020, 2013.

LINDSTRON, M. J.; VOORHEES, W. B. Response of temperate crops to soil compaction. In: SOANE, B. D.; van OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 265-286. (Developments in Agricultural Engineering)

MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento**. 272 p. Tese defendida em 2005, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar. Produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal-SP: Funep, 2001.

MARTINS, N.G.S. **Os fosfatos na cana-de-açúcar**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MATSUOKA, S. **Relatório anual do programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar**. Araras, UFSCar, CCA, DBV, 2000.

MENTGES, M. I.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. A. S. Densidade máxima pelo ensaio de *Proctor* normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compreensão axial. In: **Congresso Brasileiro de ciência do Solo**, 31, 2007, Gramado. Resumos. Gramado: SBCS, 2007, CD-Rom.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p.1149-1159, 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO T.; FERNANDES, F.F. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.V.H.A. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3. p.209-248.2003.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DLACHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.6, p.1811-1822, 2010.

MORRIS, M. M. **Avaliação da qualidade do solo em sistema orgânico de cultivo**. Brasília: UNB, 2007. Dissertação de mestrado. 2007.

NATAL & NETTO, J. **A saga do álcool: fatos e verdades sobre os 100 anos do álcool combustível em nosso país**. Osasco, SP, 2007.

NICOLOSO, R. S.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1723-1734, 2008.

NOVAES, J. R. P. Campeões de produtividade: dores e febres nos canaviais paulistas. **Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**. São Paulo, v. 21, n. 59, Abr. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340142007000100013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142007000100013&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 de agosto. 2012.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, 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.

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

PACHECO, E.P.; CANTALICE, J.R.B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.403-415, 2011.

PANKHURST, C.E.; MAGAREY, R.C.; STIRLING, G.R.; BLAIR, B.L.; BELL, M.J. GARSIDE, A.L. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. **Soil & Tillage. Research**, Amsterdam, v.72, n.2, p.125-137, 2003.

PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Fundação Cargil, Campinas – SP, v. 1, 1987, 431p.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa –MG, v.28, n. 5, p. 911-917, 2004.

PAVAN JÚNIOR, A. **Sistema plantio direto: avaliação de semeadora em função do manejo da palhada e velocidade de trabalho na cultura da soja**. Jaboticabal: Unesp, tese defendida em 2006. Dissertação de Mestrado. 2006.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANAS, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica a penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 521-529, 2001.

REICHERT, J.M. ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I.; KAISER, D. R.; MINELLA, J. G. M.; REINERT, D. J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e

zoneamento agroclimático. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L.C. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v. VII, p. 1-54.

REICHERT, J.M. SUZUKI, L. E. A. S.; REINER, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.49-134. 2007.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDI, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**, p. 82- 90. 2ª ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007.

ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.241-247, 1997.

ROSA, D. P. da REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A.; VOGELMAN, E. S.; ROSA, V. T.; REINERT, D. J. Métodos de obtenção da capacidade de suporte de carga de um Argissolo cultivado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, out. 2011.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.

SCHIPPER, L. A.; SPARLING, G. P. Performance o soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. Soil Science Society of America Journal, **Journal Madison**, v. 64, p. 300 - 311, 2000.

SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society American. **Journal, Madison**, v. 61, p. 4-10, 1997.

SECCO, D. D. J. REINERT; J. M. REICHERT; C. O. ROS, D. A. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804. 2004.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.44, n.1-2, p.81-93, 1997.

SILVA JUNIOR, C.A.; CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; LIBARDI, P. L.; SILVA, M. A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. Alterações nos atributos físicos do solo relacionados a diferentes métodos de preparo no plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, v.3, n. 8, p.111-118, 2010.

SILVA, L. G. **Uso e monitoramento de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade dos solos de cerrado sob diferentes agroecossistemas**. Tese defendida em 2008, Brasília: UNB, 2008. Dissertação de Mestrado.

SILVA, M. L. N., CURI, N.; BLANCANEAU, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de um Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2485-2492, 2000a.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho Escuro e de um Podzólico Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.239-349, 2000.

SOUSA, E. L.; MACEDO, I. C. **Etanol e bioeletricidade**: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Unica, 2009.

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

SOUZA, 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**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C. CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L.G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.1, p.48-56, 2010b.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - 1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-12, 2002.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-60, 2004.

STUPIELLO, J.P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. v.2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Sciences Agronomics** . (Online). 2010, vol.32, n.1 ISSN 1807-8621.

TOPP, G.C. & ZEBCHUK, W. The determination of soil-water desorption curves for soil cores. **Canadian Journal of Soil Science**.v. 59, p.19-26, 1979.

TORMENA, C.A. BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência a penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Science Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S. & FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n.1, p. 65-71, 2007.

UNICA – União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=UNICA%20em%20açúcar&SubSecao=cana-de-açúcar>>. Acesso em 10/01/14.

USDA - Department of Agriculture . **Soil quality test kit guide**. Washington: Soil Quality Institute, 1998. 82p.

USDA- NRCS (United States Department of Agriculture). **Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning**. January, 2001. Acesso em Abril, 2012. Disponível em: <[http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/sq\\_assessment\\_cp.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/sq_assessment_cp.pdf)>

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3-4, p.193-202, 2001.

VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo. Mcgraw-Hill do Brasil, 1977. 509p. Vermelhos para a produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.

VASCONCELOS, J. N. Derivados da cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v. 20, n. 3, p. 16-18, 2002.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENTA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOU, T. T. Atributos Físicos e Carbono Orgânico los Latossolo Vermelho soluçar Diferentes Sistemas de uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v 35, n. 6, dezembro de 2011. Disponível a partir do <<http://www.scielo.br/scielo>>.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes temas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v.31, n.6, p. 1271-1280, 2007.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. 1985. In: NOVAIS, R.F.; 125 ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. v. 1, p. 1-53.

VOGELMANN, E.S.; MENTGES, M.I.; REICHERT, J.M.; ROSA, D.P. da; BARROS, C.A.P. de; REINERT, D.J. Compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo trafegado e escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 291-297, 2012.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 05, p. 487-494, 2005.

## **CAPÍTULO 2 - VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMA DE PREPARO DE SOLO EM ÁREA DE REFORMA DE CANAVIAL.**

**CABRAL, M.C.M., CARVALHO, L.A.**

### **RESUMO**

O Estado de Mato Grosso do Sul vem se destacando no cultivo de cana-de-açúcar para a produção sucroalcooleira, que mesmo sendo uma atividade que gera lucros, pode prejudicar o solo devido a vários fatores, um desses se deve a alta mecanização da cultura, que pode levar a compactação do solo. Tendo em vista isso, o presente estudo, tem como objetivo avaliar os atributos físicos do solo de um Neossolo Quartzarênico órtico do Cerrado Sul-mato-grossense após preparo mecanizado para reforma de canavial e sua relação com a produtividade. Os cinco tratamentos para o preparo do solo foram (subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; aração com arado aiveca + gradagem niveladora; subsolagem em área total + gradagem niveladora; subsolagem em área total; e gradagem intermediária). Para determinação dos atributos físicos do solo, amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas 20 meses após o preparo do solo nas camadas de 0,15-0,25 m e 0,25-0,35 m. Foram avaliadas a textura do solo, densidade de partícula (Dp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), resistência do solo à penetração (Rp) e densidade do relativa (Dr). Para a obtenção dos resultados, foi realizada uma análise descritiva, tendo por parâmetro a comparação de médias a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, através do delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas e cinco repetições. A avaliação das amostras de preparo do solo com combinações entre subsolagem na linha de plantio + grade niveladora; arado de aiveca + grade niveladora ou subsolagem em área total + grade niveladora proporcionaram melhor composição da estrutura física do solo, verificando um melhor desempenho na produtividade da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., preparo do solo, avaliação física do solo, compactação do solo.

### **ABSTRACT**

The state of Mato Grosso do Sul has been highlighted in the cultivation of sugar cane for sugar and ethanol production, even being an activity that generates profits, can harm the soil due to several factors, one of these is due to high mechanization of culture, which can lead to soil compaction. In view of this, the present study aims to evaluate the soil physical attributes of a Typic Orthic Quartzarenic the Cerrado of Mato Grosso do Sul after mechanical preparation for reform of sugar cane and its relationship with productivity. The five treatments were tillage (subsoiling at planting + leveling harrow line; moldboard plowing plow plowing + leveling, subsoiling in full harrow + leveling area; subsoiling in

total area, intermediate and harrowing ) . To determine the physical attributes of the soil , disturbed and undisturbed soil samples were collected 20 months after tillage layers of 0.15-0.25 0.25-0.35 m. Soil texture , particle density (  $D_p$  ) , bulk density (  $BD$  ) , total porosity (  $P_t$  ) , macroporosity (  $Ma$  ) , microporosity (  $Mi$  ) , soil penetration resistance (  $R_p$  ) and the relative density were evaluated (  $Dr$  ) . To obtain these results , a descriptive analysis was performed , with the parameter comparison of means at 5 % probability by Tukey test , using the completely randomized split plot with five replications . The evaluation of samples of soil tillage with combinations of subsoiling on the planting + harrowing line ; moldboard plowing + harrowing and subsoiling in total area + grade graders showed improved physical composition of the soil structure , verifying a better performance on the productivity of cane sugar.

**KEYWORDS:** *Saccharum* spp, soil preparation, physical soil assessment, soil compaction.

## **1- INTRODUÇÃO**

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na atual estrutura econômica mundial vem exercendo condições para que o Brasil, devido a sua extensão territorial promova a produção de etanol utilizado pelos veículos automotores, além da sua destinação para a produção do açúcar.

Verificando que dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012) o setor sucroalcooleiro nacional teve na safra 2012/2013 cerca de 602,2 milhões de toneladas, com aumento de 5,4% em relação à safra 2011/12, que foi de 571,4 milhões de toneladas, equivalendo a 30,7 milhões de toneladas a mais que a moagem da safra anterior. A produção de cana da região Centro-Sul foi de 532,0 milhões de toneladas, 6,1% maior que a produção da safra anterior.

Por ser uma planta anual, em seu cultivo é necessário o preparo do solo, com o uso de tecnologias que favoreçam a sua produtividade (SOUZA et al., 2006). Fato este que levou este estudo a ter como objetivo a avaliação do comportamento do solo e da cana-de-açúcar em cinco diferentes sistemas de preparo, numa área de reforma de canavial em um Neossolo Quartzarênico órtico.

Estudo esse relevante para verificação de produtividade da cana-de-açúcar, visto que é uma cultura importante, com grande expansibilidade no território nacional, que colabora com grande parte da exportação Brasileira. Esta que é uma cultura que produz alimento e gera também energia.

## 2 – MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local e clima

O experimento foi conduzido no município de Rio Brillhante, MS, Brasil (21°50'S, 53°57'W) em um Neossolo Quartzarênico órtico (EMBRAPA, 2006). O clima foi classificado como Aw conforme *Köppen-Geiger*, com precipitação média anual variando de 1.500 a 1.700 mm (Figura. 1).

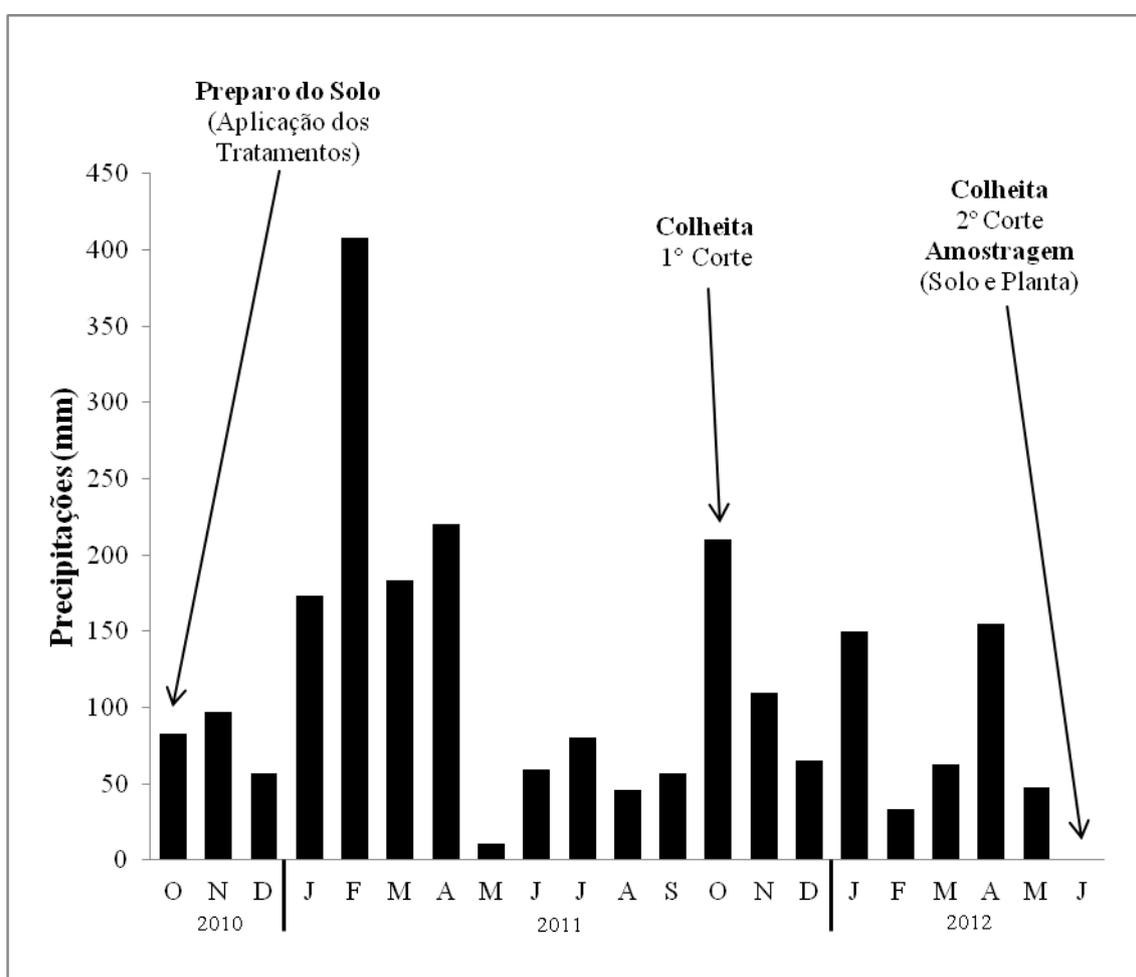


Figura 1. Valores médios mensais de precipitação pluvial na área do experimento. As letras iniciais representam cada mês, de janeiro até dezembro.

### 2.2 Preparo do solo e Tratamentos

O preparo do solo foi realizado em outubro de 2010, em área anteriormente explorada com cana-de-açúcar sob o sistema de colheita mecanizada com seis cortes

sucessivos. Pela necessidade de reforma do canavial, foram instalados os tratamentos com cinco sistemas de preparo do solo, após a dessecação com herbicida da soqueira: SIG – subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG – aração com arado aiveca + gradagem niveladora; StG – subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST – subsolagem em área total; e GI – gradagem intermediária. O plantio da variedade RB855156, a qual se destaca pela ótima capacidade de brotação e alta precocidade, foi realizado com espaçamento de 1,5 m entrelinhas. A correção química do solo foi realizada durante a realização do preparo do solo.

O preparo do solo foi executado com os seguintes implementos: subsolador canavieiro, constituído de cinco hastes com ponteiros tipo asas, grade aradora constituída de 18 discos com 32” de diâmetro, uma grade intermediária de 28 discos com diâmetro de 28” e uma grade niveladora com 52 discos de 18” de diâmetro. A profundidade média de atuação de cada implemento foi: subsolador (0,45 m); grade aradora (0,34 m); grade intermediária (0,27 m), e; grade niveladora (0,18 m). O subsolador em sítio específico (linha de cana), atuou com cinco hastes. Todas as operações de preparo de solo foram realizadas ao mesmo dia, estando o solo próximo a faixa de friabilidade.

### **2.3 Coleta das Amostras**

A coleta de amostras foi realizada 20 meses após o preparo do solo. Na avaliação dos atributos físicos do solo, cada ponto foi coletado em uma área de 10.000 m<sup>2</sup> com locações distantes 20 m entre si e em uma subárea útil demarcada de 200 m<sup>2</sup> nas camadas de 0,15-0,25 m e 0,25 a 0,35 m de profundidade. Para as amostragens, utilizou-se da entrelinha, distanciada 0,30 m da linha de cultivo e em todas as áreas observou-se um relevo plano. As amostras com estrutura deformada foram coletadas em cada sistema de preparo em cinco pontos distintos para análise granulométrica, densidade de partícula e a densidade do solo relativa por meio da densidade do solo máxima obtida pelo ensaio de *Proctor* normal. Foram utilizados 25 kg de solo de uma amostra composta em cinco pontos de amostragem por meio da abertura de trincheiras. Foram utilizadas amostras indeformadas com objetivo da avaliação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, coletadas com auxílio de amostrador de Uhland e anéis de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno de (100 cm<sup>3</sup>).

A quantificação granulométrica das frações de argila, silte e areia foram realizadas mediante a passagem do solo amostrado em peneira de 2 mm por meio da dispersão com água e NaOH ( $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e agitação lenta (16 horas) e densidade de partículas pelo método do balão volumétrico com álcool etílico, conforme metodologia descrita pela Embrapa (1997).

A determinação da densidade e da microporosidade do solo foram realizadas nas amostras indeformadas. Calculou-se a porosidade (total, macro e microporosidade) como o conteúdo de água em solo submetido à saturação por capilaridade com imersão de aproximadamente  $\frac{3}{4}$  dos cilindros em bandejas de plástico com água. O tempo de preenchimento dos poros foi de 48 horas, onde as amostras foram submetidas à tensão de  $-0,006 \text{ MPa}$  para determinação da microporosidade (poros  $< 50 \mu\text{m } \emptyset$ ) e capacidade de campo do solo (OLIVEIRA et al., 2003) utilizando uma mesa de tensão adaptada de Kiehl (1979).

Foi estimado o volume de macroporos (poros  $\geq 50 \mu\text{m } \emptyset$ ) com a diferença entre o conteúdo de água do solo saturado e o conteúdo de água do solo após a aplicação do potencial de  $-0,006 \text{ MPa}$ . O volume de microporos foi estimado como sendo o conteúdo de água retido no potencial de  $-0,006 \text{ MPa}$ . Após a drenagem das amostras, estas foram secas em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas para determinação da densidade do solo (BLAKE & HARTGE, 1986).

A resistência do solo à penetração foi avaliada em duas situações e com dois aparelhos. Utilizando as amostras indeformadas foram aferidas as medidas com a umidade na capacidade de campo ( $R_{p_{cc}}$ ) com penetrômetro eletrônico de bancada, modelo MA933, dotado de variador eletrônico de velocidade e sistema de registro de dados (TORMENA et al., 2007), com três mensurações na superfície do solo de cada anel. A resistência do solo à penetração também foi medida nas condições de campo sem o controle da umidade na amostragem ( $R_p$ ). Para isso foi utilizado um penetrômetro eletrônico Falker, modelo penetrológ PLG1020.

Em cada sistema de preparo foram feitas cinco repetições aleatoriamente na entrelinha do cultivo e a  $0,30 \text{ m}$  da linha, até a profundidade de  $0,35 \text{ m}$ . A aquisição dos dados por este equipamento é feita por esforço manual, onde a ponta cônica e a haste do equipamento foram inseridas no solo por meio da força do operador.

O ensaio de *Proctor* normal foi realizado com aparelho da marca Soiltest modelo CN4230, sendo a amostra compactada em anel metálico de  $0,001 \text{ m}^3$ , por meio de um

soquete com massa de 2,5 kg, com aplicação de 25 golpes por corpo de prova, em uma altura de queda livre de 0,305 m, semelhante ao que é preconizado na Norma Técnica ABNT/NBR 7182/86 (ABNT, 1986). A partir dos pares de dados, a  $D_s$  em função da umidade gravimétrica, fez-se o ajuste da equação matemática de 2º grau (Equação 1):

$$D_s = b_0 + b_1 U_g + b_2 U_g^2 \quad (1)$$

Em que,  $b_0$ ,  $b_1$  e  $b_2$  os estimadores dos parâmetros ajustados na curva de compactação do solo.

Com a derivada da Equação 1, calculou-se a umidade ótima de compactação ( $U_{g\acute{o}t}$ ) (Equação 2) e a densidade do solo máxima ( $D_{s\acute{m}ax}$ ) (Equação 3) obtidas pela expressão:

$$U_{g\acute{o}t} = (- b / 2a) \quad (2)$$

$$D_{s\acute{m}ax} = - (b^2 - 4ac)/4a \quad (3)$$

Para determinar a densidade relativa ( $D_{s\acute{r}el}$ ), utilizou-se a razão entre a  $D_s$  e a  $D_{s\acute{m}ax}$  conforme Beutler et al., (2005):

$$D_{s\acute{r}el} = (D_{s\acute{c}ampo}/D_{s\acute{m}ax}) \times 100 \quad (4)$$

O resultado da produção agrícola foi expresso em toneladas de colmos por hectare (TCH) por meio do corte manual da estrutura da parte aérea na área útil da parcela. Os atributos tecnológicos, açúcares totais recuperáveis (ATR), pureza do caldo (PZA), açúcares polarizáveis da cana (PC), açúcares polarizáveis (POL) e a porcentagem de fibra foram determinados em laboratório.

## 2.4 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ANOVA, seguindo delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, no qual a parcela principal foi constituída pelos preparos de solo e as subparcelas, pelas profundidades analisadas. Os resultados foram submetidos a análise de variância com 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo das áreas de estudo apresentaram textura franco-arenoso, mesmo ocorrendo variações nos conteúdos de argila, silte e areia nas áreas de cada sistema de preparo

(Tabela 1). Quando o resultado no teor de argila foi menor, houve tendência à classe textural franco-arenoso.

Pelo tamanho das áreas, é possível que apresente algumas variações em termos de granulometria, comprovado pelas diferenças significativas nos conteúdos de argila e areia. No entanto, os valores superiores de argila em camada subsuperficial devem ser atribuídos principalmente à translocação de argila do horizonte A e à sua acumulação no horizonte B (OLIVEIRA et al., 2010). Os valores médios da densidade de partícula pouco variaram, indicando homogeneidade das áreas nessa característica do solo. As pequenas variações ocorridas podem estar relacionadas ao teor de carbono orgânico no solo (VIANA et al., 2011).

Tabela 1. Características granulométricas, densidade de partícula (Dp), densidade do solo máxima (Dsmáx) e umidade ótima de compactação (Ugót) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.

Sistema de Preparo <sup>(1)</sup>	Argila ..... g kg <sup>-1</sup> .....	Silte ..... g kg <sup>-1</sup> .....	Areia ..... g kg <sup>-1</sup> .....	Classe Textural	Dp ..... Mg m <sup>-3</sup> .....	D <sub>s</sub> máx ..... Mg m <sup>-3</sup> .....	U <sub>gót</sub> ... kg kg <sup>-1</sup> ...
Camada (0,15 – 0,25 m)							
<i>SIG</i>	153,12abA <sup>(2)</sup>	51,78aA <sup>(2)</sup>	795,10aA <sup>(2)</sup>	Franco-arenoso	2,62	1,79	0,12
<i>AG</i>	133,75 abB	62,85 aA	803,40 Aa	Franco-arenoso	2,62	1,97	0,11
<i>StG</i>	119,17 bA	75,83 aA	805,00 Aa	Franco-arenoso	2,73	1,92	0,11
<i>ST</i>	167,63 aA	79,97 aA	752,40 bA	Franco-arenoso	2,69	1,92	0,11
<i>GI</i>	133,50 bB	64,90 aA	801,60 Aa	Franco-arenoso	2,70	1,92	0,11
Camada (0,25 – 0,35 m)							
<i>SIG</i>	151,38abA <sup>(2)</sup>	56,50 aA	792,12 abA	Franco-arenoso	2,64	1,88	0,12
<i>AG</i>	158,59 abA	68,16 aA	773,25 bcB	Franco-arenoso	2,73	1,92	0,12
<i>StG</i>	132,50 bA	61,20 aA	806,30 aA	Franco-arenoso	2,65	1,99	0,11
<i>ST</i>	170,78 aA	74,72 aA	754,50 cA	Franco-arenoso	2,71	1,90	0,10
<i>GI</i>	181,75 aA	53,65 aA	764,60 bcB	Franco-arenoso	2,68	1,90	0,11
F (preparo)	6,70**	2,29 <sup>ns</sup>	12,79**	-	1,20 <sup>ns</sup>	-	-
F (camada)	11,84**	0,86 <sup>ns</sup>	9,52**	-	0,22 <sup>ns</sup>	-	-
DMS (preparo)	34,03	31,39	29,41	-	0,13	-	-
DMS (camada)	23,80	21,18	20,17	-	0,09	-	-
CV (preparo)	13,05	28,57	2,19	-	2,87	-	-
CV (camada)	12,01	24,73	1,95	-	2,72	-	-

<sup>ns</sup>, \* e \*\*, não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente. <sup>(1)</sup> SIG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. <sup>(2)</sup> Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05). DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Pelas derivadas das equações ( $R^2 > 0,71$ ) foram obtidas a densidade máxima do solo ( $D_{s_{máx}}$ ) e a umidade gravimétrica ótima ( $U_{g_{ót}}$ ), na qual foi observado um distanciamento das curvas de compactação do solo na  $D_{s_{máx}}$  sob as diferentes condições de preparo do solo, ainda que com a ocorrência da mesma classe textural para todas as áreas estudadas (Tabela 2). Brady (2006) relatam que a redução da densidade do solo e da  $D_{s_{máx}}$  ocorre com o aumento do teor de matéria orgânica, sendo que também pode aumentar a  $U_{g_{ót}}$ . Nas condições do trabalho, a  $U_{g_{ót}}$  permaneceu com pouca alteração nos valores (0,10 a 0,12  $kg\ kg^{-1}$ ). Assim, foi verificado que para todos os sistemas de preparo, a densidade do solo máxima ocorrerá quando houver tráfego de maquinários com as condições de umidade elevada.

Tabela 2. Coeficientes de ajuste de um polinômio de 2º grau ( $D_s = a U^2 + b U + c$ ) observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.

Sistema de Preparo <sup>(1)</sup>	a <sup>(2)</sup>	B	c	R <sup>2</sup>	D <sub>s<sub>máx</sub></sub> .. Mg m <sup>-3</sup> ...	U <sub>g<sub>ót</sub></sub> ...kg kg <sup>-1</sup> ...
Camada (0,15 – 0,25 m)						
<i>SIG</i>	-28,08	6,91	1,36	0,89	1,79	0,12
<i>AG</i>	-136,23	29,79	0,34	0,94	1,97	0,11
<i>StG</i>	-59,24	13,42	1,16	0,86	1,92	0,11
<i>ST</i>	-164,87	39,16	-0,40	0,92	1,92	0,11
<i>GI</i>	-95,45	21,06	0,73	0,92	1,92	0,11
Camada (0,25 – 0,35 m)						
<i>SIG</i>	-64,00	15,41	0,95	0,88	1,88	0,12
<i>AG</i>	-77,25	18,36	0,83	0,81	1,92	0,12
<i>StG</i>	-124,62	27,25	0,50	0,90	1,99	0,11
<i>ST</i>	-38,09	7,41	1,53	0,79	1,90	0,10
<i>GI</i>	-99,00	22,16	0,66	0,94	1,90	0,11

<sup>(1)</sup> SIG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. <sup>(2)</sup> Coeficiente de ajuste (a, b, c) da equação de segundo grau.

Nos tratamentos descritos, não foi observado diferença entre as médias de densidade do solo sob os sistemas de preparo e entre as camadas avaliadas (Tabela 3). Na camada de 0,15-0,25 m, o menor e maior valor de densidade do solo foi encontrado no sistema de preparo ST e GI, com valor iguais a 1,74 e 1,80  $Mg\ m^{-3}$ , respectivamente. O uso do preparo envolvendo duas operações (StG) apresentou valor médio de 1,79  $Mg\ m^{-3}$ . Já o preparo envolvendo apenas uma operação (GI), sem preparo secundário, se mostrou mais

sensível os valores elevados de densidade do solo. SIG e AG ficaram com valores médios a intermediários, quando comparado aos maiores e menores valores encontrados. Os menores valores podem estar relacionados com a eficiência de rompimento da compactação na subsolagem em área total (ST) sem o intenso revolvimento do solo. Para a AG era esperado valores de intermediários a inferiores, pois o revolvimento do solo promovido pelo uso da aração e grade niveladora pode causar uma intensa pulverização do solo, próximo à superfície (SOUZA et al., 2005).

Tabela 3. Densidade do solo (Ds), densidade do solo relativa (Ds<sub>rel</sub>), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo

Sistema de Preparo <sup>(1)</sup>	Ds Mg m <sup>-3</sup>	Ds <sub>rel</sub> %	Ma .....%	Mi .....%	P <sub>t</sub>	Relação Mi/Ma
Camada (0,15 – 0,25 m)						
SIG	1,76	98,32	7,14 abA <sup>(2)</sup>	22,34 aA <sup>(2)</sup>	28,19	3,13:1
AG	1,76	89,34	7,73 abA	21,06 abcA	26,88	2,72:1
StG	1,79	93,22	4,99 bA	21,90 abA	27,05	4,39:1
ST	1,74	90,62	8,98 aA	19,37 bcA	28,35	2,16:1
GI	1,80	93,75	9,32 aA	18,93 cA	28,05	2,03:1
Camada (0,25 – 0,35 m)						
SIG	1,79	95,21	3,68 bA	23,61 aA	26,01	6,41:1
AG	1,74	90,62	7,64 aA	22,41 aA	30,05	2,93:1
StG	1,73	86,93	7,01 abA	21,66 abA	27,98	3,08:1
ST	1,76	92,63	8,18 aA	19,45 bA	27,64	2,37:1
GI	1,76	92,63	8,93 aA	20,77 abA	29,71	2,32:1
F <sup>(preparo)</sup>			9,61**	8,28**	0,88 <sup>ns</sup>	-
F <sup>(camada)</sup>			0,90 <sup>ns</sup>	3,84 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	-
DMS <sup>(preparo)</sup>	0,09		3,33	2,87	4,56	-
DMS <sup>(camada)</sup>	0,07		2,66	2,04	3,49	-
CV <sup>(preparo)</sup>	2,78		22,31	7,69	8,55	-
CV <sup>(camada)</sup>	3,18		27,47	7,34	9,47	-

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente. <sup>(1)</sup> SIG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. <sup>(2)</sup> Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05). DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Na camada de 0,25-0,35 m foram encontrados os menores valores da densidade do solo (Ds) em AG e StG, com 1,74 e 1,73 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. O maior valor de Ds foi observado em SIG, com valor médio de 1,79 Mg m<sup>-3</sup>. Estes resultados são compatíveis com Stone et al. (2002), que verificaram aumento no valor da densidade do solo após a

camada de 0,10 m, em solos preparados com grade pesada. Usando a ST ou GI, no presente trabalho, a densidade foi de  $1,76 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Em relação à densidade relativa do solo ( $D_r$ ) (relação entre a  $D_s$  e a  $D_{s_{\text{máx}}}$ ), o sistema de preparo SIG apresentou os maiores valores nas duas camadas avaliadas (Tabela 3). Observando todos os tratamentos na camada de 0,15-0,25 m, os valores variaram de 90 a 98%. Já na camada de 0,25-0,35m os valores variaram de 86 a 95% na camada subsequente. A densidade relativa do solo diminuiu conforme o aumento da profundidade. Viana et al. (2011) encontraram valores de densidade relativa de 82% em solo cultivado com cana-de-açúcar e preparado com aração e gradagem em porcentagem similar de argila e maiores concentrações de areia. A  $D_{s_{\text{máx}}}$  e  $U_{g_{\text{ót}}}$  obtida pelos mesmos autores foram de  $2,03 \text{ Mg m}^{-3}$  e  $0,13 \text{ kg kg}^{-1}$ , enquanto que a densidade do solo foi de  $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$ . Segundo Lindstron & Voorhees (1994), valores de densidade relativa do solo acima de 86% são considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas e valores inferiores a 80% podem reduzir muito a capacidade de armazenamento de água, causada pelo aumento excessivo da macroporosidade em relação à de microporosidade.

Os sistemas de preparo apresentaram valores médios diferindo quanto à macro e microporosidade (Tabela 3). Os valores de macroporosidade foram baixos em todos os sistemas de preparo, e também nas duas camadas descritas, inferiores a 10%, o que é considerado limitante segundo Erickson (1982), Ros et al. (1997), Tormena et al. (2004) e Lanzasova et al. (2007).

As comparações de médias mostram que a utilização do subsolador em área total + da grade niveladora (StG) na camada de 0,15-0,25 m afetou drasticamente a macroporosidade, com valor médio de 4,99%. Por outro lado, compreende-se que nas áreas menos perturbadas pelas hastes do subsolador, ocorreu a mobilização parcial do solo. Com a utilização da subsolagem somente na linha de plantio, associado à grade niveladora (SIG), os valores da macroporosidade foram de 7,14%. Os valores foram superiores nas operações de preparo onde houve menor número de passagem de equipamentos, associado à utilização da ST e GI isolados, com valores de 8,98% e 9,32% e, respectivamente, sem preparo secundário.

Na camada 0,25-0,35 m, SIG apresentou valor médio de macroporosidade muito reduzida, com apenas 3,68% de aeração. Estes resultados mostram que houve comprometimento da qualidade física do solo em determinado sistema de preparo, no qual pode ser observado pelo aumento da densidade do solo e diminuição do volume de

macroporos, comprovados por Kay & Angers (1999). No entanto, para precauções na escolha dos melhores indicadores físicos solo, Schipper & Sparling (2000), observaram que a macroporosidade sofre muita variabilidade no solo, necessitando assim, de um grande número de amostras para representar 90% de confiabilidade. Assim, pode-se perceber que ocorreu um aumento do comprometimento da densidade do solo, segundo os dados observados nos resultados na macroporosidade, uma vez que os valores do coeficiente de variação foram elevados. Contudo, neste trabalho, os valores encontrados estão abaixo dos que já são considerados críticos.

A microporosidade foi menor em ST e GI nas duas camadas avaliadas, conforme observado com o volume de macroporos. Para Silva & Ribeiro (1992), a microporosidade permaneceu sem alteração, porém houve aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade.

A escarificação aumentou a microporosidade de 29 para 32% em cultivo de soqueira na cana-de-açúcar em trabalho realizado por Paulino et al. (2004), em Latossolo Vermelho. A relação micro/macroporosidade obtida no presente estudo variou entre 2,03:1 a 6,41:1 em todos os preparos de solo. Em condições adequadas para o bom desenvolvimento das culturas é citados a relação de 2:1 (BAVER, 1972, KIEHL, 1979, LAL, 1999, BRADY; WEIL, 2002). A baixa macroporosidade e alta relação micro/macroporosidade indica falta de aeração no solo.

A porosidade total (Tabela 3), não apresentou diferença significativa nos sistemas de preparo, corroborando com Silva Junior et al. (2010), ao trabalharem com diversos preparos convencionais e cultivo mínimo, encontram porosidade total variando de 46 a 51%, em solo argiloso, superiores ao valor encontrado neste estudo, que foi de 27 a 30%, porém destacando o fato de se tratar de um solo arenoso.

As modalidades de preparo de solo não refletiram significativamente sobre a resistência do solo à penetração ( $R_p$  e  $R_{p_{cc}}$ ), porém diferiu entre camadas (Tabela 4). Em termos gerais, os valores mensurados com o controle da umidade ( $R_{p_{cc}}$ ) foi menos sensível às variações do que a resistência do solo à penetração sem o controle da umidade ( $R_p$ ) com medidas a campo. Isso pode ser comprovado pelos valores do coeficiente de variação para a  $R_{p_{cc}}$  (22,69%) e  $R_p$  (39,68%). As maiores magnitudes ocorridas nos dados sem o controle da umidade é natural em condições de campo, pois as grandezas do solo variam em maior proporção nessas condições.

Tabela 4. Resistência do solo à penetração com controle de umidade (Rp<sub>cc</sub>) e sem o controle de umidade (Rp) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.

Sistema de Preparo <sup>(1)</sup>	Rp <sub>cc</sub>	Rp
	.....MPa.....	
Camada (0,15 -0,25 m)		
<i>SIG</i>	2,58 aA <sup>(2)</sup>	2,83 aB <sup>(2)</sup>
<i>AG</i>	3,12 aA	3,39 aA
<i>StG</i>	3,12 aA	2,25 aB
<i>ST</i>	2,53 aA	2,56 aB
<i>GI</i>	3,35 aA	3,23 aA
Camada (0,25 -0,35 m)		
<i>SIG</i>	2,50 aA	3,54 aA
<i>AG</i>	2,66 aA	3,41 aA
<i>StG</i>	1,96 aB	3,27 aA
<i>ST</i>	2,79 aA	3,80 aA
<i>GI</i>	2,99 aA	3,29 aA
F <sup>(preparo)</sup>	1,85 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
F <sup>(camada)</sup>	2,70 <sup>ns</sup>	21,07 <sup>**</sup>
DMS <sup>(preparo)</sup>	1,25	39,68
DMS <sup>(camada)</sup>	0,99	14,83
CV <sup>(preparo)</sup>	22,69	39,68
CV <sup>(camada)</sup>	27,30	14,83

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente <sup>(1)</sup> SIG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. <sup>(2)</sup> Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05). DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Os valores de Rp<sub>cc</sub> oscilaram entre 2,53 e 3,35 MPa, sendo menos e mais afetado pela ST e GI, respectivamente, na camada de 0,15-0,25 m. AG e StG resultou em uma Rp<sub>cc</sub> de 3,12 MPa e o uso da SIG apresentou valores de 2,58 MPa. Na camada de 0,25-0,35 m, os valores de Rp<sub>cc</sub> foram de 1,96 a 2,99 MPa, representado pelos preparos com utilização da StG e GI, concomitantemente. A SIG, AG e ST ficaram com os valores intermediários de 2,50, 2,66 e 2,79 MPa, respectivamente. Os sistemas de preparo obedeceram à ordem crescente de valores de ST < SIG < AG ≤ StG < GI na camada de 0,15-0,25 m e StG < SIG < AG < ST < GI na camada de 0,25-0,35 m. Pela ordem,

verificou-se que ST não foi muito eficiente na profundidade subsuperficial. Algumas pesquisas tem direcionado o pensamento sobre a subsolagem e seu efeito dependente da ação do clima (Busscher et al., 2002; Nicoloso et al., 2008; Reichert et al., 2009). Para estes autores, a persistência do efeito do escarificação ou da subsolagem é dependente do volume e da intensidade da precipitação, pois, em anos mais chuvosos, o solo tende a se reconsolidar mais rapidamente. Os resultados desses estudos mostram dependência do volume acumulativo de chuvas.

O uso do penetrológ em agrossistemas canavieiros nas melhores condições de umidade do solo para avaliar a compactação, é adquirido com experiência prática. Dessa forma, a utilização deste equipamento se torna mais eficaz e rápido na obtenção dos dados, mesmo sem o controle da umidade no ponto de coleta. Sendo assim, os valores de  $R_p$  encontrados foram sensíveis nas diferentes camadas avaliadas.

As médias de  $R_p$  (Tabela 4) foram estatisticamente diferentes nas camadas avaliadas no preparo com SIG, StG e ST, com valores inferiores na camada de 0,15-0,25 m. Nessa camada, os preparos obedeceram a seguinte ordem decrescente: AG > GI > SIG > ST > StG, com os valores de 3,39, 3,23, 2,83, 2,56 e 2,25 MPa, respectivamente. Na camada subsequente, a ordem decrescente foi: ST > SIG > AG > GI > StG, com os valores de 3,80, 3,54, 3,41, 3,29 e 3,27 MPa, respectivamente.

Trabalho realizado por Dias et al. (2001), testando diferentes sistemas de preparo de solo, não verificou diferenças nas propriedades físicas do solo, embora tenha observado maior resistência a penetração nas áreas onde o solo não foi revolvido.

A relação de limites restritivos estabelecidos por Silva et al. (2002) de 2,0 MPa e os estabelecidos por Beutler & Centurion, (2004), de 2,38 MPa para solos de textura média estão todos abaixo do que foi apresentado pela  $R_{p_{cc}}$  e  $R_p$ , com exceção apenas para StG pelo penetrômetro de bancada na camada de 0,25-0,35 m. Estes valores considerados restritivos têm sido muito questionados, assim como a quantificação do indicador físico mais adequado, pois existe uma série de variáveis que afetam o crescimento e desenvolvimento das culturas.

Para Reichert et al. (2009), a resistência do solo à penetração é a propriedade que melhor caracteriza e diferencia os sistemas de manejo, camadas com diferentes graus de impedimento à penetração e o efeito da época de amostragem. Nas condições do trabalho, a  $R_{p_{cc}}$  teve uma ótima relação com os valores de densidade do solo, o que mostra assiduidade dos dados na quantificação dos atributos físicos do solo (Figura 2).

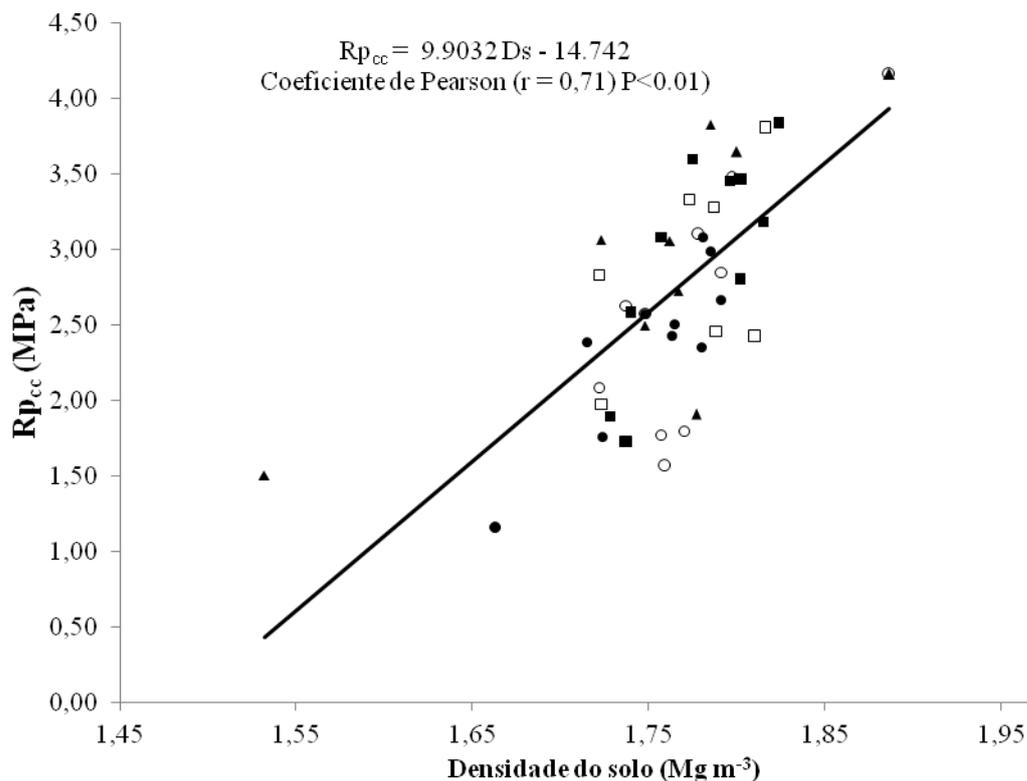


Figura 2. Relação entre resistência do solo à penetração (Rpcc) e a densidade do solo até a profundidade de 0,35 m, considerando todos os sistemas de preparo.

Os resultados aqui obtidos da resistência do solo à penetração possivelmente não foram influenciados pelas pequenas diferenças na composição granulométrica das áreas. Este fato por ser comprovado pelo trabalho de Lima et al. (2013), que observaram proximidade dos valores da resistência do solo à penetração em solos cultivados com cana-de-açúcar com classes texturais diferentes.

O desempenho da produção agrícola (TCH) e industrial (TSH) foram significativamente influenciado pelos sistemas de preparo (Tabela 5). Os maiores benefícios para o TCH, ocorreram com uso da StG e SIG com respectivos 83,84 e 83,73 Mg ha<sup>-1</sup>. O preparo de solo que mostrou a maior limitação na produção foi a GI. Foi observado assim, um decréscimo de 38,92 Mg ha<sup>-1</sup> de colmos e 6,02 Mg ha<sup>-1</sup> de açúcar em comparação ao melhor sistema de preparo. Estes resultados contrariam os estudos de Paulino et al. (2004), por não terem verificado diferença na produtividade.

Tabela 5. Desempenho agrícola e industrial médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.

Sistema de Preparo ( <sup>1</sup> )	TCH	TSH	TCH Relativo	Custo ( <sup>3</sup> )
	.....Mg ha <sup>-1</sup> .....		...%...	...R\$ ha <sup>-1</sup> ...
<i>Sl+Gn</i>	83,73 a <sup>(2)</sup>	13,03 a <sup>(2)</sup>	99,8	4.005,0
<i>A+Gn</i>	76,45 ab	12,35 ab	91,1	4.035,0
<i>St+Gn</i>	83,84 a	12,86 a	100,0	4.028,0
<i>St</i>	61,32 b	9,72 b	73,1	3.971,0
<i>Gi</i>	44,92 c	7,01 c	53,5	3.903,0
F	19,41**	14,43**	-	-
DMS	16,11	2,86	-	-
CV	12,05	13,68	-	-

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente (<sup>1</sup>) SIG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. (<sup>2</sup>) Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05). (<sup>3</sup>) Em todos os sistemas estão incluídas as operações de dessecação, calagem, gessagem, fosfatagem e pré plantio incorporado (PPI). DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Com relação aos atributos tecnológicos (Tabela 6), os valores não diferiram quanto à utilização dos preparos de solo. Kumar et al. (2012), desenvolveram estudo com subsolagem em solos indianos e observaram que houve melhoria significativa na produtividade de cana-de-açúcar e na qualidade da matéria prima. Os mesmos autores também concluíram que a prática é benéfica para reduzir a compactação do solo, além de onerar menores custos em relação a outros sistemas de preparo. Neste trabalho não houve efeito significativo para os atributos tecnológicos açúcares totais recuperáveis (ATR), sacarose aparente (pol), pureza do caldo (PZA) e porcentagem de fibra.

Tabela 6. Atributos tecnológicos médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.

Sistema de Preparo ( <sup>1</sup> )	POL	PZA	PC	Fibra (%)	ATR (kg Mg <sup>-1</sup> )
<i>Sl+Gn</i>	18,41	91,89	15,76	11,36	155,71
<i>A+Gn</i>	19,13	92,42	16,38	11,35	161,48
<i>St+Gn</i>	18,02	91,03	15,48	11,18	153,23
<i>St</i>	19,28	91,89	16,49	11,43	162,48
<i>Gi</i>	18,36	91,57	15,74	11,30	155,53
F	4,24 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	4,39 <sup>ns</sup>	2,78 <sup>ns</sup>	4,07 <sup>ns</sup>
DMS	1,49	3,16	1,32	0,59	12,13
CV	4,24	1,82	4,39	2,78	4,07

(<sup>1</sup>) SIG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. (<sup>3</sup>) DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

#### **4 – CONCLUSÕES**

As combinações entre subsolagem na linha de plantio + grade niveladora; arado de aiveca + grade niveladora e subsolagem em área total + grade niveladora, mostraram os melhores resultados de TCH e TSH.

As operações isoladas de grade ou subsolagem em área total, não apresentaram resultados adequados, que possibilitassem melhoria no que se refere à produtividade e também na qualidade física do solo.

Por se tratar de uma cultura de destaque em vários aspectos é importante também a necessidade de novos estudos que complementem a atual pesquisa, analisando aspectos que não foram aqui considerados. Estudos com diferentes tipos de tratamentos, insumos, variedade da cana-de-açúcar, classificações de solos, entre outros, visando o aperfeiçoamento, rentabilidade e precisão desta cultura.

## 5 – REFERÊNCIAS

BAVER, L. D. **Soil physics**. 4.ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 529p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. *In*: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 377-382.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.605-614, 2006

BRADY, N.C.; WEIL, R.P. **The nature and properties of soils**. New Jersey. Ed Prentice Hall, 2002. 1000p.

BUSSCHER, W.J. FREDERICK, J. R.; BAUER, P. J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.3, p.999-1003, 2000. Disponível em: <<http://soil.scijournals.org/cgi/content/full/64/3/999>>. Acesso em: 18 ago. 2013.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Terceiro Levantamento**, Brasília, dez. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; CAMPOS, M. S.; ANDRIOLI, I. Estudo agroeconômico de sistemas de preparo do solo em área de colheita mecanizada de cana crua. **STAB**, Ribeirão Preto, v. 19, n.8, p. 6-8, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. *In*: **Predicting Tillage Effects On Soil Physical Properties And Processes**, Madison, 1982. Proceedings. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.91-104.

KAY, B.D. & ANGERS, D.A. **Soil structure**. *In*: A. SUMNER, M.E., org. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.229-276.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo; Ceres, 1979. 262p.

KUMAR, S.; S. K. SAINI, S. K.; BHATNAGAR, A. Effect of subsoiling and preparatory tillage on sugar yield, juice quality and economics of sugarcane (saccharum species hybrid) in sugarcane plant-ratoon cropping system. **Sugar Tech**, v. 14; p. 398-404, 2012.

LAL, R. Soil quality and sustainability, In: LAL, R. et al., eds. **Methods of assessment of soil degradation**. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.17-30.

Lanzanova, E. L.; Nicoloso, S. R. da; Loyato, T.; Eltz, F. L. F.; Amado, T. J. C.; Reinert, J. D. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LIMA, R. P.; LEÓN, JAVIER.; SILVA, A. R.; Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, p. 016-020, 2013.

LINDSTRON, M. J.; VOORHEES, W. B. Response of temperate crops to soil compaction. In: SOANE, B. D.; van OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 265-286. (Developments in Agricultural Engineering, 2).

NICOLOSO, R. S.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1723-1734, 2008.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, 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.

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

PAULINO, A. F.; MEDINA, C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa –MG, v.28, n. 5, p. 911-917, 2004.

REICHERT, J.M., ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I.; KAISER, D. R.; MINELLA, J.G.M.; REINERT, D.J. Hidrologia do solo, diponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L.C. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v. VII, p. 1-54.

ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.241-247, 1997.

SCHIPPER, L.A.; SPARLING, G.P. Performance o soil condition indicators across taxonomic groups and land uses. Soil Science Society of America Journal, **Journal Madison**, v. 64, p. 300 - 311, 2000.

SILVA, M.S.L. & RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.397-402, 1992.

SILVA JUNIOR, C.A.; CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; LIBARDI, P. L.; SILVA, M. A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. Alterações nos atributos físicos do solo relacionados a diferentes métodos de preparo no plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, v.3, n. 8, p.111-118, 2010.

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**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C. CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L.G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - 1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-12, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S. & FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n.1, p. 65-71, 2007.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENTA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOU, T. T. Atributos Físicos e Carbono Orgânico los Latossolo Vermelho soluçar Diferentes Sistemas de uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v 35, n. 6, dezembro de 2011. Disponível a partir do <<http://www.scielo.br/scielo>>