

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSSOLOS CULTIVADOS
COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB SISTEMAS DE USOS DO
SOLO**

Miriam Navarro Vasquez

Engenheira de Recursos Naturais Renováveis - C.S.A

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSSOLOS CULTIVADOS
COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB SISTEMAS DE USOS DO
SOLO**

Miriam Navarro Vasquez

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

2015

Navarro Vasquez, Miriam
N322a Atributos físicos de Latossolos cultivados com cana-de-açúcar sob
sistemas de usos do solo / Miriam Navarro Vasquez – – Jaboticabal,
2015
xii, 27 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientadora: Carolina Fernandes
Banca examinadora: Edson Luiz Mendes Coutinho, Adolfo Valente
Marcelo
Bibliografia

1. Usos do Solo. 2. Diâmetro Médio Ponderado. 3. Densidade do
solo. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias

CDU 631.43:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus
de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

MIRIAM NAVARRO VASQUEZ – Nascida no dia 06 de março de 1988, em Tingo María, Peru. Coursou o ensino fundamental na Escola Sagrada família e o ensino médio na Escola “Padre Abad”, ambas em Tingo María, Peru. Em março de 2005, ingressou no Curso de Graduação de Recursos Naturais Renováveis com especialidade na Conservação de Solos e Água (C.S.A), pela Universidade Nacional Agrária da Selva, na cidade de Tingo María, Peru, e em Dezembro de 2011, obteve o título de Bacharel em Recursos Naturais Renováveis C.S.A. Realizou estágio curricular de graduação no Laboratório de Solos da mesma universidade. No período de março a julho de 2013, fez estágio no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Adubos da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – Câmpus de Jaboticabal, SP, Brasil, e em agosto de 2013, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) da mesma universidade, onde foi bolsista CAPES no período compreendido entre agosto de 2013 e fevereiro de 2015.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSSOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB SISTEMAS DE USOS DO SOLO

AUTORA: MIRIAM NAVARRO VÁSQUEZ

ORIENTADORA: Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO

Centro Universitário de Rio Preto / São José do Rio Preto/SP

Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 03 de julho de 2015.

***Para se descobrir novas terras, deve-se estar disposto a perder
a terra de vista por um longo tempo.***

André Gide

***Aos meus pais, Manuel Navarro C. e Llerme Vasquez P.
e a minha irmã Llerme Navarro V.
Dedico***

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela fé, amor, proteção, saúde e sabedoria para que pudesse alcançar mais um objetivo.

À minha mãe e meu pai, pela vida, pelas palavras de conforto e sabedoria que me sustentaram em meio às tempestades, pelo apoio, compreensão e por sempre acreditarem que eu pudesse chegar até aqui: realizar um sonho.

À minha irmã, Llerme, por todos os conselhos, broncas, cobranças, enfim, por tudo. Sempre me motivou a continuar no caminho certo.

A meu namorado, Daniel L.C.D, agradeço enormemente, pela compreensão, paciência, apoio, carinho, companheirismo, nesta jornada, por me escutar dia a dia e sempre diminuir os problemas com um sorriso e suas piadas.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pela excelente formação e pela estrutura oferecida para a realização do curso de Mestrado.

À Profa. Dra. Carolina Fernandes, pela oportunidade de realização deste trabalho, pela brilhante orientação oferecida, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por ter concedido bolsa de estudos.

À minha amiga Priscila Volante, pelas sugestões e contribuições na elaboração deste trabalho e pela amizade verdadeira.

À senhora Elizabeth (Beth) por ter sido minha segunda mãe que contribuiu muito na reta final desse trabalho através do carinho, do conforto, dos conselhos, do incentivo e das suas orações.

Ao amigo Bruno, pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

A todos os professores que contribuíram para a formação durante o curso de mestrado.

Aos colegas de Pós-Graduação Luma, Nilvan, Fernando pelo companheirismo e contribuições para a realização do curso.

Aos funcionários do DSA/FCAV: Célia, Anderson e Claudia por proporcionarem subsídios na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho e ao Prof. Dr. José Eduardo Corá pelas brilhantes sugestões durante o exame de qualificação.

Aos amigos; Oniel, Jorge, Valeria, Marcelo, Natalia, Estersinha, Lili, Jesaías e o Fox, pelos momentos compartilhados e risadas em tempos de alegria e ajudas nos momentos de dificuldade, muito grato pela amizade.

A todos os demais amigos que sempre me incentivaram e me apoiaram nas tomadas de decisões, por mais distantes que estejam.

MUITO OBRIGADO!!

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A cultura de cana-de-açúcar.....	3
2.2. Sistema de manejo nos atributos físicos do solo	4
2.3. Densidade e sistema poroso do solo	5
2.4. Agregação do solo	7
2.5. Resistência do solo à penetração.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5. CONCLUSÕES	19
6. REFERÊNCIAS.....	20

ATRIBUTOS FÍSICOS DE LATOSSOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB SISTEMAS DE USOS DO SOLO

RESUMO – A quantificação do impacto ou efeitos dos usos do solo nos atributos físicos é fundamental na avaliação qualidade física do solo e para buscar o maior desenvolvimento da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e de um Latossolo Vermelho ácrico (LVw) resultante dos diferentes uso do solo, além da influência deles na quantidade e qualidade do cultivo de cana-de-açúcar. O experimento foi implantado em 2008 em duas áreas em Jaboticabal, SP, em um LVef, com textura muito argilosa (argila = 680 g kg^{-1}) e em um LVw com textura argilosa (argila = 440 g kg^{-1}). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições e quatro tratamentos, caracterizados por diferentes usos do solo no período de reforma do canavial: soja/milheto/soja (SMS), soja/crotalária/soja (SCS); soja/pousio/soja (SPS) e soja (S). A amostragem do solo foi realizada, 40 meses após o plantio de cana-de-açúcar em junho 2013, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20m de profundidade. Determinaram-se matéria orgânica (MO), índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio ponderado (DMP), resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade e microporosidade. O cultivo de soja proporcionou maior DMP nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m nos Latossolos. O uso SPS e cultivo de soja proporcionaram maior e menor densidade, respectivamente. Os usos do solo utilizados nos dois Latossolos estudados alteraram alguns (DMP, DS, IEA) dos atributos físicos do solo, mas não afetaram na produtividade e açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: usos do solo, DMP, IEA, DS.

SYSTEM SOIL USES AND PHYSICAL PROPERTIES OF OXISOLS CULTIVATED WITH SUGAR CANE

ABSTRACT – The quantification of impact or effects of soil uses on the physical attributes is fundamental in the evaluation of soil physical quality and in the search of greater development of cultivation. The objective of this study was to evaluate the alteration of physical attributes of Eutroferric Red Oxisol (LVef) and Acric Oxisol (LVw) resulting of different soil uses, and the influence of these uses in the quality and quantity of sugarcane. In 2008, the experiment was carried out in two areas, in an LVef with very clay texture (clay = 680 g kg⁻¹) and in an LVw with clay texture (clay = 440 g kg⁻¹), Jaboticabal-SP. It was used a randomized block design with five repetitions and four treatments. The four treatments were characterized by different soil uses in the reform period of sugarcane cultivation: soybean/pearlmillet/soybean (SPmS), soybean/sunneamp /soybean (SShS), soybean/fallow/soybean (SFS) and soybean (S). The soil sample was realized 40 months after planting sugarcane(June 2013) in layers of 0,00-0,10m and 0,10-0,20m of profundity. It was determined organic material (MO), aggregate stability index (ASI), average weighted diameter (MWD), soil resistance to penetration (RP), soil density (DS), total porosity (PT),macroporosity and microporosity. The soybean (S) provided higher MWD in layers of 0,00-0,10 and 0,10-0,20m in Latosols. The SFS use and soybean (S) provided higher and lower density (DS), respectively. Finally, the soil uses utilized in the two Latosols altered some physical attributes of soil (MWD, DS, ASI), but did not alter the productivity and total retrievable sugar of sugarcane cultivation.

Key words: soil uses, MWD, ASI, DS.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira, sendo matéria-prima e fonte principal na produção de açúcar e etanol do setor sucroenergético. O Brasil é o maior produtor mundial da cultura de cana-de-açúcar já que até o período 2018/19 terá um acréscimo de 14,6 milhões de toneladas, e o volume previsto para as exportações é de 32,6 milhões de toneladas (MAPA 2015).

Há uma tendência para a expansão da área cultivada com cana-de-açúcar, impulsionada pelo aumento na demanda mundial por biocombustíveis. Nesse contexto, o aumento pela demanda do setor sucroenergético, reflete no solo e na planta, o que impõe desafios para a exploração agrícola, gerando alterações no solo podem ser permanentes ou temporárias como degradação da sua estrutura, através da compactação do solo, que resulta na diminuição do espaço poroso entre os agregados, que pode se romper, provocando o aumento da densidade do solo, e conseqüentemente, aumentar sua resistência à penetração.

A cana-de-açúcar, como qualquer outro vegetal, desenvolve-se melhor em solos com maior qualidade física e química. Entretanto dependendo da intensificação do uso e manejo do solo pode proporcionar alterações nos atributos físicos, desfavorecendo o desenvolvimento da cultura.

A qualidade do solo tem como indicadores básicos as suas características físicas (textura, temperatura, densidade do solo, água do solo e sua retenção), carbono orgânico total, características químicas e biomassa microbiana. Neste sentido, Imhoff, Silva e Tormena (2000) sugere que os atributos físicos do solo sejam utilizados para medir a capacidade deste, uma vez que são os melhores avaliadores da sua qualidade, e esta, por sua vez, pode refletir no desenvolvimento das culturas e sua produtividade.

A agricultura tem como fundamento o desenvolvimento sustentável, busca por produtividade e retorno econômico ao mesmo tempo em que promove a manutenção do ecossistema. Entretanto, a utilização do solo com fins de exploração agrícola, aliada ao uso intensivo e manejo, reflete nos atributos do solo, indicando que o ambiente está sendo degradado.

Devido à busca pela sustentabilidade da produção, diversos sistemas de uso e manejo do solo foram criados. Tais sistemas, em sua maioria, pregam a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, baseando-se na sua taxa de decomposição e na porcentagem de cobertura do solo promovido por este material vegetal. A diversificação de plantas é um desses diversos sistemas de usos e manejo que tem a função de conservar o solo, o meio ambiente visando melhorar os atributos do solo e o potencial produtivo da planta.

O desafio nas áreas de cana-de-açúcar é conseguir determinar o melhor uso do solo na reforma do canavial. Por isso, diversas propostas de manejo foram relatadas em função da rotação de culturas ou o uso de plantas de coberturas. Estas plantas de cobertura apresentam um sistema radicular bem ramificado e profundo, o que facilita a aeração e infiltração de água no solo e proporciona uma ciclagem de nutrientes, e ao se decompor no solo torna-os disponíveis às culturas subjacentes, benéficos como o aumento da longevidade do canavial e proteção do solo contra erosão.

A diversificação de culturas com leguminosas (soja, crotalária, amendoim) e gramíneas (milheto) promovem a simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, responsáveis por fixar o nitrogênio do ar, através dos nódulos formando nas raízes das plantas, além de protege o solo do desenvolvimento de plantas invasoras, aportam matéria orgânica e fornecem nutrientes, disponibilizando-os mais rapidamente para a cultura principal, além de melhorar os atributos e a qualidade do solo de enriquecendo o solo com esse nutriente.

Dentro desse contexto, a hipótese deste trabalho é que os diferentes usos do solo provocam alterações nos atributos físicos do solo e na produção da cana-de-açúcar.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência dos diferentes uso do solo nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e Latossolo Vermelho ácrico (LVw) e na quantidade e qualidade da cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea pertencente à família das Poáceas e ao gênero *Saccharum*. Nativa do sudeste da Ásia, é uma planta com metabolismo do tipo C4 que tem como característica abundância de cloroplastos, fixação e refixação de CO₂, limite superior de temperatura superior a 45 °C e ausência de fotorrespiração. As folhas incorporam o carbono (C) atmosférico transformando-os em carboidratos de alto valor energético. Tem como característica o acúmulo de alto teor de açúcares e baixa porcentagem de fibras, atributos importantes para a indústria. Apresenta desenvolvimento em forma de touceira e ciclo semi-perene, que dura em média quatro anos (SEGATO et al., 2006; CASAGRANDE; VASCONCELOS, 2008; FIGUEIREDO, 2008).

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), foi introduzido no período colonial e destaca-se como uma das mais antigas atividades agroeconômicas, sendo as produções de açúcar e álcool as principais finalidades de sua exploração. É indiscutível a importância da cultura da cana-de-açúcar em termos de produção de energia (etanol) por área cultivada, (ALMEIDA et al., 2009).

O setor sucroenergético movimenta 56 bilhões de reais, que representa 2% do PIB do país. Gera 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos e recolhe cerca de 14 milhões de reais em impostos e taxas. O Brasil terá um acréscimo na área estimado em cerca de 286,6 mil hectares na temporada 2014/15, equivalendo a 3,3% em relação à safra 2013/14. Este crescimento ocorreu e é reflexo, principalmente, da expansão de novas áreas de plantio das novas usinas em funcionamento, somente no estado de São Paulo com 126,73 mil hectares (CONAB, 2014).

Dessa forma, a cultura de cana-de-açúcar possui grande importância na economia brasileira, ressaltando o contexto social, ambiental e sustentável. A evolução crescente na produção e os elevados valores resultantes de sua

comercialização são responsáveis por gerar número significativo de empregos diretos e indiretos e investimentos em pesquisa.

2.2. Sistema de manejo nos atributos físicos do solo

As proporções de um solo agrícola considerado ideal, segundo Kiehl (1979), são: 50% de fase sólida e 50% de espaço poroso, devendo ser assim distribuídos, 45% de constituintes minerais e 5% de constituintes orgânicos, 33% de microporos, onde se encontra a solução do solo e aproximadamente 17% de macroporos responsável pela aeração do solo, embora, essas proporções são variáveis e dependem do tipo de solo e principalmente o manejo utilizado na área.

Um solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta atributos físicos e químicos, tais como a permeabilidade, estrutura, densidade, porosidade, pH, teores de P e MO, adequados ao desenvolvimento das plantas. Nessas condições, o volume explorado pelas raízes é relativamente grande (ANDREOLA et al., 2000). Entretanto, a partir do momento em que são intensamente utilizados para produção agrícola, ocorrem alterações dos referidos atributos.

A remoção da cobertura vegetal natural, a implantação de atividades agropecuárias e as ações que envolvem as diferentes formas de uso e manejo provocam desequilíbrio no ecossistema (solo) devido ao manejo adotado, influenciando os processos físicos, químicos e biológicos do solo, modificando os seus atributos (RANGEL; SILVA, 2007; PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010).

Os sistemas de manejo e cobertura do solo determinam as condições físicas para o crescimento das plantas, afeta ou modifica positiva ou negativamente alguns atributos físicos do solo (ANDREOLA et al., 2000). A presença de vegetação e seus resíduos condicionados pelo sistema de uso e manejo do solo exercem uma ação protetora contra a erosão do solo pela chuva. A utilização intensiva da terra com sistemas de cultivos inadequados tem contribuído para a degradação das características físicas, químicas, hídricas e biológicas do solo (CUNHA et al., 2001; PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010).

O cultivo e manejo inadequado do solo alteram seus atributos físicos, assim justifica-se a necessidade de quantificar e qualificar as condições estruturais do solo, para dessa forma obter informações sobre a eficácia do manejo do solo e as suas influências na produtividade da cultura agrícola. Devido à esta necessidade de avaliar a condição do solo, alguns pesquisadores propuseram indicadores de qualidade físicos (FIDALSKI; TORMENA, 2007), químicos e biológicos (RIBEIRO et al., 2007) e a integração destes (ARAÚJO; TORMENA; SILVA, 2004) como facilitadores da interpretação da situação do solo. Entre esses indicadores estão: densidade, porosidade (macro e microporosidade) (SECCO et al., 2005); resistência do solo à penetração (DE MARIA; NNABUDE; CASTRO, 1999; IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; BEUTLER, CENTURION, 2004) e agregação (SILVA; REINERT; REICHERT, 2000; WENDLING et al., 2005), sendo este último um dos atributos físicos mais afetados pelo manejo.

2.3. Densidade e sistema poroso do solo

A densidade do solo é considerada um atributo avaliador da qualidade estrutural do solo, sendo muito utilizada como indicadora de sua estrutura (DORAN et al., 1994). A densidade do solo reflete bem as condições estruturais do mesmo, sendo um atributo que varia com o tempo, ou seja, por processos naturais de adensamento e/ou práticas de manejo como cultivo, trânsito de máquinas agrícolas, incorporação de matéria orgânica, etc.

O uso e o manejo alteram a densidade do solo e, conseqüentemente, a porosidade total e a aeração. A porosidade é 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. Segundo Montanari et al. (2010), a exigência das plantas em relação a aeração do solo, é, a porosidade livre de água, que precisam as plantas para seu desenvolvimento, na qual existe uma diferença nos diferentes solos e espécies de plantas.

Souza, Marques Junior e Pereira (2010), trabalhando em um Latossolo Vermelho eutroférico com geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar observou valores de densidade do solo de 1,56 e 1,58 kg dm⁻³ nas profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Os autores afirmam que 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.

Fernandes, Corá e Marcelo (2012), trabalhando um Latossolo Vermelho eutroférico de textura muito argilosa reportaram benefícios após a reforma do canavial, observando que dois cultivos de soja neste período proporcionaram maior macroporosidade (SPS=0,10 m³m⁻³; SMS=0,09 m³m⁻³; SCS=0,11 m³m⁻³) na camada de 0,00-0,10 m. Os autores também concluíram que, resíduos de milho (2,90 mm) e de crotalária (3,20 mm) cultivados entre dois cultivos de soja durante a reforma do canavial promoveram a formação de agregados maiores na camada de 0,00-0,10 m de um Latossolo Vermelho ácrico de textura argilosa.

Em Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo, Oliveira et al. (2003) observaram que o sistema plantio direto (0,58 m³m⁻³) foi o que mais afetou a porosidade do solo quando comparado ao sistema de plantio convencional (0,64 m³m⁻³), ocasionando redução no volume de poros. Segundo Silva et al. (2005), o revolvimento do solo, normalmente, promove um aumento temporário da macroporosidade, quando comparado ao sistema plantio direto. Esse efeito, entretanto, é eliminado pela reconsolidação ou adensamento natural do solo.

As modificações em práticas de manejo e das culturas induzem alterações nas propriedades do solo, principalmente, na sua estrutura, podendo a natureza dessa alteração ser temporária ou permanente (CAMPOS et al., 1995). Em particular, a diminuição da estabilidade de agregados naturais, o aumento da densidade e a diminuição da microporosidade, tamanho de agregados e da taxa de infiltração de água, além de redução no complexo de cargas e na atividade biológica tem sido demonstrado, com prejuízos ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na produção agrícola (CRUZ et al., 2003; SILVA; CABEDA; LIMA, 2005).

A adoção de sistemas de manejo do solo e o manejo adequado de culturas são agentes importantes na agregação do solo, proporcionando o aporte de material orgânico através dos resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e proteção oferecida à superfície do solo. A manutenção de um bom estado de agregação e estabilidade e, conseqüentemente, de uma boa estrutura é condição primordial para garantir alta produtividade agrícola.

2.4. Agregação do solo

A estabilidade de agregados caracteriza a resistência que eles oferecem à ruptura causada por agentes externos, ou seja, ação mecânica ou ação hídrica, sendo a agregação do solo, de grande importância para produção agrícola, uma vez que está relacionada com a aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água. Solos com agregados mais estáveis estão menos sujeitos à compactação e à erosão (MARIA; KOCSSI; DECHEN, 2007).

Análise de agregados (em relação à sua estabilidade e distribuição por tamanho), determinação da porcentagem de macro e microporos e da porosidade total, medidas de densidade do solo e observações micro-morfológicas são técnicas que podem ser usadas no sentido de avaliar possíveis alterações estruturais. Na realidade essas medidas refletem a relação entre sólidos e vazios em um dado instante, que representaria, em outras palavras, certa quantificação da estrutura do solo.

Cabe indicar que as análises granulométricas e o teor de matéria orgânica também são úteis para indicar modificações quantitativas de alguns componentes do solo, constituindo subsídios importantes na interpretação dos resultados obtidos nas determinações anteriores (CORREA, 2002).

Para garantir boas produtividades ou resultados agrícolas deve-se manter um bom estado de agregação, estabilidade e assim obter uma boa estrutura.

A estabilidade da agregação, ou seja, a resistência que os agregados oferecem à ação das forças desagregadoras que sobre eles atuam, é um dos

indicadores de qualidade física do solo cujo conhecimento é da maior importância. A sua apreciação é normalmente feita através da submissão de amostras de solo a forças induzidas artificialmente que procuram simular ações ou fenômenos susceptíveis de ocorrer em condições naturais. Há dois tipos de estabilidade: uma respeito à capacidade do solo de conservar sua estrutura sob ação da água e a outra está ligada à capacidade do solo de conservar essa estrutura quando submetido a pressões mecânicas (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006).

A utilização de sistemas de cultivo que promovam incremento de matéria orgânica do solo (MOS) pode contribuir para o aumento da estabilidade de agregados e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade física do solo (BHATTACHARYYA et al., 2009). Além disso, o processo de agregação, também é responsável pelo sequestro do C, através da formação de complexos organo-minerais estáveis (LAWAL; OGUNWOLE; UYOVBISERE, 2009), afetando as emissões de CO₂ para a atmosfera (BRONICK; LAL, 2005; MAJUMDER; KUZUYAKOV, 2010).

Loss et al. (2011) ao avaliarem a agregação de um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, sob sistema de integração gramínea-leguminosa (braquiária-soja), observaram maior valor de diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) e maior diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) nos tratamentos com a presença de restos culturais das duas plantas. Os autores atribuem estes resultados a associação das diferentes plantas. O sistema radicular da gramínea permanece mais tempo no solo o que favorece a agregação, já os restos culturais das leguminosas fornecem matéria orgânica de forma mais rápida ao solo do que os restos culturais das gramíneas. Assim a diversificação de cultivos é mais benéfica para a estruturação do solo do que o cultivo com uma única espécie vegetal (LOSS et al., 2011).

A MOS é um dos principais agentes agregantes (CHENU; BISSONNAIS; ARROUAYS, 2000) e, a diminuição do seu conteúdo pelo cultivo contínuo é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo (WENDLING et al., 2005). Experimentos de longa duração constituem ferramenta valiosa para o estudo da dinâmica da MOS no solo. Assim, Lovato et al. (2004) constataram que em dezesseis anos de cultivo, do sistema de plantio direto, ocorreu a diminuição da taxa

de perda de matéria orgânica, e os sistemas de culturas com leguminosas, pela alta taxa de carbono fotossintetizado e de nitrogênio fixado simbioticamente, são boas alternativas para recuperar os estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo. Zalameña et al. (2007) verificaram resultados semelhantes com a utilização do sistema de plantio direto durante nove anos, o qual proporcionou ao solo teores de matéria orgânica e qualidade de agregados semelhantes ao sistema original de mata nativa principalmente na camada de 0,00-0,10 m. O entendimento das relações entre agregados, microrganismos e a MOS é muito importante, pois, ajuda a prever possíveis mudanças no sistema solo, em função dos sistemas de manejo.

Bertol et al. (2004) citam que em solos com características naturais favoráveis ao cultivo, o preparo convencional degrada as propriedades físicas, pois o revolvimento rompe os agregados, compacta o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto. A semeadura direta, em virtude da pequena mobilização do solo, preserva os agregados e a cobertura do solo, porém consolida a camada superficial. Em um Cambissolo Húmico alumínico léptico, constaram o aumento da densidade do solo na camada de 0,00–0,10 m nos sistemas com semeadura direta (com rotação e sucessão de cultura) é igual no plantio convencional, enquanto o volume total de poros e de macroporos foi igual na semeadura direta, em relação ao campo nativo.

Rosa et al. (2003) pesquisando formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema do cerrado, verificaram que a matéria orgânica desempenha papel relevante na formação e estabilização de agregados maiores que 0,25 mm; a porosidade do solo, a resistência do solo à penetração e a densidade do solo demonstram que há aumento da compactação do solo no sistema plantio direto, concluindo que o plantio direto não é capaz de manter os níveis de carbono nos agregados, quando comparado ao solo sob floresta nativa

A estruturação do solo é um bom indicador da qualidade do solo, portanto, é importante determinar a quantidade de agregados que tem um solo, como eles estão distribuídos por classes e qual a resistência desses agregados.

2.5. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração, fisicamente estabelecida pela pressão, é a razão 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).

A resistência do solo à penetração (RP) é um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação e de qualidade física do solo (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), por estar relacionada a importantes atributos do solo e das plantas (desenvolvimento e produtividade) (MONTANARI et al., 2010) e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (STRECK et al., 2004).

Segundo Carvalho et al. (2006), a resistência mecânica do solo à penetração exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, uma vez que o crescimento das raízes, tal como a produtividade das culturas, variam de forma inversamente proporcional ao seu valor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram estabelecidos em 2008 e conduzidos em duas áreas em solos classificados como Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), textura muito argilosa (areia = 140 g kg⁻¹, silte = 180 g kg⁻¹, argila = 680 g kg⁻¹) e Latossolo Vermelho ácrico (LVw) textura argilosa (areia = 440 g kg⁻¹, silte = 120 g kg⁻¹, argila = 440 g kg⁻¹), de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). As duas áreas estão situadas no município de Jaboticabal, SP, com latitude de 21°14'S, longitude 48°17'W, localizado a 595 m de altitude e clima do tipo Aw, tropical de inverno seco, conforme classificação climática de Köppen, tendo temperatura média anual de 22 °C e a umidade relativa do ar de 70 %. A precipitação anual média é de 1425 mm.

Os tratamentos utilizados no experimento no período de reforma do canavial, que ocorreu de outubro/2008 a fevereiro/2010, foram os seguintes cultivos: soja (S); soja/milheto/soja (SMS); soja/crotalária/soja (SCS) e soja/pousio/soja (SPS).

Realizaram dois cultivos de soja (*Glycine max*) nos períodos de outubro/2008 a fevereiro/2009 e outubro/2009 a fevereiro/2010. No período outubro /2009 a fevereiro/2010, foi realizado no solo um cultivo de soja (S).

O solo foi cultivado com milho (*Pennisetum americanum*) (SMS), crotalária (*Crotalaria juncea*) (SCS) ou permaneceu em pousio (SPS), no período março-setembro/2009.

A variedade de soja cultivada foi Coodetec 2016, semeada com espaçamento de 0,45 m entre linhas, visando uma população de 400.000 plantas ha⁻¹. A adubação utilizada foi com 300 kg ha⁻¹, dá fórmula 03-30-10 (9 kg/há N; 90 kg/há P₂O₅ e 30 kg/há K₂O). Dentro do ciclo da cultura, o controle de pragas e doenças foi realizado de acordo com as recomendações específicas para a cultura da soja. A colheita realizou-se 120 dias após a semeadura com auxílio de colhedora mecânica.

Os cultivos de milho e crotalária foram feitos usando-se semeadora para plantio direto com espaçamento de 0,45m entre linhas, visando uma população de 3.000.000 plantas ha⁻¹ para o milho e 55.500 plantas ha⁻¹ para a crotalária. As colheitas do milho e da crotalária foram realizadas 144 e 166 dias após semeadura, respectivamente, com auxílio de colhedora mecânica.

Realizaram, periodicamente, capinas manuais nas parcelas que permaneceram em pousio, para que o solo fosse mantido descoberto, visando à comparação com os tratamentos que tiveram o cultivo de milho ou crotalária entre os dois cultivos de soja.

O plantio da cana-de-açúcar ocorreu após a reforma do canavial, em fevereiro de 2010, no sistema semi mecanizado. Foram utilizadas, respectivamente, as variedades SP87365 e RB835054 no Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e no Latossolo Vermelho ácrico (LVw).

A parcela experimental constituiu uma área de 270 m² (18 metros de largura, por 15 metros de comprimento); a área útil da parcela compreendeu as 8 linhas de cana-de-açúcar espaçadas por 1,5 m com 10 m de comprimento. A bordadura da parcela constitui-se de 2 linhas externas de cada lado e 2,50 m em cada

extremidade das linhas. Dentro de cada bloco, as parcelas foram separadas entre si por carregadores de 10 m e entre os blocos por carregadores de 3 m.

A amostragem do solo foi realizada, nas duas áreas, 40 meses após o plantio de cana-de-açúcar em junho 2013, antes da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. Foram coletadas três sub amostras para formar uma amostra composta por parcela para cada profundidade com auxílio de trado, para a determinação da quantidade de matéria orgânica (MO) conforme descrito por Raij et al., (1987) e do índice de estabilidade dos agregados (IEA), para a qual utilizaram-se agregados com diâmetro entre 2,00 e 1,00 mm, de acordo com metodologia proposta por Nimmo e Perkins (2002).

Foram coletadas três sub amostras para formar uma amostra composta por parcela para cada profundidade com auxílio de enxadão, para a determinação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), determinados de acordo com o método proposto por Nimmo e Perkins (2002), para os quais utilizaram-se agregados com diâmetro entre 6,30 e 4,00 mm e conjuntos de peneiras com abertura de 4,00, 2,00, 1,00, 0,50, 0,25 e 0, 125 mm.

Foram coletadas três amostras indeformadas por parcela, para cada profundidade, em anéis volumétricos de 0,05 x 0,05 m. Essas amostras foram utilizadas para a determinação da densidade do solo (DS), utilizando-se metodologia proposta por Grossman e Reinsch (2002); da porosidade total (PT), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) do solo pelo método de Embrapa (1997); e resistência do solo à penetração (RP), realizada de acordo com a metodologia proposta por Tormena, Silva e Libardi (1998). A RP foi determinada utilizando-se um penetrômetro eletrônico estático de laboratório, após a amostra ter sido submetida a uma tensão de 0,01 MPa.

O quarto corte da cana-de-açúcar ocorreu em junho de 2014; a colheita da área útil foi manual, sem queima da palhada, em todas as parcelas, nas duas áreas. Foi determinada a produtividade de colmos considerando a colheita das quatro linhas centrais da área útil da parcela, sendo o material colhido pesado e os dados expressos em Mg ha^{-1} . Após a colheita foram amostrados dez colmos de cana-de-açúcar, colhidos na área útil da parcela para a determinação do ATR (açúcar total recuperável), segundo o método da Consecana (2003).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, cinco repetições e quatro tratamentos, caracterizados por diferentes usos do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância, seguindo o delineamento em blocos casualizados. Realizou-se análise conjunta dos experimentos, com o objetivo de comparar os dois solos. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os atributos do solo, matéria orgânica, índice de estabilidade de agregados, resistência à penetração, porosidade total, macro e microporosidade não foram identificadas diferenças estatísticas entre os usos do solo durante a reforma do canavial no Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e no Latossolo Vermelho ácrico (LVw) (Tabela 1 e 2).

Os resultados da matéria orgânica (MO), não foram significativos devido à degradação dos resíduos vegetais e de materiais orgânicos que proporcionaram os cultivos de soja, milho e crotalaria. Sousa Neto et al (2008), avaliando atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso e a produtividade de milho sob plantas de cobertura (soja, milho e crotalaria), não encontraram diferença significativa nas camadas superficiais, já que as parcelas foram submetidas ao processo de sulcagem do solo o que acelera o ciclo de transformação da matéria orgânica e assim ajudaram a rápida degradação dos resíduos diminuindo os efeitos das plantas de cobertura em aumentar os teores de MO na superfície do solo.

No LVef e LVw, foram observadas diferenças estatísticas para o DMP nas camadas de 0,00-0,10 m (Tabela 1) e de 0,10-0,20 m (Tabela 2) respectivamente, onde houve cultivo um só de soja. A obtenção dos agregados maiores neste uso para ambos Latossolos, provavelmente pode ser devido ao menor tráfego de maquinário agrícola (número de operações) no cultivo de soja.

Observaram-se valores intermediários de DMP, nos usos SCS, nas camadas de 0,00-0,10 m (Tabela 1) no LVef e de 0,10- 0,20 m (Tabela 2) no LVw , enquanto o uso SMS só foi observado no LVw.

Para ambos Latossolos (Tabelas 1 e 2) nas camadas de 0,00-0,10 m (LVef) e de 0,10- 0,20 m (LVw) no uso de SPS foram obtidos menores agregados de DMP, cabe indicar que o uso SMS também teve um comportamento semelhante ao SPS (LVef-Tabela1). Isto pode ser devido à duração do tempo de pousio em que a área foi mantida, contribuiu para obter agregados de menor tamanho. Silva e Fernandes (2014) avaliando atributos de Latossolos e produtividade da cana-de-açúcar na mesma área de estudo, encontraram resultados semelhantes aos obtidos após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

A densidade do solo no LVef não diferiu entre os tratamentos para ambas camadas estudadas (Tabela 2), possivelmente por ser característica do tipo de solo no qual se encontra o experimento e não devido aos usos do solo. Esse resultado corrobora com resultados encontrados por Silva e Fernandes (2014), que verificaram que os diferentes usos do solo, não influenciaram na densidade do solo, avaliado após o primeiro corte da cana-de-açúcar do LVef.

No LVw não se observou diferença estatística na Ds, entre os tratamentos para a camada superficial (0,00-0,10 m) (Tabela 2). Entretanto, constatou-se diferença estatística na profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 2), maiores valores foram observados no uso SPS, quando comparado ao cultivo de soja. A diferença dos resultados é, provavelmente, pela presença dos resíduos das coberturas vegetais na superfície do solo, o uso SPS se diferenciou dos outros usos, devido a que ele tem um período de descanso (solo descoberto) que não manteve a presença de coberturas vegetais.

A resistência do solo à penetração nos dois Latossolos (LVef e LVw), não apresentou diferença significativa (Tabela 1 e 2), corroborando com os resultados encontrados por Silva e Fernandes (2014). Segundo Furlani et al. (2003), a resistência à penetração é um atributo que melhor representa as condições para o desenvolvimento da planta por estar diretamente relacionado ao crescimento das raízes em função da compactação do solo.

Tabela 1. Atributos físicos do Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) cultivados com cana-de-açúcar.

TRATAMENTOS	MO g kg ⁻¹	DMP mm	IEA %	RP Mpa	DS Mg m ³	PT -----m ³ m ⁻³ -----	Mac -----m ³ m ⁻³ -----	Mic
Latossolo Vermelho eutroférico								
0,00-0,10								
Soja/crotalaria/soja	28,90	3,92 ab	93,80	2,62	1,34	0,50	0,06	0,44
Soja/milheto/soja	29,77	3,53 b	93,10	2,72	1,35	0,50	0,05	0,44
Soja	30,43	4,30 a	92,92	3,08	1,38	0,49	0,06	0,44
Soja/pousio/soja	29,68	3,51 b	93,41	2,92	1,36	0,49	0,05	0,44
F [†]	0,67 ^{NS}	4,68*	0,20 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,84 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,83 ^{NS}
CV%	5,76	10,20	2,05	19,57	2,735	3,03	34,16	1,91
0,10-0,20								
Soja/crotalaria/soja	27,21	3,49	92,99	3,02	1,37	0,50	0,08	0,42
Soja/milheto/soja	27,20	3,74	90,90	2,66	1,36	0,50	0,08	0,41
Soja	28,14	3,62	93,16	2,84	1,37	0,49	0,08	0,41
Soja/pousio/soja	28,06	3,23	79,49	3,07	1,38	0,49	0,07	0,41
F [†]	0,41 ^{NS}	1,41 ^{NS}	0,82 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,13 ^{NS}	1,04 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,52 ^{NS}
CV%	6,53	11,63	18,00	17,99	2,92	2,04	21,96	2,54

NS= não significativo, *=significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p=0,05).

Tabela 2. Atributos físicos do Latossolo Vermelho ácrico (LVw) cultivados com cana-de-açúcar.

TRATAMENTOS	MO g kg ⁻¹	DMP mm	IEA %	RP Mpa	DS Mg m ³	PT -----m ³ m ⁻³ -----	Mac -----m ³ m ⁻³ -----	Mic
Latossolo Vermelho ácrico								
0,00-0,10								
Soja/crotalaria/soja	20,52	3,66	92,00	2,27	1,62	0,39	0,04	0,35
Soja/milheto/soja	22,17	3,49	87,28	2,54	1,63	0,38	0,04	0,35
Soja	23,09	4,04	92,26	2,31	1,61	0,38	0,04	0,34
Soja/pousio/soja	20,48	3,19	89,19	2,50	1,65	0,38	0,04	0,34
F	1,51 ^{NS}	2,93 ^{NS}	1,73 ^{NS}	0,50 ^{NS}	1,30 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,47 ^{NS}	1,48 ^{NS}
CV%	10,85	12,81	4,49	17,73	1,98	3,82	33,2	3,29
0,10-0,20								
Soja/crotalaria/soja	18,27	3,02 ab	89,80	2,06	1,60 ab	0,38	0,05	0,33
Soja/milheto/soja	19,57	3,61 ab	86,67	2,17	1,62 ab	0,38	0,05	0,33
Soja	21,96	3,67 a	92,25	2,02	1,57 b	0,38	0,05	0,33
Soja/pousio/soja	19,79	2,75 b	90,26	2,28	1,63 a	0,38	0,04	0,33
F	2,65 ^{NS}	4,46*	0,75 ^{NS}	0,77 ^{NS}	4,79*	0,16 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,11 ^{NS}
CV%	10,55	14,64	6,65	13,66	1,83	4,39	27,78	4,03

NS= não significativo, *=significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p=0,05).

Na análise conjunta dos solos (Tabela 3) avaliando o comportamento dos Latossolos (LVef e LVw) nos atributos físicos do solo nas duas profundidades. Observou-se que na camada de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m existe diferença estatística em ambos Latossolos onde o LVef teve maiores valores nos atributos MO, DMP, RP, PT, Macroporosidade e Microporosidade.

O LVef, apresentou maiores teores de MO comparado ao LVw (Tabela 3). Esta diferença pode ser provável pela maior quantidade de argila presente no LVef em relação ao LVw. Mello; Bueno e Pereira (2006), avaliando a variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho e um Argissolo Vermelho-Amarelo, encontraram que um solo com textura argilosa, como o Latossolo Vermelho disponibilizam melhor o incremento dos teores de MO.

Segundo Luca et al. (2008) um solo mais argiloso tem 40% a mais de MO, os autores confirmaram os resultados avaliando teores de matéria orgânica de um Latossolo Vermelho distroférico (argila = 682 g kg⁻¹, silte = 141 g kg⁻¹ e areia = 177 g kg⁻¹), um Argissolo Vermelho-Amarelo (argila = 200 g kg⁻¹, silte = 50 g kg⁻¹ e areia = 750 g kg⁻¹) e um Neossolo Quartzarênico (argila = 90 g kg⁻¹, silte = 45 g kg⁻¹ e areia = 865 g kg⁻¹).

Tabela 3: Análise Conjunta dos Atributos Físicos do Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e do Latossolo Vermelho ácrico (LVw).

	MO g kg ⁻¹	DMP mm	IEA %	RP Mpa	DS Mg m ³	PT -----m ³ m ⁻³ -----	Mac m ³ m ⁻³	Mic m ³ m ⁻³
0,00-0,10								
LVef	29,70 a	3,82 a	93,31 a	2,84 a	1,36 b	0,50 a	0,06 a	0,45 a
LVw	21,57 b	3,60 b	90,19 a	2,41 b	1,63 a	0,38 b	0,04 b	0,35 b
F⁽¹⁾	376,16**	12,49*	7,18 ^{NS}	12,24*	583,35**	1416,23**	128,00**	482,88**
0,10-0,20								
LVef	27,66 a	3,52 a	89,14 a	2,90 a	1,37 b	0,49 a	0,08 a	0,42 a
LVw	19,90 b	3,26 a	89,74 a	2,13 b	1,61 a	0,38 b	0,05 b	0,34 b
F⁽¹⁾	153,46**	3,99 ^{NS}	0,03 ^{NS}	61,55**	266,40**	1444,74**	85,33**	984,04**

(1) NS = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade, * = significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p = 0,05).

Ao avaliar os dois Latossolos (LVef e LVw) (Tabela 3), observou-se que os valores de Macroporosidade foram abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Segundo Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010), o valor recomendado para permitir as trocas gasosas e o crescimento da raiz da maioria das culturas deve ser maior do que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Entretanto, os valores observados de Mac neste trabalho estão abaixo desse limite, tal comportamento pode ser devido já que com o passar do tempo e a intensidade de tráfego de máquinas (operações agrícolas) o valor recomendado de Macroporosidade tende a diminuir.

Centurion et al. (2007) concluíram que o tempo de cultivo da cana-de-açúcar proporcionou aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade tanto no Latossolo Vermelho caulinítico (argila = 334 g kg^{-1} na camada de 0,00–0,10 m) como no Latossolo Vermelho caulinítico oxidico (argila = 488 g kg^{-1} na camada de 0,00–0,10 m). Baquero et al. (2012) também relataram que, em função do número de colheitas da cana, a Macroporosidade tende a reduzir abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Cabe indicar que não foi observada diferenças estatísticas nas duas profundidades para o IEA (Tabela 3), possivelmente, é consequência do maior conteúdo de matéria orgânica e de argila do LVef (680 g kg^{-1}) em relação ao LVw (440 g kg^{-1}). Souza et al. (2009), também observaram resultados semelhantes, estudando a variabilidade espacial da estabilidade de agregados em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar, concluíram que a estabilidade dos agregados do Latossolo Vermelho eutrófico (argila = 630 g kg^{-1} e MO = $25,04 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0,00–0,40 m) foi superior ao do Latossolo Vermelho distrófico (argila = 361 g kg^{-1} e MO = $15,05 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de 0,00–0,40 m) devido ao maior teor de argila e de matéria orgânica, esse fato possivelmente explica o maior teor de matéria orgânica no LVef, quando comparado ao LVw. Em quanto o DMP foi o atributo que apresentou resultados diferenciados pois na camada de 0,00–0,10 m foi observado diferenças estatísticas, onde o LVef teve maiores valores, já na profundidade de 0,10–0,20 m não foi observado diferenças estatísticas.

Tabela 4. Produtividade de colmos e açúcar total recuperável (ATR) da variedade cultivada em cada tipo do solo

Tratamentos	Produtividade	ATR
	----- Mg ha ⁻¹ -----	----- kg Mg ⁻¹ -----
Latossolo Vermelho eutroférico		
Soja/crotalaria/soja	92,43	162,16
Soja/milheto/soja	87,80	150,37
Soja	91,27	157,35
Soja/pousio/soja	100,20	158,42
F	0,59 ^{NS}	1,40 ^{NS}
CV%	16,38	5,91
Latossolo Vermelho ácrico		
Soja/crotalaria/soja	75,40	144,93
Soja/milheto/soja	70,93	148,90
Soja	74,06	149,59
Soja/pousio/soja	66,33	148,01
F	0,56 ^{NS}	0,68 ^{NS}
CV%	16,83	3,77

NS= não significativo.

Os valores da produtividade e de açúcar total recuperável (ATR) dos diferentes usos de solo, não apresentaram diferenças significativas (Tabela 4) no quarto corte de cana-de-açúcar nos dois Latossolos (LVef e LVw) estudados. Ressalta-se, ainda, que os resultados são a continuação da pesquisa dos autores Silva e Fernandes (2014) e Vizioli (2014) que avaliaram a produtividade e ATR após o 1º, 2º e 3º corte de cana-de-açúcar, respectivamente. Os resultados corroboram com aqueles obtidos pelos autores citados, que não se constatarem efeito significativo.

Existem diferenças entre o manejo do solo e o ambiente de produção na cana-de-açúcar, mas ambos se complementam. O manejo adotado com os diferentes usos de solo foi visando melhorar as condições do solo, além, de obter melhor desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar. Já que à medida que o solo está em boas condições a produtividade da cultura aumentará. Por isso quantificar os atributos físicos do solo é uma forma de obter conhecimento da produtividade futura de uma cultura, de modo que, o conhecimento desses atributos ajuda para tomada de decisão adequada do preparo e manejo do solo (GÓES et al. 2005). Assim, os valores obtidos dos atributos físicos nos dois Latossolos (LVef e LVw),

(Tabela 1 e 2) mesmo não tenham significância estatística entre os tratamentos, indicando que os tratamentos testados não alteraram a produtividade e ATR.

Não houve diferença estatística para os diferentes usos do solo estudados em relação aos atributos físicos (Tabela 1 e 2), logo, as variáveis analisadas como, produtividade e ATR, não foram influenciados pelos diferentes usos do solo aplicados (Tabela 4). Resultados diferentes foram observados por Vizioli (2014), cujos valores foram significativos apenas na agregação do solo nos Latossolos (LVef e LVw), não tendo alteração com a diversificação das culturas nos diferentes usos do solo durante a reforma do canavial na colheita após o 3º corte. Esse comportamento observado por Vizioli (2014) pode ser devido a danos causados no desenvolvimento das plantas em função da compactação, o que afetaria os atributos físicos do solo, como a densidade do solo, afetando nas qualidades físico-hídricas fundamentais, como porosidade, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração, reduzindo a produtividade.

5. CONCLUSÕES

Os diferentes usos de solo utilizados, alteraram alguns atributos físicos nos dois Latossolos (LVef e LVw) cultivados com cana-de-açúcar.

O uso com um só cultivo de soja proporcionou maior DMP nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m nos Latossolos (LVef e LVw), respectivamente.

No LVef (0,00-0,10 m) e no LVw (0,10-0,20 m), uso SPS proporcionou menor DMP.

No LVw, na camada subsuperficial o cultivo de soja proporcionou menor Ds e o uso SPS maior densidade.

Os diferentes usos de solo utilizados, não afetaram na produtividade e açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar nos dois Latossolos (LVef e LVw)

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. A.; SERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um Latossolo vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia-MG, v. 25, n. 4, p. 123-129, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.

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

BAQUERO, J. E.; RALISCH, R.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 63-70, 2012.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p. 1793-1800, 2004.

BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S. Soil aggregation and organic matter in a sandy clay loam soil of the Indian Himalayas under different tillage and crop regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 132, p. 126–134, 2009.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 3–22, 2005.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. S.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n. 1, p. 121-126, 1995.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.765-7871, 2006.

CASAGRANDE, A. A; VASCONCELOS A. C. M.; Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação- IAC, 2008. Cap.3, p. 57 - 78.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 199-209, 2007.

CHENU, C.; BISSONNAIS, Y. L.; ARROUAYS, D. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 4, p. 1479-1486, 2000.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL, DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECANA. **Manual de Instruções**. Piracicaba, 2003. 116p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: **Cana-de-açúcar terceiro levantamento**, dezembro de 2013. Brasília, 2014.

CORREA, J. C. Efeito de sistemas de cultivos na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, p.203-209, 2002.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 27-36, 2001.

DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.51, n.1-2, p.69-77, 1999.

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.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two Latosols (Oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 283-294, 2012.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.1316- 1322, 2007.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do instituto agrônomo no seu estabelecimento In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação- IAC, 2008. Cap.1, p. 31 - 44.

FURLANI, C.E.A.; GAMERO, C.A.; LEVIEN, R. E LOPES, A. - Resistência do solo à penetração em preparo convencional, escarificação e semeadura direta em diferentes manejos da cobertura vegetal. *Eng. Agríc.*, 23: 579-587, 2003.

GÓES, G. B.; GREGGO, T. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. **Irriga**, 10:116-122, 2005.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison, Soil Science Society of America, 2002. Part. 4, p. 201-228. (SSSA Book Series, 5).

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.;TORMENA, C.A. Aplicações da curva e resistência ao controle de qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, 2000.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: **Relações solo-planta**. São Paulo-SP: Agronômica Ceres, 1979. 263p.

LAWAL, H. M.; OGUNWOLE, J. O.; UYOVBISERE, E.O. Changes in soil aggregate stability and carbon sequestration mediated by land use practices in a degraded dry savanna alfisol. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatán, v. 10, n. 3, p. 423-429, 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1269-1276, 2011.

LOVATO, T., MIELNICZUK, J., BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

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

MAJUMDER, B.; KUZYAKOV, Y. Effect of fertilization on decomposition of ¹⁴C labelled plant residues and their incorporation into soil aggregates. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 109, n. 2, p. 94-102, 2010.

MARCOLAN, A. L. & ANGHINONI, I. Atributos físico de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n. 1, p. 163-170, 2006.

MARIA, I. C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas-SP, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007.

MELLO, G. de; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.I. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.294-305, 2006.

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.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA.
Culturas: **cana-de-açúcar**. Disponível em:
<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 21 mar. 2015.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J.H.; TOPP, G. C. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Madison, Soil Science Society of America, 2002. Part 4, p. 317-328. (Book Series, 5).

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, 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.

PORTUGAL, A. F; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

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

RIBEIRO, K.A.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; XAVIER, F.A.S; MAIS, S.M.F.; SOUSA, H.H.F. Qualidade do solo na cultura do cajueiro anão precoce cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p.341-351, 2007.

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

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 distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.407-414, 2005.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fonológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, M. H.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2006. Cap. 2, p. 19-36.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p. 795-801, 2000.

SILVA, M.A.; MAFRA, Á.L., ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.544-552, 2005

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, S. V. & LIMA, F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n. 6, p. 833-842, 2005

SILVA, R. P.; FERNANDES, C.; Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:575-584, 2014.

SOUSA NETO, E. L de.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 255-260, 2008.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SAENZ, C. M. S. Spatial variability of aggregate stability in Latosols under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 245-253, 2009.

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, 2010.

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.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 925-933, 2010.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:573-581, 1998.

VIZIOLI, B. **Usos do solo na reforma do canavial: Atributos físicos de Latossolos, produtividade e qualidade da cana-de-açúcar no 3º corte.** Tese

(Mestrado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 2014.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ, MENDONÇA, E.; NEVES J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

ZALAMENA, J.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P.; MEDEIROS, P. S. C.; FINK, J.; DOTTO, A. C.; COUTO, M. R. M.; DENEGA, G. L. Distribuição de agregados em um Argissolo Vermelho sob diferentes usos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Resumos...**Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1 CD-ROM.