



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
CURSO AGRONOMIA COM ENFASE EM AGROECOLOGIA**

FERNANDA GRAZIELA CAREGNATTO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM CHERNOSSOLO CONDUZIDO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

CHAPECÓ

2015

FERNANDA GRAZIELA CAREGNATTO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM CHERNOSSOLO CONDUZIDO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Projeto de pesquisa apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de curso pela Universidade Federal da Fronteira Sul- Campus Chapecó.
Orientador: Prof. Dr. Fernando Perobelli Ferreira

CHAPECÓ

2015

Ficha cartográfica

FERNANDA GRAZIELA CAREGNATTO

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM CHERNOSSOLO CONDUZIDO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira sul.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Perobelli Ferreira

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:
27/05/2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Perobelli Ferreira – UFFS

Prof.^a Dr. Jorge Mattias - UFFS

Prof. Dr. Siumar Tironi - UFFS

Dedico aos meus pais e a minhas irmãs, e toda minha família que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse ao final de mais uma etapa em minha vida.

Dedico a minha prima Verediana Fernanda Cherobim, que sempre me incentivou a seguir essa profissão, e me apoiou em todos os momentos.

Dedico aos meus amigos que nos piores momentos da minha vida, sempre me apoiaram constantemente, obrigado pelo incentivo, se não fosse vocês, eu não teria terminado sozinha essa graduação.

AGRADECIMENTO

À Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais e minhas irmãs pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS – Campus Chapecó/SC, pela oportunidade de realizar o Curso de graduação em Agronomia com ênfase em Agroecologia.

Ao Professor Dr. Fernando Perobelli Ferreira, pela orientação na realização deste estudo.

Ao corpo docente do Curso de Agronomia da UFFS – Campus Chapecó/SC, pelos ensinamentos e conhecimentos repassados.

À Professora Dr. Karina Cavalieri por ter me recebido na UFPR e a própria universidade pela estrutura proporcionada para a realização das análises.

À todos, que vivenciaram meus desabafos, que me acompanharam, choraram comigo, riram, sentiram, participaram, me apoiaram e compartilharam comigo esses anos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram meu mundo melhor e principalmente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A qualidade do solo começou a receber mais atenção pela da comunidade científica à partir dos anos 90, quando perceberam a importância do sistema solo para ecossistema agrícola. A qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade de um solo apresentar nos ecossistemas naturais ou agrícolas, condições ideais de produção. As propriedades físicas e químicas são consideradas indicadores da qualidade do solo, pois é pelas análises destas que permitem estabelecer se houve degradação ou melhoramento do solo, com relação ao sistema de manejo utilizado. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade do solo através de propriedades físicas em 5 diferentes sistemas de manejo sendo: mata nativa (MN), floresta plantada (FP), pastagem (PAST), sistemas plantio direto recente (SPDR) e sistema plantio direto antigo (SDPA). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, as deformadas foram armazenadas em sacos plásticos até análise, enquanto que as amostras indeformadas foram coletadas através de anéis volumétricos (análises físicas) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com três repetições cada, totalizando 9 amostras por sistema, totalizando 45 amostras ao todo. O resultados foram submetidos a análise de variância pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Onde Densidade do solo e resistência a penetração apresentou maiores valores no sistema plantio direto recente (SPDR), no sistemas plantio direto antigo (SDPA), e pastagem (PAST), isso devido ao maior uso do solo, e pela pressão exercida pelo tráfegos de máquinas e pisoteio animal, interferindo na porosidade do solo e na condutividade hidráulica. A Macroporosidade apresentou maiores valores no sistema plantio direto recente (SPDR), floresta plantada (FP), e mata nativa (MN), e apresentou menor valor na pastagem (PAST) e sistemas plantio direto antigo (SDPA). Enquanto que a Microporosidade foi maior na pastagem (PAST) e menor no plantio direto recente (SPDR), o que significa que a drenagem é inferior, enquanto que em maiores índices de macroporos o solo é bem drenado e aerado. Já o carbono do solo (CO) teve teor médio significativamente maior na mata nativa (MN) em relação aos demais sistemas, o que se explica pela alta capacidade das florestas em aportarem carbono aos solos. Os atributos físicos do solo estão intimamente interligados entre si, e são diretamente alterados pelo sistema de manejo adotado. Com isso solos bem manejados minimizam a degradação do solo, o que promovendo melhoria na sua qualidade e conseqüentemente uma melhor produtividade das culturas.

Palavras-Chave: Densidade do solo; Porosidade total; Resistencia a penetração.

ABSTRACT

Soil quality began to get more attention from scientific community in the 90s, when realized the importance of this system to the agricultural ecosystem. Soil quality can be defined as the ability of a soil to present, in natural or agricultural ecosystems, ideal conditions for agricultural production. The physical and chemical properties are considered indicators of soil quality, because through these analysis is possible to identify whether there has been deterioration or improvement of the soil in relation to the management system utilized. The objective of this work was to evaluate soil quality through physical properties in five different management systems, which are these: native forest (MN), planted forest (FP), pasture (PAST), recent no till system (SPDR) and old no till system (SPDA). Disturbed and undisturbed samples were collected, where the deformed samples were stored in plastic bags until analysis, while the undisturbed samples were collected from soil core (physical analysis) at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, with three repetitions each, totaling 9 samples per system, with a total of 45 samples. The results were submitted to analysis of variance by Tukey test at 5% of probability, where soil density and penetration resistance values were higher in the recent no till system (SPDR), old no till system (SPDA) and pasture (PAST) due to the increased land use and the pressure made by the traffic of machines and animal trampling, interfering in soil porosity and hydraulic conductivity. Macroporosity showed higher values in the recent no till system (SPDR), planted forest (FP), and native forest (NF), and presented a lower value in the pasture (PAST) and old no till system (SPDA), while microporosity was higher in the pasture (PAST) and smaller in the recent no till system (SPDR), which means the drainage is lower, whereas at higher levels of macropores the soil is well drained and aerated. On the other hand, the soil carbon (CO) had significantly higher average content in native forests (MN) in relation to other systems, which is explained by the high capacity of forests in retaining carbon to soils. The physical soil properties are closely interconnected and are directly altered by soil management. Therefore, well managed soils minimize its degradation, which causes improvement in their quality and consequently better crop yields.

Keywords: Soil density; Total porosity; Resistance to penetration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Imagem de satélite da área de estudo amostras.	21
Figura 2 - Mata Nativa (MN) amostrada no Município de Marema, SC.	22
Figura 3 - Imagem da Floresta Plantada, localizada no Município de Marema, SC.	22
Figura 4 - Imagem da Pastagem, localizada no Município de Marema, SC.	23
Figura 5 - Imagens da área de lavoura conduzida sob Sistema Plantio Direto com 2 anos de implantação (SPDR).	24
Figura 6 - Imagem do Sistema Plantio Direto Antigo localizado no município de Marema, SC.	24
Figura 7 - Coleta de amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos.	25
Figura 8 - Análise granulométrica nas amostras da área de estudo.	27
Figura 9 - Desenho esquemático do instrumento utilizado para determinar a condutividade hidráulica saturada pelo método de Falling – Head.	30
Figura 10 - Carbono orgânico (CO) do solo nos diferentes sistemas de manejo estudados.	33
Figura 11 - Carbono orgânico (CO) do solo nas diferentes profundidades estudados... 34	34
Figura 12 - Teor de argila no solo da área de estudo sob os diferentes sistemas de manejo estudados em profundidades de 0-20 cm.	35
Figura 13 - Média dos valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de manejo adotados nas profundidades 0-20 cm.	36
Figura 14 - Média dos valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de manejo adotados nas profundidades 0-20 cm.	37
Figura 15 - Média dos valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de manejo adotados nas profundidades 0-20 cm.	37
Figura 16 - Correlação entre densidade do solo (Ds) e resistência a penetração (RP) nas áreas de estudo.	40
Figura 17 - Porosidade total do solo (Pt) nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo.	41
Figura 18 - Correlação entre carbono orgânico (CO) do solo e porosidade total do solo (Pt) determinados na área de estudo.	42
Figura 19 - Microporosidade do solo (Mic) nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo.	44

Figura 20 - Correlação entre densidade (Ds) e Microporosidade (Mic) do solo (a) e Resistência a penetração (RP) e Microporosidade (Mic) do solo (b) na área de estudo.	45
Figura 21 - Microporosidade do solo nas diferentes profundidades dos sistemas de manejo da área de estudo.....	46
Figura 22 - Condutividade hidráulica saturada (Ksat) nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de carbono orgânico (CO; g kg ⁻¹), argila (ARG; g kg ⁻¹), areia total (g kg ⁻¹), silte (g kg ⁻¹) e classe textural determinados nas diferentes profundidades e sistemas de manejo da área de estudo (média de 3 repetições).	32
Tabela 2 - Resistência à penetração do solo (MPa) nas diferentes profundidades dos sistemas de manejo da área de estudo.	38
Tabela 3 - Macroporosidade (m ³ m ⁻³) do solo nas diferentes profundidades dos sistemas de manejo da área de estudo.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	15
3.1	QUALIDADE DO SOLO	15
3.2	SISTEMAS DE MANEJO	17
3.3	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	18
4	METODOLOGIA	20
4.1	ÁREA DE ESTUDO	20
4.2	SISTEMAS DE MANEJO	21
4.2.1	Mata nativa (MN)	21
4.2.2	Floresta plantada (FP)	22
4.2.3	Pastagem (PAST)	23
4.2.4	Sistema Plantio direto recente (SPDR)	23
4.2.5	Sistema Plantio Direto antigo (SPDA)	24
4.3	COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	25
4.4	ANÁLISES REALIZADAS	26
4.4.1	Carbono orgânico (CO) do solo	26
4.4.2	Análise granulométrica	26
4.4.3	Microporosidade (Mic), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e condutividade hidráulica saturada (Ksat)	28
4.4.5	Umidade Gravimétrica (Ug)	30
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1	CARBONO ORGÂNICO (CO) DO SOLO	31
5.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	34
5.3	DENSIDADE DO SOLO (DS)	35
5.4	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (RP)	38
5.5	POROSIDADE TOTAL (PT), MACROPOROSIDADE (MAC) E MICROPOROSIDADE (MIC) DO SOLO	40
5.6	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DE CARGA VARIÁVEL ..	46

6 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	54

1 INTRODUÇÃO

O solo é considerado um material mineral e/ou orgânico, inconsolidado na superfície da Terra e que serve como meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas (IBGE, 2007). Sua importância não está relacionada somente a produção de alimentos, mas também com a qualidade ambiental em nível local, regional e mundial (DORAN et al., 1994).

Os solos possuem atributos morfológicos, físicos, químicos e biológicos que conjuntamente delimitam suas feições e seu comportamento como um sistema no ambiente (FILHO, 2008). Esses atributos têm sido constantemente analisados e estudados devido à sua importância, tanto como indicadores da qualidade dos solos quanto para a produtividade agrícola, pois influenciam no ecossistema e na escolha de um manejo a ser adotado.

Atualmente, cerca de 1,6 bilhão de hectares dos solos do mundo são utilizados para o cultivo, entretanto, os sistemas de manejo os degradam e reduzem sua qualidade. As principais causas de degradação às práticas agrícolas que causam erosão hídrica e eólica, perda de matéria orgânica (MO), compactação superficial do solo, salinização, poluição química do solo e perda de nutrientes (FAO, 2009).

Neste cenário, segundo dados da FAO (2009), 8 % dos solos cultivados estão moderadamente degradados, 36% estão estáveis ou levemente degradados e 10% estão classificados como em recuperação. O resto da superfície terrestre do planeta está descoberta de vegetação (cerca de 18%) ou coberta por massas de água interiores (cerca de 2%) (FAO, 2009).

Dessa maneira, os conhecimentos sobre as propriedades físico-hídricas do solo são de fundamental importância para o desenvolvimento das culturas, pois estas propriedades coordenam o fluxo de gases e água no solo (CASTRO et al., 2010). Propriedades como a densidade do solo, resistência à penetração, condutividade hidráulica, porosidade total, macroporosidade e microporosidade são algumas que podem ser utilizadas para se avaliar a qualidade do solo e são diretamente influenciadas pelas práticas agrícolas adotadas, favorecendo ou desfavorecendo os cultivos.

2 OBJETIVOS

Assim, com base no exposto, descreve-se abaixo os objetivos geral e específicos deste estudo.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência que diferentes sistemas de manejo exercem sobre qualidade física de um Chernossolo Háplico da região de Marema-SC.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar a densidade, resistência a penetração, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada em um Chernossolo Háplico conduzido sob diferentes tipos de uso e sistemas de manejo;
- ✓ Determinar as variações na qualidade física do solo impostas pelos diferentes sistemas de manejo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 QUALIDADE DO SOLO

O solo é um recurso fundamental para a agricultura e o ambiente (GIONGO, 2010). É definido como um conjunto de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e podem, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (EMBRAPA, 2009).

O solo é extremamente importante para o ecossistema terrestre, pois é o principal substrato utilizado pelas plantas para o seu crescimento e disseminação, além de fornecer às raízes fatores de crescimento como, água, oxigênio e nutrientes (LIMA et al., 2007).

Além disso, exerce diferentes funções como: a) distribuição, armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação; b) armazenamento e ciclagem de nutrientes para as plantas; c) ação filtrante e protetora da qualidade da água (LIMA et al., 2007), sendo que sua capacidade de exercer estas funções caracteriza a sua qualidade (VEZZANI et al., 2001).

O solo é um recurso natural não renovável muito importante para a humanidade, e sua qualidade determina a produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas

(FAGERIA et al., 2006). A boa qualidade do solo não somente aumenta a produtividade das culturas, mas também mantém a qualidade do ambiente e, conseqüentemente, a saúde das plantas, dos animais e dos homens.

Qualidade do solo é a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro do limite do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana (DORAN; PARKIN, 1994)

Em outras palavras, pode ser visto como a capacidade de um solo exercer suas funções na natureza tanto para o crescimento das plantas, regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente, estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera e servir como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (LARSON et al., 1994; KARLEN et al., 1997 apud VEZZANI et al., 2009).

As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e os fatores ecológicos são indicadores que determinam a qualidade do solo e a produtividade dos sistemas agropecuários (KARLEN et al., 2003). Muitas vezes essas propriedades são alteradas devido ao sistema de manejo utilizado, o que promove alterações na estrutura dos solos, modificando as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular.

A sustentabilidade agrícola nos últimos anos está cada vez mais relacionada com a qualidade do solo, pois esta depende da manutenção da qualidade do solo no ecossistema. Essa relação consiste na produção de alimentos e fibras em um solo capaz de cumprir suas funções, num processo de produção ambientalmente seguro, economicamente viável e socialmente aceito (VEZZANI et al., 2009).

A qualidade do solo está enfocada com a sustentabilidade do sistema solo-planta. O solo não atinge sua qualidade por si só, e sim pelo sistema solo-planta, ou seja a qualidade do solo é resultado do funcionamento do solo, integrado as plantas e a biota edáfica, sendo assim capaz de funcionar, atingir a qualidade (VEZZANI et al., 2009).

O sistema agrícola que favorece a qualidade do solo é aquele que cultivam plantas intensamente, sem promover o revolvimento do solo, pois o não revolvimento não promove a quebra das estruturas físicas formadas e nem favorece a perda de elementos químicos e matéria orgânica do solo (VEZZANI et al., 2009).

Os sistemas agrícolas que possuem cultivo de espécies diferentes no espaço e no tempo potencializam o sistema solo a se organizar em estruturas físicas e químicas com complexidade e diversidade crescente e alta quantidade de energia e matéria retida na

forma de compostos orgânicos e biota edáfica, habilitando o solo a exercer suas funções na natureza e, assim, atingir qualidade (VEZZANI et al., 2009).

Assim, o monitoramento da qualidade do solo é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, propiciando melhor qualidade dos produtos agrícolas, mecanização consciente, ambiente mais sadio para o homem e racionalização no uso de matérias-primas e dos recursos naturais, reduzindo a degradação ambiental (DORAN et al., 1994).

3.2 SISTEMAS DE MANEJO

Os sistemas de manejo têm grande influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Todos os solos apresentam atributos físicos e químicos que são formados devido a processos pedogenéticos, vegetação, clima, etc. Esses atributos determinam as características do solo, no entanto, são suscetíveis a alterações dependendo das condições de uso e manejo, resultando em situações positivas ou negativas ao crescimento das plantas e produtividade (BERTOL et al., 2000).

As técnicas de manejo do solo a serem aplicadas em determinado sistema de cultivo dependem de vários fatores, tais como textura do solo, níveis de fertilidade, resíduos vegetais que se encontram na superfície, umidade do solo, existência de camadas compactadas, pedregosidade e riscos de erosão (MEDEIROS et al., 2002). Cada área rural tem suas peculiaridades e requer decisão própria.

A agricultura convencional pode ser altamente degradante para o solo ao longo dos anos, pois favorece a exposição da superfície do solo, que é excessivamente aquecida pelo sol, ocorrendo perda de umidade rapidamente favorecendo à maior mineralização da matéria orgânica (BORGES, 2010).

Para visar à melhoria da qualidade do solo sistemas conservacionistas têm sido difundidos nos últimos anos. Um dos principais sistemas de manejo adotado é o plantio direto, que proporciona o revolvimento do solo somente na linha da semeadura, mantendo os resíduos vegetais em sua superfície, minimizando, assim os efeitos erosivos das precipitações intensas que ocorrem em climas tropicais e aumentando a infiltração da água, devido à cobertura do solo pela adição de resíduos (BORGES, 2010).

Estudos realizados em sistema de plantio direto (SPD) mostraram que alguns anos após o estabelecimento desse sistema, as camadas do solo mais superficiais apresentam melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas quando comparado ao sistema

convencional (KLEPKER; ANGHINONI, 1995; RHEINHEIMER et al., 1998; FALLEIRO et al., 2003 apud PEREIRA et al., 2009).

Estudos avaliando a densidade do solo SPD mostraram que esta pode diminuir ao longo do tempo devido, em parte, ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, melhorando dessa forma a estrutura do solo e conseqüentemente promovendo maior infiltração de água (VOORHEES et al., 1984 apud FAGERIA et al., 2006).

Com isso, o SPD promove maiores benefícios ao solo em relação ao preparo convencional (BORGES, 2010), melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo. De modo geral, o sistema de plantio direto favorece a qualidade do solo, com capacidade de otimizar a produtividade mantendo a estrutura e a atividade biológica do solo (BORGES, 2010).

3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A qualidade física de solos é um importante elemento de sustentabilidade, sendo uma área de estudo em contínua expansão. As propriedades físicas e os processos do solo estão envolvidos no suporte ao crescimento radicular; armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (ARAÚJO et al., 2012).

Um solo com boa qualidade física, do ponto de vista agrícola e ambiental, é manifestada pela boa infiltração da água, ausência de escoamento superficial, adequada porosidade de aeração, adequada retenção de água no solo e adequado enraizamento das plantas (DEXTER, 2004). A má qualidade física é contrária ou apresenta todos estes problemas físicos simultaneamente, caracterizando um solo mal estruturado.

Geralmente, os principais indicadores físicos, que têm sido utilizados e estudados são textura; espessura (horizonte A; solum); densidade do solo; resistência à penetração; porosidade; capacidade de retenção d'água; condutividade hidráulica; e estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2012).

A textura do solo é uma das propriedades mais estáveis, sendo modificada levemente pelo cultivo e outras práticas (ARSHAD et al., 2012), além de ser uma propriedade que tem estreita relação com a retenção e o transporte de água, estrutura do solo, teor de nutrientes e de matéria orgânica, além de influenciar fortemente os processos erosivos do solo (FELLER et al., 1997).

No entanto, se o solo não for bem estruturado faltarão água e oxigênio, e mesmo que exista uma quantidade abundante de nutrientes, o crescimento e desenvolvimento de

plantas é limitado em solos desestruturados. A estrutura do solo é um importante fator na aeração, garantindo um fluxo de oxigênio ideal para o desenvolvimento das plantas. Os dois principais parâmetros que são empregados na avaliação da estrutura do solo são: porosidade e agregação (KIEHL, 1979).

O estado de agregação do solo é de grande importância para as atividades agrícolas, pois está relacionada com a aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência à mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água, a matéria orgânica age como condicionador do solo, atuando tanto no aumento da agregação e da porosidade, quando na diminuição da densidade do solo (SIQUEIRA, 2006).

A agregação resulta da interação entre fatores ambientais, de manejo do solo, influência da planta e propriedades do solo, como: composição mineral, textura, carbono orgânico do solo, processos pedogenéticos, atividade microbiana, capacidade de troca catiônica, reserva nutricional e disponibilidade de água, sendo frequentemente expressa em termos de estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2012).

A estabilidade de agregados influencia a infiltração, a retenção de água, a aeração e a resistência à penetração de raízes, o selamento, o encrostamento superficial, e a erosão hídrica e eólica (ARAÚJO et al., 2012). Quanto à porosidade, a presença de uma rede ideal de poros, com ampla variação de diâmetros, é fundamental para a fertilidade do solo, o que por sua vez, influencia tanto na produtividade das culturas quanto na regeneração de florestas, pois está relacionada às questões de drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura (RESENDE et al., 1995).

A porosidade e a densidade do solo têm sido utilizadas como indicadoras da qualidade do solo, por tratar-se de propriedades dinâmicas, suscetíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas, à compactação e à relativa restrição ao crescimento radicular (ARSHAD et al., 2012).

A densidade do solo é a propriedade física mais dinâmica e varia em função da textura, de acordo com as condições estruturais do solo, sendo alterada pelo cultivo, pela compressão de máquinas agrícolas, por animais e condições ambientais do meio (ARSHAD et al., 2012).

A resistência do solo à penetração é um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas (LETEY, 1985), pois é importante para determinar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular.

A capacidade de retenção de água de um solo dependerá do número e tamanho dos poros, os quais são influenciados primariamente pela textura, estrutura, matéria orgânica e mineralogia do solo (LOWERY et al., 1996 apud CASTRO et al., 2010), estando relacionada com o transporte, armazenamento de água no solo, erosividade e ao teor de água disponível (ARAÚJO et al., 2012).

A condutividade hidráulica é uma propriedade do solo que determina o movimento de água no solo, podendo ser influenciado diretamente pela viscosidade e a densidade do solo.

Para Letey (1985), o crescimento e o desenvolvimento das plantas estão relacionados diretamente com a aeração, resistência à penetração e disponibilidade de água do solo às plantas. O preparo do solo inadequado afeta a porosidade, e conseqüentemente afeta a aeração, densidade e a morfologia do sistema radicular (FERNANDES et al., 1999). A densidade e a porosidade podem representar problemas significativos de infiltração, impermeabilidade, aeração e drenagem, pois condiciona a distribuição de água no solo e conseqüentemente rendimento das culturas (SIQUEIRA, 2006).

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na propriedade do Sr. Felix Caregnatto, localizada no município de Marema, Santa Catarina sob as coordenadas 26°48'38" Sul 52°38'46" Oeste. O clima no local, segundo a Classificação Climática de Koppen é do tipo Cfa, isto é, Clima mesotérmico úmido sem estação seca definida e de verões quentes (PANDOLFO et al., 2002). A temperatura média do mês mais quente (Janeiro) é maior que 22 ° C e a do mês mais frio (Julho) varia entre 10 e 15 ° C. A altitude média no local é de 417 metros acima do nível do mar e a precipitação média anual varia de 1700 a 1900 mm.

Na região, segundo Embrapa (2004), são encontrados associações de Nitossolos Brunos + Nitossolos Vermelhos + Chernossolos Háplicos + Chernossolos Rêndizcos Líticos, textura variando de média a argilosa e sob relevo ondulado a forte ondulado. Como vegetação típica da região tem-se ou a Mata de Araucárias (ombrófila mista) ou a Floresta Estacional Decidual (VIBRANS et al., 2013).

Figura 1- Imagem de satélite da área de estudo amostras.



Fonte: Google Earth, 2015.

4.2 SISTEMAS DE MANEJO

O estudo foi realizado no solo de áreas manejadas sobre diferentes sistemas de manejo tais como: mata nativa (MN), floresta de eucalipto plantada (FP), pastagem (PAST), plantio direto recente (PDR) e plantio direto de longo prazo (PDL).

4.2.1 Mata nativa (MN)

A mata nativa (Figura 2) é formada pelo bioma mata atlântica, sendo área de reserva ambiental e área de proteção permanente (APP). As amostras coletas são provenientes de uma vegetação típica, que segundo Inventário Florístico Florestal (IFFSC), pertence a floresta Estacional Decidual. Esta floresta ocorre sob baixas temperaturas no inverno e chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com árvores do dossel e emergentes predominantemente caducifólia (FONTANA, 2014).

Figura 2 - Mata Nativa (MN) amostrada no Município de Marema, SC.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2014.

4.2.2 Floresta plantada (FP)

A área de FP (Figura 3) escolhida para este estudo é manejada com eucalipto e procedente de uma área que vinha sendo conduzida no sistema plantio direto (SPD), utilizando-se milho ou soja no verão durante 10 anos. Após isso ocorreu a plantação de eucalipto, o qual foi plantado em covas e depois de 9 nove anos foi cortado e a madeira comercializada. No mesmo ano ocorreu a segunda plantação de eucalipto, com a abertura de covas para colocação das mudas, sendo que estes têm atualmente 5 anos.

Figura 3 - Imagem da Floresta Plantada, localizada no Município de Marema, SC.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2014.

4.2.3 Pastagem (PAST)

A área de pastagem (Figura 4) é composta por gramíneas perenes de verão, tais como braquiárias e tifton, sendo realizada sobressemeadura de aveia e azevém consorciadas no inverno, com 5 anos de implantação.

Figura 4 - Imagem da Pastagem, localizada no Município de Marema, SC.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2014.

4.2.4 Sistema Plantio direto recente (SPDR)

A primeira área deste estudo utilizada sob manejo de lavoura (Figura 5) vem sendo conduzida sob sistema plantio direto a apenas 2 anos e foi denominada de sistema plantio direto recente (SPDR). Esta área é procedente de uma área que vinha sendo utilizada com plantação de eucalipto a 15 anos e que nos últimos 2 anos foi cultivada com milho e soja em sucessão no verão e no inverno aveia.

Contudo, antes de se implantar a área de lavoura, ocorreu a retirada do sistema radicular do eucalipto utilizado uma máquina draga escavadeira que promoveu o revolvimento intenso do solo.

Figura 5 - Imagens da área de lavoura conduzida sob Sistema Plantio Direto com 2 anos de implantação (SPDR).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2014.

4.2.5 Sistema Plantio Direto antigo (SPDA)

A segunda área utilizada com lavoura neste estudo vem sendo cultivada sob sistema plantio direto a 10 anos (SPDA) onde milho e soja são cultivados em sucessão no verão e no inverno é realizado o cultivo de aveia (Figura 6).

Figura 6 - Imagem Plantio Direto Antigo localizado no município de Marema, SC.



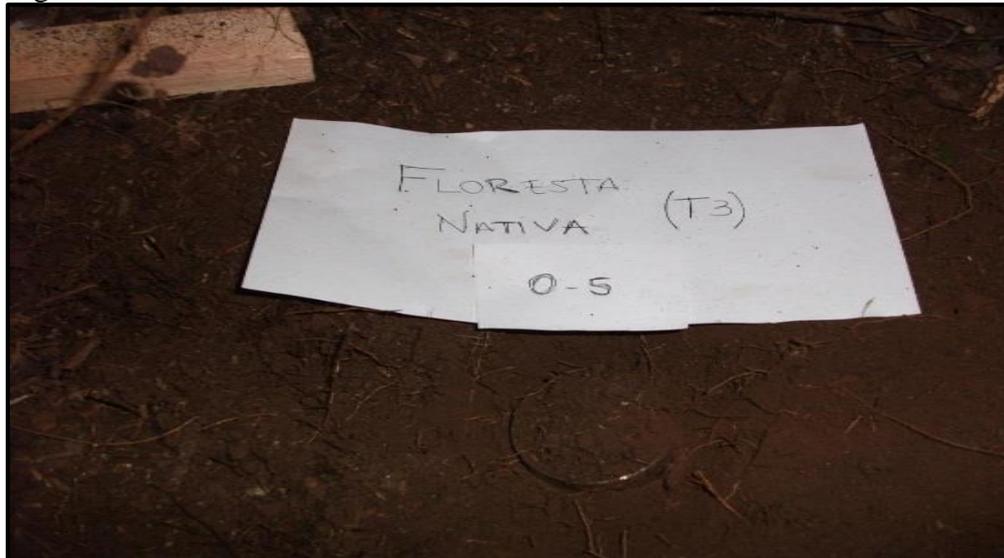
Fonte: Elaborada pelo autor, 2014.

4.3 COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

Para cada sistema de manejo foram coletadas amostras deformadas para determinação do teor de carbono orgânico do solo (CO), análise granulométrica (argila, areia e silte) e umidade gravimétrica no momento da determinação da resistência a penetração, bem como amostras indeformadas (Figura 7), com o auxílio de anéis volumétricos contendo aproximadamente 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, nas profundidades de 0-5 (1), 5-10 (2) e 10-20 (3) cm, para realização da porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), densidade do solo (Ds) e condutividade hidráulica saturada de carga variável (Ksat). Todas as amostras foram coletadas em três repetições, totalizando 45 amostras de solo.

Depois de coletadas, as amostras indeformadas foram transportadas até o laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia agrícola da Universidade Federal do Paraná - UFPR – Curitiba/PR, onde o excesso de solo ao redor de ambas as bordas dos anéis foi retirado com o auxílio de uma faca, cuidando-se para não destruir nem compactar a amostra de solo contida nos mesmos e saturadas por 48h a priori da determinação das porosidades, densidade do solo e condutividade hidráulica saturada de carga variável.

Figura 7 - Coleta de amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2014.

As amostras deformadas para determinação de CO e análise granulométrica, depois de coletadas, foram transportadas até o laboratório de solos do campus Chapecó da UFFS onde foram secas em estufa a 50 °C, destorroadas, moídas, peneiradas em peneira de diâmetro de malha de 2 mm e armazenadas em sacos plásticos até a análise. Contudo, as amostras para determinação da umidade gravimétrica, depois de coletadas, foram armazenadas em sacos plásticos, seladas e transportadas até o laboratório.

4.4 ANÁLISES REALIZADAS

Abaixo segue descrição das análises realizadas.

4.4.1 Carbono orgânico (CO) do solo

Para determinação do CO do solo foi utilizado o processo de oxidação úmida do carbono com dicromato de potássio em meio sulfúrico com aquecimento em bloco digestor – Método do Bloco Digestor (ADAPTADO DE EMBRAPA, 1997).

Desta forma, pesou-se e colocou-se 0,1 g de amostra de solo em tubo de ensaio de 250 mL, pipetou-se 10 mL de uma solução de dicromato de potássio 0,4 N em meio ácido e aqueceu-se a amostra em bloco digestor por 30 min a uma temperatura de 140 a 150 °C. Depois de aquecidas, as amostras foram retiradas do bloco digestor, resfriadas, adicionado 2 mL de ácido ortofosfórico concentrado + 3 gotas de difenilamina e tituladas com Sulfato Ferroso Amoniacal 0,1 N até a viragem da cor de azul para verde. O mesmo procedimento foi realizado com as provas em branco, isto é, sem o solo.

O teor de carbono nas amostras foi calculado pela fórmula:

$$C(\text{g kg}^{-1}) = \frac{(V_{\text{sfB}} - V_{\text{sfAm}}) \times 0,3}{P_{\text{am}}} \quad (1)$$

onde C = teor de carbono orgânico na amostra em g kg⁻¹; V_{sfB} é o volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal gasto na prova em branco; V_{sfAm} é o volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal gasto na amostra; e P_{am} é quantidade da amostra utilizada em gramas.

4.4.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica (Figura 8) foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Desta forma, pesou-se 20 g de amostra o qual foi colocado em um Becker de vidro, onde se adicionou 100 mL de água deionizada e 10 mL de solução de NaOH 1N; Após, os recipientes foram agitados por 12 horas e a fração areia separada das frações argila+silte por peneiramento (53 μ m). A fração areia foi então armazenada em beckers, seca em estufa a 105 °C durante 24h e pesada. A solução contendo argila + silte foi coletada em proveta de 1000 mL, a qual depois de completado o volume para 1000 mL foi agitada durante 30 segundos com um stirrer. Depois de agitado, aferiu-se a temperatura e determinou-se o tempo de sedimentação da fração silte segundo a Lei de Stokes. Concluído este tempo, coletou-se 50 ml da suspensão a uma profundidade de até 5 cm dentro da proveta, transferiu-se a amostra para becker e secou-se em estufa a 105 °C durante 48h. Depois de secas, as amostras foram esfriadas em dessecador e pesadas. O mesmo procedimento foi realizado para a prova em branco, isto é, sem amostra de solo.

Figura 8 - Análise granulométrica nas amostras da área de estudo.



Fonte: Diel, 2014.

O teor das frações argila, areia e silte foi realizada conforme as fórmulas 2, 3 e 4 abaixo, respectivamente:

$$\text{Arg} = [(m_{\text{arg}} + m_{\text{d}}) - m_{\text{d}}] \times 100, \quad (2)$$

Onde Arg = teor de argila dado em g kg⁻¹; marg = massa de argila em g e md = massa de dispersante na prova em branco dado em g.

$$Ar = m_{ar} \times 50, \quad (3)$$

onde Ar = teor de areia na amostra dado em g kg⁻¹; maf = massa de areia na amostra dado em g.

$$Silte = 100 - Arg - Ar, \quad (4)$$

onde Silte = teor de silte dado em g kg⁻¹; Arg = teor de argila dado pela fórmula 2 e Ar = teor de areia na amostra dado pela fórmula 3

4.4.3 Microporosidade (Mic), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e condutividade hidráulica saturada (Ksat)

Depois de saturadas, as amostras contidas nos anéis foram pesadas e colocadas em mesa de tensão para a determinação da Mic do solo conforme EMBRAPA (1997). Resumidamente, depois de colocadas na mesa de tensão, o nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna d'água foi colocado na mesa de tensão e depois de 24 horas, os cilindros retirados e pesados. Para evitar a quebra da coluna d'água, o nível de sucção foi colocado de 10 em 10 cm até atingir os 60 cm. A pesagem foi realizada a cada 24h até se perceber peso constante na amostra. Depois de atingido o peso constante nas amostras, as mesmas foram secas em estufa a 105°C durante 48h e pesadas.

A Mic do solo foi calculado utilizando-se a fórmula 5 abaixo:

$$Mic = \frac{(a-b)}{c}, \quad (5)$$

onde, a = massa da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água; b = massa da amostra seca a 105°C (g) e c = volume do cilindro (cm³).

A densidade do solo (Ds) é calculada conforme e fórmula 6 abaixo:

$$Ds = \frac{mss}{v}, \quad (6)$$

onde mss = a massa de solo seco a 105 °C e v = volume do anel,

A Porosidade total do solo Pt foi calculado conforme a fórmula 7 abaixo:

$$P_t = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right), \quad (7)$$

onde D_s = densidade do solo determinada pela fórmula 2 e D_p = densidade de partículas ou densidade real do solo ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$).

Finalmente, a macroporosidade do solo é calculada por diferença conforme a fórmula 8 abaixo:

$$Mac = P_t - Mic \quad (8)$$

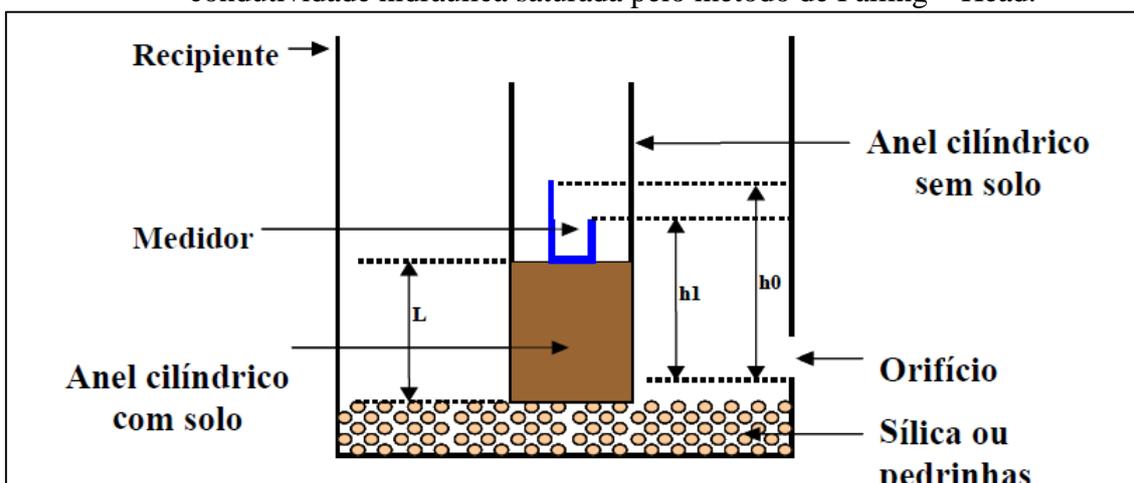
onde P_t = a porosidade total dada pela fórmula 7 e Mic = é a microporosidade do solo dada pela fórmula 5.

Depois de (re)saturadas, utilizou-se o método do permeâmetro de carga decrescente para determinar a condutividade hidráulica (K_{sat}) conforme ilustrado na Figura 9. Este equipamento é composto de um recipiente com um orifício, no qual ao se abrir permite que a água escoe, estabelecendo um fluxo de água através da amostra de solo dentro do recipiente. O deslocamento de água sobre a amostra de solo, de altura L , no tempo 1, corresponde a um deslocamento de água entre as duas alturas (h_0 e h_1), e o K_{sat} pode então se calculado através da equação 10.

$$K_{sat} = \left(\frac{L}{t} \right) \text{Ln} \left(\frac{h_0}{h_1} \right), \quad (9)$$

onde, L , h_0 e h_1 são as alturas dadas em metros (m), t é o tempo em segundos (s), e K_{sat} é a condutividade hidráulica saturada mm h^{-1} .

Figura 9 - Desenho esquemático do instrumento utilizado para determinar a condutividade hidráulica saturada pelo método de Falling – Head.



Fonte: Cavalieri, 2007.

Nota: Tese Aspectos metodológicos da pesquisa sobre compactação e qualidade física do solo.

4.4.4 Resistência à penetração (RP)

As medidas de RP foram realizadas utilizando-se um penetrógrafo automatizado da Falker Modelo Solo Track PLG 5300. O penetrógrafo estava equipado com uma haste metálica contendo um cone do tipo 2, com ângulo de abertura de 30° (indicado para uso em solos argilosos) em uma das extremidades sendo as medidas realizadas a velocidade constante de 24 mm s^{-1} e com resolução centimétrica a partir da superfície até a profundidade de 40 cm.

Em cada sistema de manejo as medições foram realizadas em três repetições contendo cada uma 10 subamostra, totalizando 30 medições por sistema de manejo. Os dados gerados foram transferidos para microcomputador com a ajuda de um software disponível com o equipamento, onde as médias em cada profundidade foram calculadas.

4.4.5 Umidade Gravimétrica (U_g)

Para determinar a umidade das amostras de solo, foi pesado 20 g do solo coletado no momento da determinação da RP no campo e colocada em placa de Petri de peso conhecido e seca em estufa a 105°C durante 24 horas. Depois de secas, as amostras foram colocadas em dessecador para esfriarem e pesadas. A U_g foi calculada conforme a fórmula 10 abaixo:

$$U_g = 100 (a - b) / b, \quad (10)$$

onde U_g = a umidade gravimétrica dada em $g\ g^{-1}$; a = a massa da amostra úmida (g) e b é a massa da amostra seca (g).

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os atributos físicos determinados nas amostras foram analisados por análise descritiva geral, correlação e submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade de erro num esquema fatorial 5 (sistemas de manejo) x 3 (profundidade). A interação e os fatores considerados significativos pelo teste F tiveram suas médias comparadas pelo teste T a 5% de probabilidade de erro. Os dados para cada variável foram considerados com distribuição normal, o que foi verificado pelo teste W ($p < 0,05$; SHAPIRO e WILK, 1965).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para o teor de carbono orgânico e atributos físicos determinados nas amostras coletadas na área de estudo são apresentados e discutidos abaixo.

5.1 CARBONO ORGÂNICO (CO) DO SOLO

O teor de CO nas diferentes profundidades e sistemas de manejo da área de estudo é apresentado na Tabela 1 abaixo. Assim, observa-se que, de uma forma geral, os teores de CO variaram de $0,79\ g\ kg^{-1}$ (FP3) a $3,38\ g\ kg^{-1}$ (MN2) nas amostras estudadas.

A análise da variância (Anexo 1) não mostrou interação entre os sistemas de manejo e as profundidades estudadas, mas o teor de CO do solo entre os sistemas de manejo e entre as profundidades apresentaram diferenças significativas, portanto, somente os valores médios serão discutidos.

Entre os sistemas de manejo (Figura 10), o que apresentou o maior teor de CO do solo foi a MN ($30\ g\ kg^{-1}$) e o que apresentou o menor foi a FP ($11,8\ g\ kg^{-1}$). Em ordem decrescente, o teor médio variou da seguinte maneira: MN > SPDA > PAST > SPDR >

FP. Além disso, observa-se que a MN apresentou teores de CO do solo significativamente superiores aos demais sistemas de manejo, o que se explica pela alta capacidade das florestas em aportarem carbono aos solos dada a grande produção de biomassa (parte aérea + radicular) de sua vegetação, composta em sua maioria por árvores de médio a grande porte.

Tabela 1 - Teor de carbono orgânico (CO; g kg⁻¹), argila (ARG; g kg⁻¹), areia total (AT; g kg⁻¹), silte (g kg⁻¹) e classe textural determinados nas diferentes profundidades e sistemas de manejo da área de estudo (média de 3 repetições).

Manejo	Prof.	CO	ARG	AT	Silte	Classe textural
MN	0 – 5 (1)	33,1	131,3	203,8	664,9	Franco-Siltosa
	5 – 10 (2)	33,8	246,7	184,6	568,8	Franca
	10 – 20 (3)	20,7	155,3	170,8	673,9	Franca-siltosa
FP	0 – 5 (1)	15,6	379,0	190,8	430,2	Franco-argilosa
	5 – 10 (2)	12,0	366,7	175,3	458,1	Franco-argilosa
	10 – 20 (3)	7,9	381,7	78,6	539,7	Franco-argilo-siltosa
PAST	0 – 5 (1)	19,0	241,2	230,3	528,5	Franca
	5 – 10 (2)	18,4	329,3	202,6	468,1	Franco-argilosa
	10 – 20 (3)	15,6	333,7	224,9	441,4	Franco-argilosa
SPDR	0 – 5 (1)	14,1	358,0	196,6	445,4	Franco-argilosa
	5 – 10 (2)	15,9	318,7	191,5	489,8	Franco-argilosa
	10 – 20 (3)	16,3	199,7	171,0	629,3	Franca
SPDA	0 – 5 (1)	22,9	485,7	121,8	392,5	Argilosa
	5 – 10 (2)	19,1	537,7	121,4	340,9	Argilosa
	10 – 20 (3)	10,5	534,3	104,0	371,7	Argilosa

Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

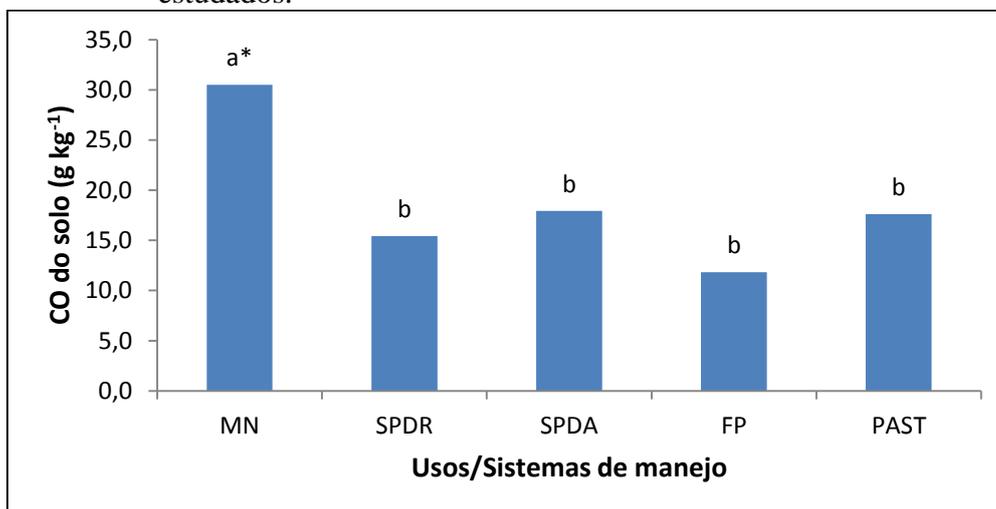
Notas: MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo;

Entre os demais sistemas de manejo, mesmo não sendo diferentes estatisticamente entre si, observou-se que o SPDA e a PAST apresentaram maiores teores médios de CO do solo em relação a FP e SPDR, o que mostra o potencial de acumulação de carbono no solo por estes sistemas. No caso do SPDA, isto ocorre porque depois da colheita a palhada permanece em superfície e decompõem-se lentamente com o tempo. Já na pastagem, o não revolvimento e o grande incremento de carbono pelo sistema radicular das gramíneas é que ocasionam este resultado (CERRI et al., 1999).

Contudo, a variação não significativa nos teores de CO entre SPDA, SPDR, FP e PAST sugerem que o SPDA, mesmo tendo sido implantado a aproximadamente 10 anos, não tem sido manejado com qualidade suficiente para promover aumento dos valores de CO do solo em relação aos demais sistemas. O mesmo pode ser observado para a PAST,

pois a medida que as pastagens tornam-se mais antigas, o teor de CO do solo tende a aumentar progressivamente e seus estoques, principalmente quando são melhoradas, tendem a se igualar ou superar o das florestas (CERRI et al., 1999).

Figura 10 - Carbono orgânico (CO) do solo nos diferentes sistemas de manejo estudados.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

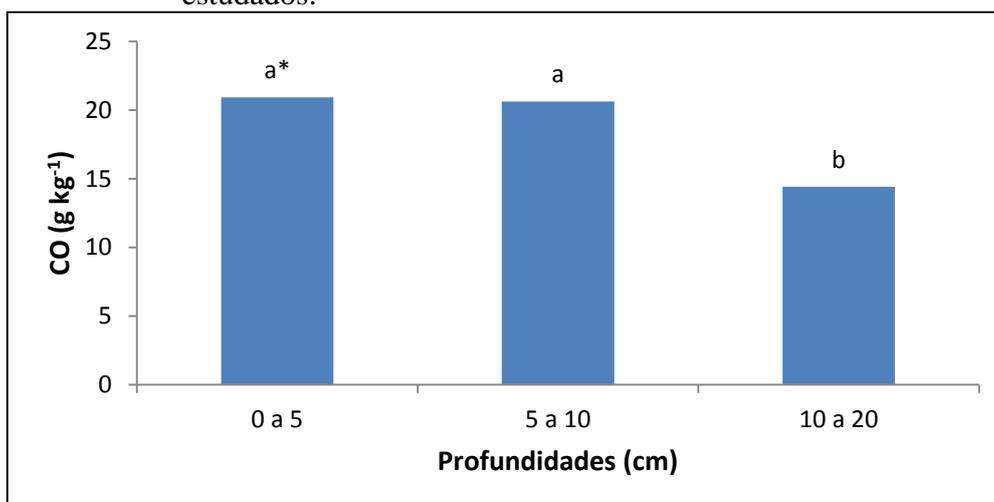
Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo.

Segundo Chonè et al., (1991); Cerri e Andreux., (1990) apud Cerri.et al., (1999), a introdução de pastagem promove um decréscimo na quantidade de matéria orgânica do solo nos primeiros anos de sua implantação, mas aumenta a seguir até atingir níveis muito próximos aos previamente existentes na mata natural.

Em profundidade (Figura 11), na média, observa-se a tendência de redução do teor de CO do solo, o que é condizente com o comportamento do mesmo para a maioria dos solos, pois o maior acúmulo ocorre a partir da superfície devido a deposição de material orgânico por parte da vegetação (parte aérea e radicular) (BRADY; WEIL, 2008).

Figura 11 - Carbono orgânico (CO) do solo nas diferentes profundidades estudados.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

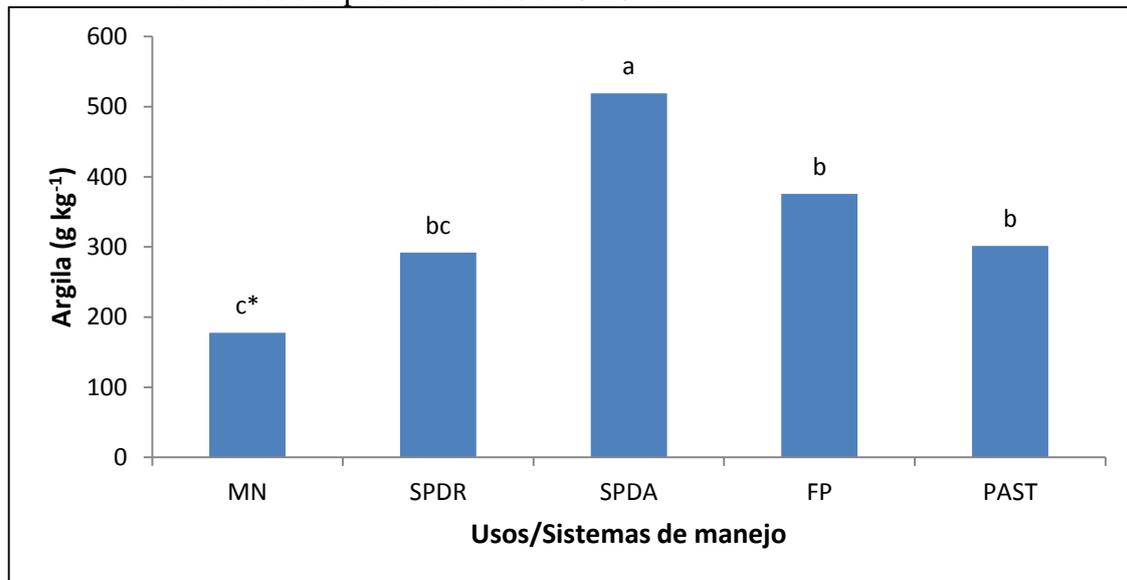
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A Tabela 1 também apresenta os resultados da análise granulométrica determinada nas amostras coletadas nas diferentes profundidades e sistemas de manejo da área de estudo.

Assim, observou-se que, no geral, o teor de argila das amostras variou de 131,3 g kg⁻¹ (MN1) a 537,7 g kg⁻¹ (MN3), o teor de areia variou de 78,6 g kg⁻¹ (FP3) a 230,3 g kg⁻¹ (PAST1), o teor de silte variou de 340,9 g kg⁻¹ (SPDA2) a 673,9 g kg⁻¹ (MN3) enquanto que a classe textural variou de Franco-siltosa a Franca. Este resultado é condizente com o encontrado para Chernossolos da região e descrito em Embrapa (2014).

Pela análise da variância (Anexo 2), não foi observado interação significativa entre os sistemas de manejo e as profundidades, bem como não existiu diferença significativa entre as profundidades analisadas. Assim, somente os teores médios da argila em cada sistema de manejo diferiram estatisticamente entre si (Figura 12). Além disso, o sistema de manejo que apresentou o maior teor de argila foi o SPDA (519,2 g kg⁻¹) e o que apresentou o menor teor foi a MN (177,8g kg⁻¹) e em ordem decrescente, a variação entre os usos foi SPDA > FP > PAST > SPDR > MN.

Figura 12 - Teor de argila no solo da área de estudo sob os diferentes sistemas de manejo estudados em profundidades de 0-20 cm.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto antigo; SPDA- sistema plantio direto recente.

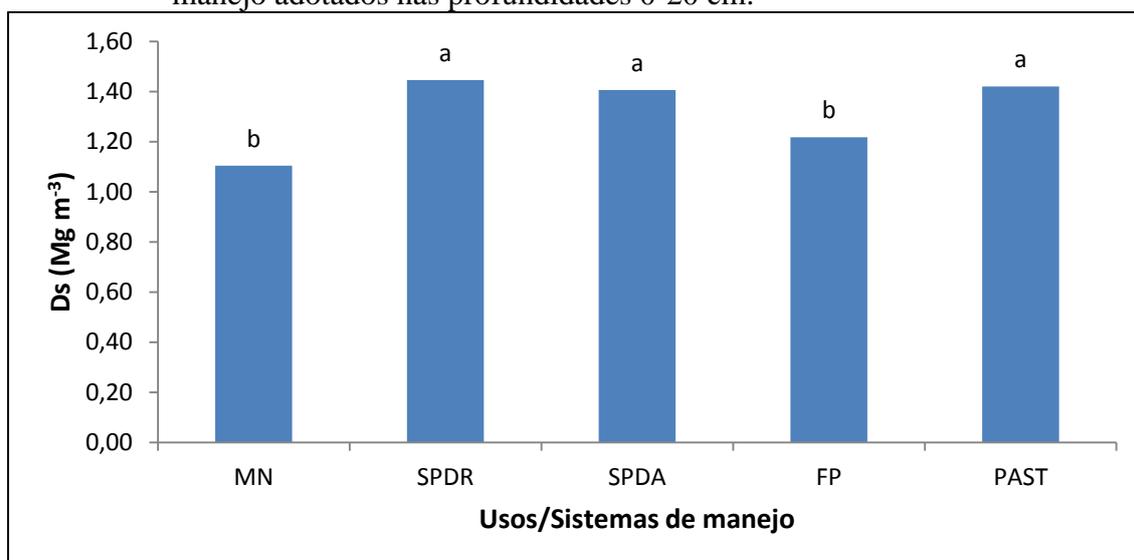
5.3 DENSIDADE DO SOLO (DS)

Para a Ds, mesmo o coeficiente de variação sendo considerado baixo (7,4%; Anexo 3), não se observou interação entre os fatores pela análise da variância, mas foi observado diferença significativa para a variação da Ds entre os sistemas de manejo e em profundidade.

Para os diferentes sistemas de manejo estudados (Figura 13), observou-se que de uma forma geral, os valores de Ds aumentaram na seguinte ordem: MN ($1,10 \text{ Mg m}^{-3}$) < FP ($1,22 \text{ Mg m}^{-3}$) < SPDA ($1,41 \text{ Mg m}^{-3}$) \cong PAST ($1,42 \text{ Mg m}^{-3}$) < SPDR ($1,45 \text{ Mg m}^{-3}$), ficando claramente evidenciado o efeito dos diferentes sistemas de manejo (PAST, SPDA e SPDR) em relação a MN e a FP. No caso, pela análise estatística, PAST, SPDA e SPDR apresentaram valores de Ds significativamente maiores que MN e FP.

Outros estudos como os de Beutler et al., (2009) também observaram o mesmo e os autores explicam que nos sistemas mais intensivos em uso, os maiores valores de Ds estão relacionados ao maior tráfego de máquinas e implementos agrícolas durante o cultivo das culturas, bem como ao pisoteio animal que ocorre nas áreas com pastagem.

Figura 13 - Média dos valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de manejo adotados nas profundidades 0-20 cm.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

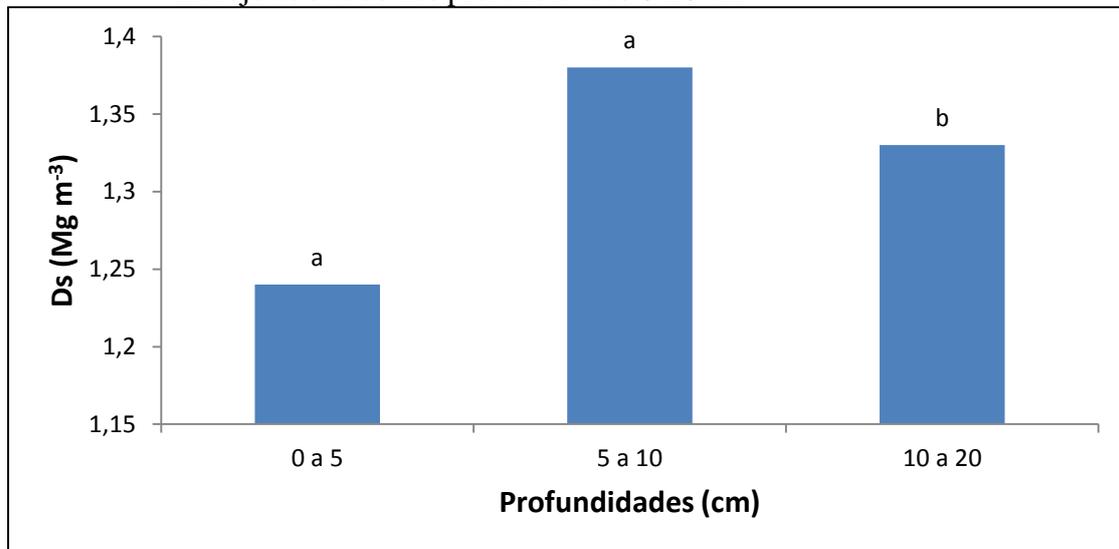
Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto antigo; SPDA- sistema plantio direto recente. Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

No caso da FP, a maior Ds em relação ao sistema MN e menor em relação aos demais, provavelmente se deve ao fato de a área antigamente ter sido pouco utilizada como lavoura (sistema plantio direto) e o histórico de tensões aplicadas ao solo não ter sido suficiente para aumentar sua Ds ou a interrupção de cultivos sucessivos para sua destinação como floresta de eucalipto impediu que os valores de Ds atingisse os níveis atingidos pelas demais áreas (SPDA, SPDR e PAST).

Em profundidade (Figura 14), no geral, observou-se que os valores de Ds aumentaram, sendo maior na profundidade de 5 – 10 cm. Este resultado provavelmente se deve ao uso mais intensivo do solo nos sistemas SPDA, SPDR e PAST, pois a ausência de revolvimento, o tráfego de máquinas e o pisoteio animal aumentam a Ds dos solos, principalmente em subsuperfície .

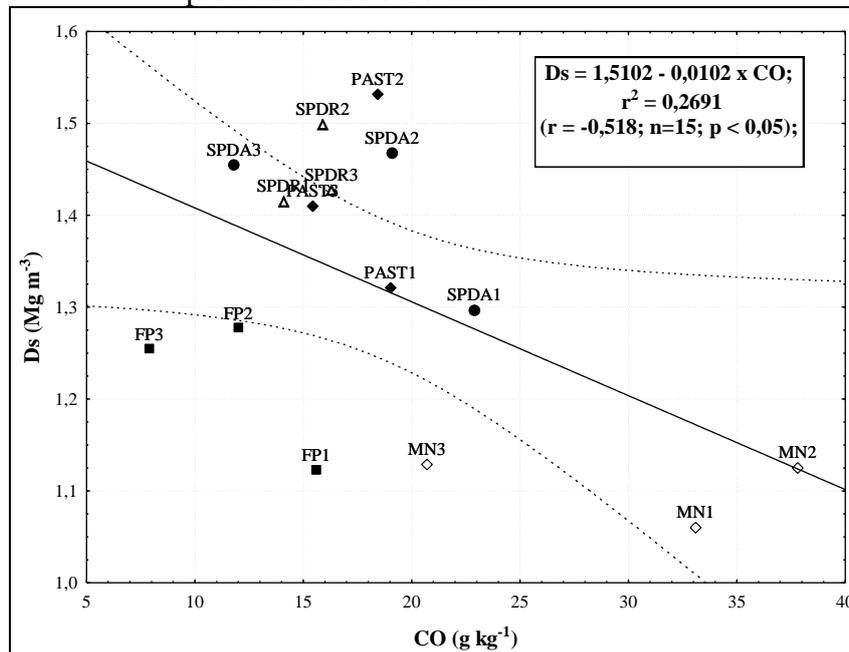
Figura 14 - Média dos valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de manejo adotados nas profundidades 0-20 cm.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

Figura 15 - Média dos valores de densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de manejo adotados nas profundidades 0-20 cm.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: As linhas pontilhadas indicam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro.

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo.

1 (0-5 cm); 2 (5-10 cm); 3 (10-20 cm).

5.4 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (RP)

Os dados de RP para as diferentes profundidades e sistemas de manejo estudados são apresentados na Tabela 2 e a análise da variância (Anexo 4) indicou que existiu interação significativa entre os fatores analisados (sistemas de manejo x profundidade).

No geral, observou-se que a RP variou de 0,6 MPa (MN1) a 4,53 MPa (PAST2) e aumentou nas profundidade 5 – 10 cm em todos os sistemas de manejo. Além disso, os sistemas de manejo que apresentaram a maior RP média foram o PAST e o SPDA e o que apresentou a menor RP foi a MN.

Tabela 2 - Resistência à penetração do solo (MPa) nas diferentes profundidades dos sistemas de manejo da área de estudo.

Prof. (cm)	MN	SPDR	SPDA	FP	PAST
0 a 5 (1)	0,6 bB	0,9 bB	1,2 cB	0,7 bB	2,03cA
5 a 10 (2)	2,0 aB	2,3 aB	4,3 aAB	2,3 aB	4,5 aA
10 a 20 (3)	1,8 aC	1,9 aC	3,6 bA	2,9 aB	3,1 bBA

Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Notas: MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo.

Diante disso percebe-se que SPDA e a PAST apresentaram valores acima de 2 MPa, valor considerado limitante ao desenvolvimento radicular das culturas (TORMENA et al., 2007). No SPDA isso pode estar associado a não mobilização do solo por implementos e ao tráfego intenso de máquinas agrícolas, favorecendo a compactação do solo (PEREIRA et al., 2002).

Na PAST a RP foi maior provavelmente devido ao pisoteio animal na área. Segundo Torres et al. (2012) o impacto causado pelo pisoteio bovino sobre o solo e os consequentes reflexos sobre alguns atributos físicos têm sido atribuído ao seu peso ser distribuído em uma menor área atingida pelo seu casco.

Alisando individualmente por profundidade, observa-se que na profundidade de 0 a 5 cm, a RP decresceu na seguinte ordem: PAST > SPDA > SPDR > FP > MN; na profundidade de 5 a 10 cm na ordem: PAST > SPDA > SPDR > FP > MN; e na profundidade de 10 a 20 cm na ordem: SPDA > PAST > FP > SPDR > MN.

A PAST apresentou a maior RP na profundidade de 0 a 10 cm, o que sugere que neste sistema o pisoteio animal está ocasionando aumento da RP desde a superfície, enquanto que para o SPDA a ação das máquinas e implementos agrícolas é maior em

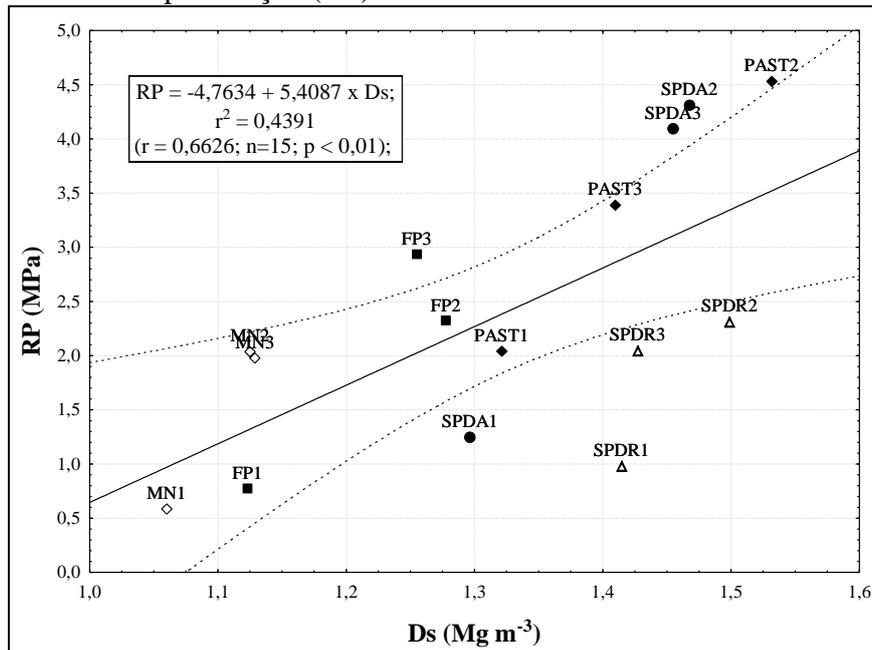
profundidade, pois na profundidade de 10 a 20 cm, mesmo não sendo observado diferença significativa pelo teste T, o valor de RP em SPDA foi maior do que na PAST.

Schneider et al., (1978) constataram que um bovino com peso entre 70 a 500 kg exerce uma pressão de compactação de 0,07 a 0,21 MPa, enquanto que um trator de esteira exerce somente 0,01 a 0,02 MPa de pressão e que a presença de animais em áreas cultivadas leva ao aumento da densidade, diminuição da porosidade total e da macroporosidade do solo.

No caso, Trein et al., (1991) observaram que o pastejo intensivo de bovinos ocasionou aumento da RP de 0,84 para 4,03 MPa na camada de 0 a 7 cm de profundidade. O mesmo é mostrado por Cassol (2003) e Bertol et al., (2000), os quais relatam que o efeito do pisoteio se concentra na camada de 0 a 5 cm. Neste estudo, como a maior RP foi verificada na profundidade de 0 a 10 cm, os resultados obtidos estariam de acordo com o observado na literatura.

Além disso, também se observou uma correlação positiva e significativa entre a RP e a Ds (Figura 16), sugerindo que o aumento da Ds está ocasionando em grande parte o aumento da RP. Neste caso, a maior quantidade de massa de solo por unidade de volume proporciona menos espaços vazios entre as suas partículas, aumenta sua resistência mecânica e, conseqüentemente, os valores de RP medidos (RIBON et al., 2003).

Figura 16 - Correlação entre densidade do solo (Ds) e resistência a penetração (RP) nas áreas de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: As linhas pontilhadas indicam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro.

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo.

1 (0-5 cm); 2 (5-10 cm); 3 (10-20 cm).

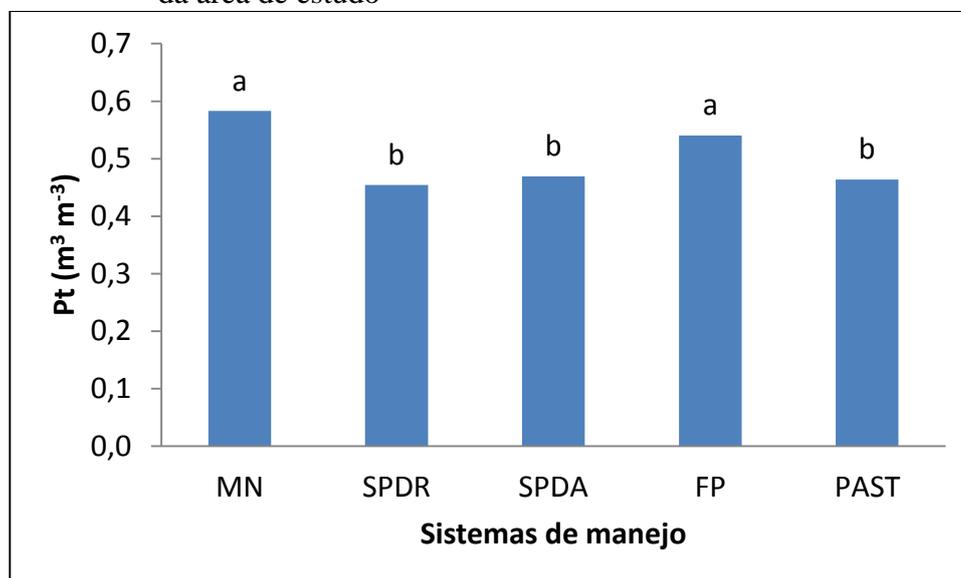
5.5 POROSIDADE TOTAL (PT), MACROPOROSIDADE (MAC) E MICROPOROSIDADE (MIC) DO SOLO

Os dados de porosidade total (Pt) do solo determinados nas diferentes profundidades para cada sistema de manejo estudado mostraram que a Pt variou de $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SPDR2) a $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (MN1), entretanto, pela análise da variância, não se observou significância estatística para a interação entre os fatores manejo x profundidade, mas somente para os sistemas manejos estudados (Anexo 5), sugerindo que os fatores são independentes entre si e, portanto, serão discutidos somente os sistemas de manejo e as profundidades separadamente. Em profundidade, os valores de Pt foram muito similares (0 – 5 cm: $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; 5 – 10 cm: $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; 10 – 20 cm: $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e desde que não foram diferentes estatisticamente, não serão discutidos.

Assim, entre os sistemas de manejo estudados (Figura 17), a Pt decresceu na seguinte ordem: MN > FP > SPDA > PAST > SPDR, o que sugere que quanto maior a intensidade de uso, menor a Pt do solo, pois os sistemas SPDA, SPDR e PAST não foram

significativamente diferentes entre si e apresentaram valores de Pt significativamente menores em relação a MN e FP.

Figura 17 - Porosidade total do solo (Pt) nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

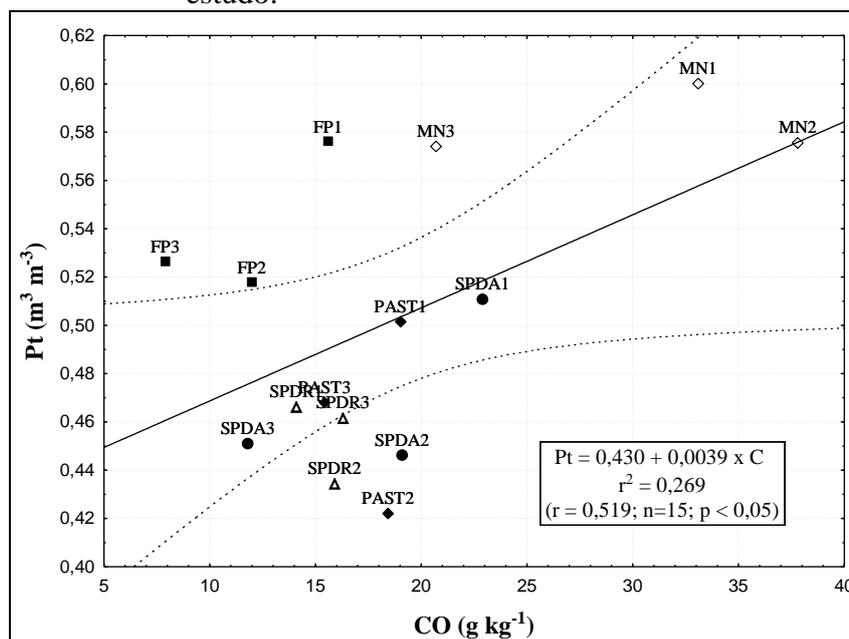
Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto antigo; SPDA- sistema plantio direto recente.

Estes resultados também corroboram as informações obtidas pela Ds e RP do solo neste estudo, pois se observou correlação negativa e significativa entre a Ds e a Pt ($r = -1$; $n=15$; $p < 0,05$) e entre a RP e Pt ($r = -0,67$; $n=15$; $p < 0,05$), evidenciando o efeito do uso de máquinas, implementos agrícolas e do pisoteio animal em compactar o solo e alterar atributos físicos do mesmo.

O maior teor de CO do solo provavelmente também explica a maior Pt observada para a MN em relação aos demais sistemas de manejo aqui estudados. A correlação existente entre a Pt e o teor de CO do solo (Figura 18). Contudo, para a FP, provavelmente o revolvimento do solo para implantação da floresta de eucalipto aliado a ausência de tráfego de máquinas, implementos e animais na área depois da implantação do sistema esteja influenciando este resultado.

Figura 18 - Correlação entre carbono orgânico (CO) do solo e porosidade total do solo (Pt) determinados na área de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: As linhas pontilhadas indicam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro.

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo.

1 (0-5 cm); 2 (5-10 cm); 3 (10-20 cm).

Na Tabela 3, são apresentados os valores de Mac nos diferentes usos sistemas de manejo e profundidades estudados e observou-se que os valores de Mac variaram de 0,1 m³ m⁻³ (SPDR2, SPDR3, SPDA2, SPDA3, PAST1, PAST2) a 0,24 m³ m⁻³ (MN1). Contudo, na profundidade de 0 a 5 cm os valores, entre os sistemas de manejo estudados decresceram na seguinte ordem: FP > SPDA > SPDR > MN > PAST; na profundidade de 5 a 10 na ordem: MN > FP > SPDA > SPDR > PAST; e na profundidade de 10 a 20 cm na ordem: MN > FP > PAST > SPDA > SPDR.

Tabela 3 - Macroporosidade (m³ m⁻³) do solo nas diferentes profundidades dos sistemas de manejo da área de estudo.

Prof. (cm)	MN	SPDR	SPDA	FP	PAST
0 a 5 (1)	0,24 aA	0,16 aAB	0,20 aA	0,23 aA	0,10 aB
5 a 10 (2)	0,23 aA	0,10 aB	0,10 bB	0,20 abA	0,10 aB
10 a 20 (3)	0,23 aA	0,10 aB	0,10 bB	0,13 bB	0,13 aB

Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Notas: MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo;

Assim, entre os sistemas de manejo, observou-se que a FP (0 a 5 cm) e a MN (10 a 20) foram os sistemas que apresentaram a maior Mac e que a PAST (0 a 10 cm) e o SPDR e SPDA (10 a 20 cm) apresentaram as menores Mac, atingindo inclusive o valor considerado como limitante ao desenvolvimento radicular de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ou de 10% de porosidade de aeração (SILVA et al., 2005).

Segundo Torres & Saraiva (1999), solos argilosos e em condições naturais, apresentam macroporosidade, em torno de $0,15$ a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, porém em condições de cultivo, a macroporosidade pode diminuir drasticamente. Nesse estudo, a Mac apresentou-se como um atributo sensível às alterações no solo decorrente dos sistemas de manejo adotados, fato também observado por Trein et al., (1991).

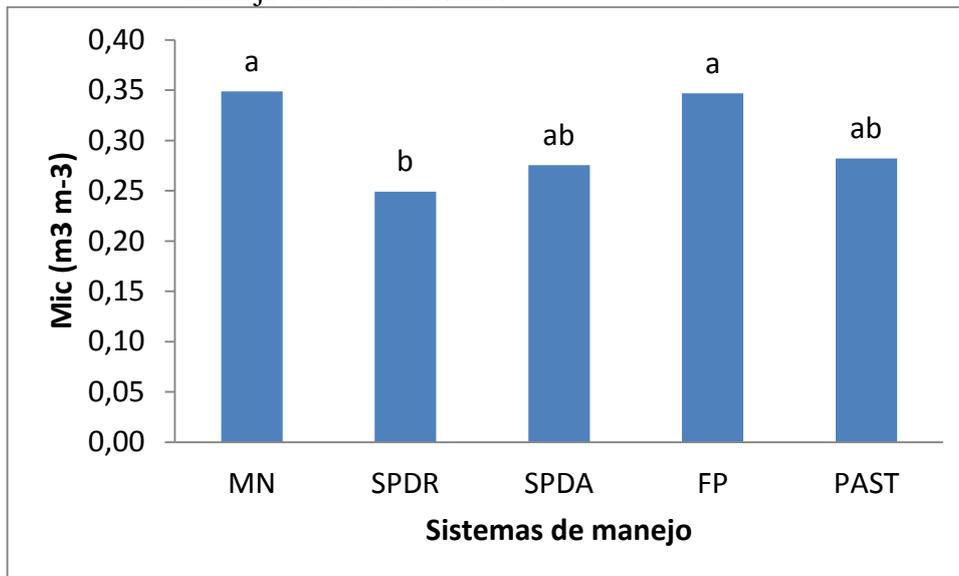
Em profundidade, a Mac diminuiu para todos os sistema, exeto para PAST, que aumentou na profundidade 10-20 cm. Moraes et al., (2011), com a aplicação de 4 passadas de máquinas em uma área agrícola sob SPD. também obsevou que a Mac decresceu em profundidade, verificando que a camada mais superficial (5,5 - 10,5 cm) apresentou $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporos, valor superior à camada de 13,5 - 18,5 cm, a qual obteve $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Segundo Silva et al., (2008), outro fator que pode ter contribuído para este comportamento é o teor de matéria orgânica do solo, os quais geralmente são superiores em superfície. Os autores também obsevaram que em profundidade maiores as raízes das plantas têm mais dificuldade para se desenvolver, pois com a redução da Mac, há uma redução da aeração do solo, ocasionando grande efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a velocidade de infiltração de água.

Em relação a Mic do solo, observou-se que seus valores variaram de $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (FP1) a $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SPDR1 e PAST2), entretanto, não foi observado interação entre os fatores (sistemas de manejo x profundidade), mas apenas diferença significativa entre os sistemas e entre as profundidades. Assim, nos diferentes sistemas de manejo (Figura 19) a Mic decresceu na ordem: MN = FP > PAST > SPDA > SPDR, sendo que a MN e a FP apresentaram Mic estatisticamente superior somente em relação ao SPDR.

Em geral, solos argilosos tem mais microporos que solos arenosos e solos que foram compactados tendem a apresentar mais microporos as expensas da destruição dos macroporos, devido a maior massa de solo em relação ao volume de sólidos (SILVA et al., 2004; SOUZA et al., 2003; BRADY et al., 2008). Além disso, solos com maior teor de carbono orgânico, geralmente melhoram a condição estrutural formando mais macroporos e aumentando sua permeabilidade (SOUZA et al., 2003).

Figura 19 – Microporosidade do solo (Mic) nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

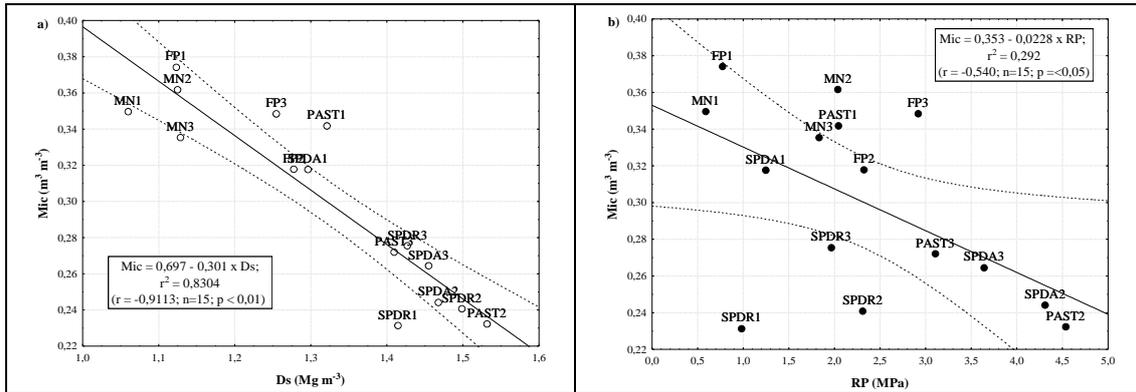
MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo.

Contudo, neste estudo, observou-se correlação inversa entre Ds e Mic (Figura 21a) e entre RP e Mic (Figura 21b), resultado contrário ao geralmente encontrado na literatura para Mic, e também não existiu correlação entre a Mic e o teor de argila e CO do solo, sugerindo que a compactação dos solos sob SPD e PAST é tão elevada que a própria Mic, a qual deveria aumentar com o aumento da compactação, está sendo reduzida juntamente com a Pt e Mac.

Neste caso, salienta-se que nos sistemas SPDR, SDPA e PAST, os valores de Ds e RP observados alcançaram e até superaram os valores de Ds ($1,3 - 1,5 \text{ Mg m}^{-3}$; REICHERT et al., 2003; ARGENTON et al., 2005; KLEIN et al., 2006) e de RP (2 MP; TORMENA et al. 1998; SILVA, 2003; SILVA et al., 2004) considerados como críticos ao desenvolvimento de plantas.

Todavia, salienta-se também que quando os solos são muito argilosos e estão muito compactados, também é possível que não se consiga saturar as amostras corretamente, pois a água demora mais para penetrar a totalidade dos microporos, subestimando os valores de Mic.

Figura 20 - Correlação entre densidade (Ds) e Microporosidade (Mic) do solo (a) e Resistência a penetração (RP) e Microporosidade (Mic) do solo (b) na área de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: As linhas pontilhadas indicam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade de erro;

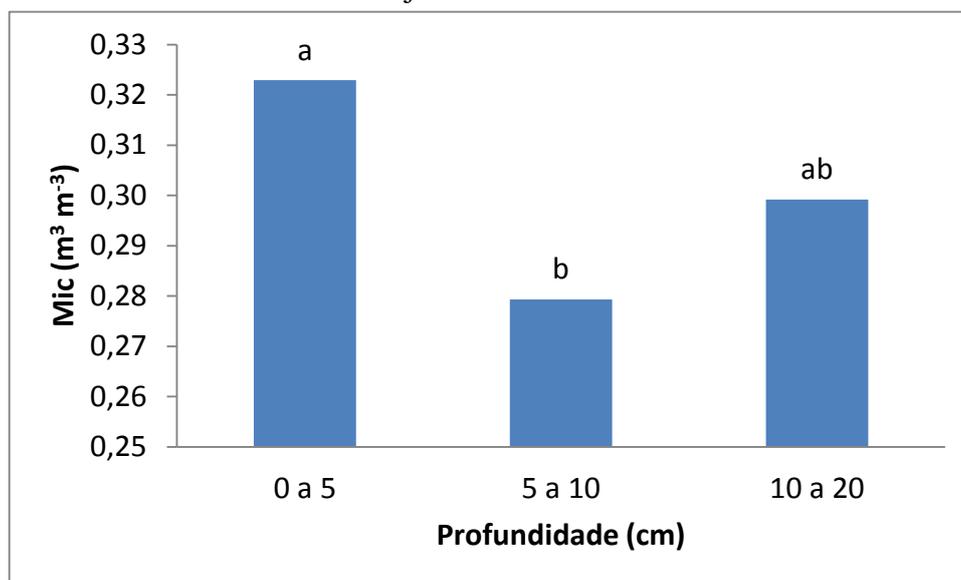
MN = mata nativa; FP = Floresta plantada; PAST = pastagem; SPDR = sistema plantio direto recente;

SPDA = sistema plantio direto antigo;

1 (0-5 cm); 2 (5-10 cm); 3 (10-20 cm);

Em profundidade, os valores de Mic variaram de 0,28 (m³ m⁻³; 5 – 10 cm) a 0,32 (m³ m⁻³; 0 – 5 cm) e diminuíram na ordem: 0 – 5 cm > 10 – 20 cm > 5 – 10 cm (Figura 22). Assim, observa-se que diminuíram em profundidade, sendo esta diminuição maior na profundidade com maior Ds e Maior RP neste estudo, isto é, na profundidade de 5 – 10 cm. Isto ocorre em virtude de a Mic aumentar as expensas da destruição dos macroporos do solo, os quais são os mais frágeis e passíveis de destruição (BRADY et al., 2008).

Figura 21 - Microporosidade do solo nas diferentes profundidades dos sistemas de manejo da área de estudo.



Fonte:Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

5.6 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DE CARGA VARIÁVEL

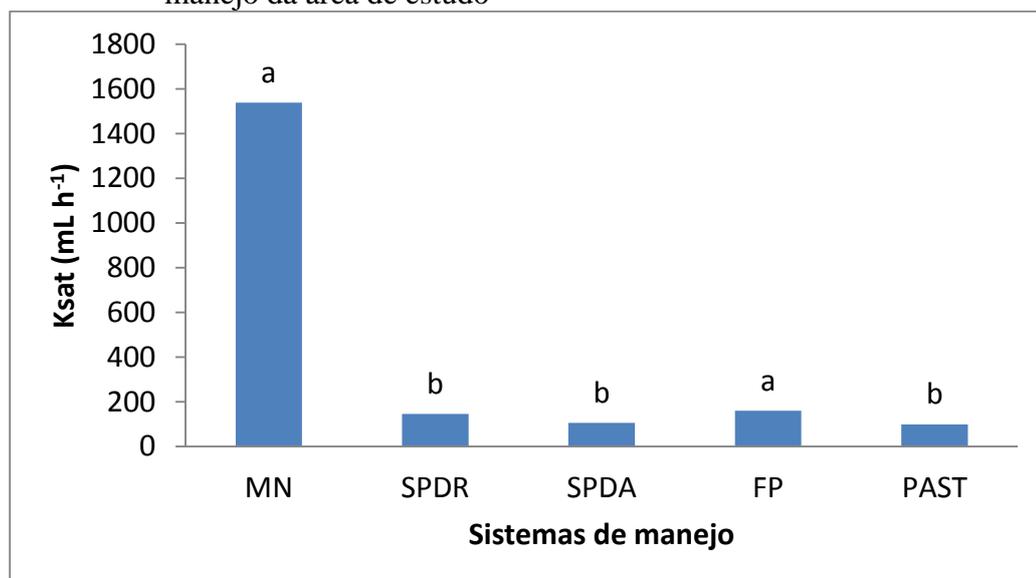
Os valores de K_{sat} nas diferentes profundidade e sistemas de manejo variaram de $35,9 \text{ mL h}^{-1}$ a 1864 mL h^{-1} e são apresentados no Anexo 6. Contudo, a análise da variância não indicou a ocorrência de interação entre os fatores sistema de manejo x profundidade (Anexo 7), sendo observada diferença estatística significativa somente entre os sistemas de manejo. A falta de significância para a interação e em profundidade provavelmente está sendo ocasionada pelo alto coeficiente de variação (CV) observado na análise da variância (112%), o que é considerado alto em se tratando de atributos físicos do solo (HILLEL, 1982 apud CASTRO et al., 2010).

Assim, a Figura 23 abaixo mostra os valores de K_{sat} observados entre os diferentes sistemas de manejo da área de estudo e observa-se que o comportamento desta varia entre os tratamentos, variando de 99 mL h^{-1} (PAST) a 1539 mL h^{-1} (MN), sendo superior estatisticamente na MN e FP (146 mL h^{-1}) em relação aos demais sistemas e decrescendo na ordem: $MN > FP > SPDR > SPDA > PAST$.

A K_{sat} na MN é extremamente superior a observada nos demais sistemas, o que sugere que nos sistemas de manejo onde ocorreu ou ocorre intensa atividade agropastoril (FP, SPDA, SPDR e PAST) e sofrem pistoteio animal, ausência de revolvimento e tráfego intenso de máquinas e implementos agrícolas, a K_{sat} tende a ser muito menor em relação

a MN, uma vez que essas atividades tendem a aumentar a Ds e RP e reduzir a Pt e Mac do solo. Este resultado também foi observado por Roth et al. (1988) apud Castro et al. (2010) que descrevem que as camadas de solo com maiores valores de Ds possuem menores valores de Ksat, principalmente influenciadas pelo manejo e cultivos sucessivos.

Figura 22 - Condutividade hidráulica saturada (Ksat) nos diferentes sistemas de manejo da área de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t em nível α de erro ($\alpha=5\%$).

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo.

Sendo assim, verificamos que os atributos físicos estudados estão intimamente interligados entre si e que o sistema de manejo adotado influencia diretamente esses atributos podendo alterá-los conforme as práticas agrícolas exercidas. Percebe-se por exemplo que ao modificarmos um sistema com mínima interferência (MN) para um sistema de atividade agrícola intensiva (PAST) estaremos submetendo o solo a modificações nos seus atributos físicos. É extremamente importante conhecer e entender cada atributo físico do solo, mas é ainda mais importante entender como suas interligações ocorrem, pois assim é possível planejar e executar práticas conservacionistas eficientes que resultem em manutenção da qualidade do solo.

6 CONCLUSÕES

As propriedades físicas do solo foram alteradas pelos sistemas de manejo nas diferentes profundidades, mostrando a importância de se avaliar tais propriedades no intuito de adotar práticas conservacionistas que promovam melhorias do solo, principalmente em sistemas de manejo intensivos tais como PAST, SPDR e SPDA.

Os sistemas de manejo SPDR, SPDA e PAST apresentaram maiores valores de Ds e RP e menores de Pt e Ksat quando comparados a FP e MN, principalmente em subsuperfície. Isso ocorreu devido ao uso intensivo do solo e manejo do solo, tais como tráfego de máquinas e pisoteio animal.

Em relação porosidade, a macroporosidade foi maior nos sistemas MN, FP e SPDR e menor no PAST e SPDA, o inverso ocorreu com a microporosidade. A porosidade influencia diretamente na drenagem de água, sendo que quanto maior o índice de macroporos maior será a drenagem e aeração do solo.

Em conclusão as propriedades físicas do solo podem ser modificadas em função do manejo adotado. Por esse motivo, solos bem manejados minimizam a degradação do solo, promovem melhoria na sua qualidade e conseqüentemente promovem adequado desenvolvimento das culturas e aumento na produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Edson Alves et al. **Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação.** Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ARSHAD, M.A. MARTIN, S. **Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecological ecosystems.** Agriculture, Ecosystems and Environment 88 (2012) 153–160.

BERNARDES, Rejane Siqueira. **Condutividade hidráulica de três solos da região norte fluminense.** Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ. ABRIL - 2005.

BERTOL, Ildgardis *et al.* **Propriedades físicas de um cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo.** Cienc. Rural [online]. 2000, vol.30, n.1, pp. 91-95. ISSN 0103-8478.

BEUTLER, A.N et al. **Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004.

BEUTLER, A.N et al. **Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo.** Acta Scientiarum. Agronomy. vol. 31, n. 2, p. 359-364, 2009.

BORGES, C. D. **Alterações microbianas do solo sob sistema de semeadura direta e rotação de culturas.** 2010. p.99f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biólogo, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** 143p. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils.** 14th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 965 p.

CASTRO, Orlando Melo de; VIEIRA, Sidney Rosa and SIQUEIRA, Glécio Machado. **Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de manejo.** *Bragantia* [online]. 2010, vol.69, n.2, pp. 433-443. ISSN 0006-8705.

CERRI, C. C., et al. **Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas.** *Sci. agric.* vol.56 n.4 Piracicaba Oct./Dec. 1999.

DEXTER, A. R. **Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory.** *Geoderma*, v. 120,(2004) n. 3-4, p. 227-239.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA special publication, 35).

EMBRAPA. **Manual De Métodos De Análise De Solo.** 2.ed. Rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 412 p.

FAGERIA, Nand Kumar, et al. **Qualidade do Solo e Meio Ambiente.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, novembro de 2006. 35 p. ISSN 1678-9644

FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar.** Campus do INMET – Setor Sudoeste 70680-900 Brasília, DF, Brasil. 2009.

FERNANDES, Luiz Arnaldo et al. **Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho.** *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.34, n.9, p.1691-1698, set. 1999.

FELLER, C. BEORE, M.H. **Physical control of soil organic matter dynamics in > the tropics.** *Geoderma* 79 (1997) 69-116. New Zealand Institute for Crop and Food Research, Canterbury Agriculture and Science Centre, Christchurch, New Zealand.

FILHO, J. A.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações.** Fortaleza. Imprensa universitária, 2008. 290 p.

FONTANA, Cláudia; GASPER, André Luís; SEVEGNANI, Lúcia. **Espécies raras e comuns de Myrtaceae da Floresta Estacional Decidual de Santa Catarina, Brasil.** Rodriguésia [online]. 2014, vol.65, n.3, pp. 767-776. ISSN 2175-7860.

FONTANELA, Eracilda. **Parâmetros físico-hídricos de um latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego.** 2008.78 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS.

TORMENA, Cássio Antônio., GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo., DUTRA, Adriano Cassol. **Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem.** Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2007, vol.31, n.5, pp. 863-873. ISSN 0100-0683.

GIONGO, Vanderlise; CUNHA, Tony Jarbas F. Sistema de **Produção de Melão.** Embrapa Semiárido Sistemas de Produção, 5ISSN 1807-0027 Versão Eletrônica Ago/2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais Técnico de Geociência.** 2ed. 2007. Rio de Janeiro.

KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; WIENHOLD, B. J.; DORAN, J. W. **Soil quality: Humankind's foundation for survival.** Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v. 58, n. 4, p. 171-179, Jul./Aug. 2003.

KIEHL, Edmar José. **Manual de edafologia: relações solo - planta.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p. (Edições ceres ; 22).

LETEY, J. **Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production.** Advances in Soil Science Volume 1, 1985, pp 277-294.

LIMA, V. C; LIMA, M.R; MELO, V.F. **A Importância de Estudar o Solo.** Projeto Solo na Escola – 2007, UFPR.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MAS SIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina .** Florianópolis: Epagri, 2002.

LUCIANO, Rodrigo Vieira, et al. PEREIRA, J.O et al. **Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 6, n.1, p.171-174, 2002.

PEREIRA, Rodrigo Gomes et al. **Atributos químicos do solo influenciados por sistemas de manejo.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 22, n. 0100-316, p.78-84, jan. 2009.

PEREIRA, T. F. P. D et al. **Análises físicas e químicas do topo do solo (horizonte a) em um fragmento florestal de mata atlântica submetido a eventos de fogo recorrentes na bacia do rio macacu (RJ).** IV Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 6 a 10 de setembro de 2006.

RESENDE, M. et al. 1995. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** Viçosa: Neput.

RIBON, A.A, et al. **Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos.** Acta Scientiarum: Agronomy Maringá, v. 25, n. 1, p. 13-17, 2003.

MEDEIROS, José Cunha et al. **Manejo da cultura do algodão com resultados de pesquisa em Goiás, Campina Grande.** 2002.18p, (Embrapa Algodão, Documentos, 98).

MORAES, MOACIR T, et al. **Propriedades físicas do solo sob diferentes níveis de compactação em um latossolo vermelho distroférrico.** Universidade Federal de Santa Maria Campus de Frederico Westphalen, Embrapa Soja, Caixa Postal, 231, 86001-970, Londrina, Paraná, 2011.

OLIVEIRA, Dener M. S; LIMA, Renato P; VERBURG, Ernst E. **Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno.** 281. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.19, n.3, p.280-285, 2015.

SCHNEIDER, P. R.; GALVÃO, F.; LONGHI, S. J. **Influência do pisoteio de bovinos em áreas florestais.**Revista Floresta, v. 19, n. 1, p. 19-23, 1978.

SILVA, Rubens Ribeiro da; SILVA, Marx Leandro Naves and FERREIRA, Mozart Martins. **Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande-MG.** Ciênc. agrotec. [online]. 2005, vol.29, n.4, pp. 719-730. ISSN 1413-7054.

SIQUEIRA, Glécio Machado. **Variabilidade de atributos do Solo determinados por métodos diversos.** 2006. 163 fls. Dissertação (mestrado)- Instituto Agronomico, Programa de pós-graduação em agricultura tropical e sub-tropical. Campinas, SP.

TORMENA C. A. et al. **Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.22, p.301-309, 2007.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja.** Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

TORRES, Jose Luiz Rodrigues et al. **Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação.** Biosci. J., Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 232-239, Mar. 2012.

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. **Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 15, p. 105-111, 1991.

VEZZANI, Fabiane Machado and MIELNICZUK, João. **Uma visão sobre qualidade do solo.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2009, vol.33, n.4, pp. 743-755. ISSN 0100-0683.

VEZZANI, F.M et al. **Relações da qualidade do solo com a produtividade das culturas.** 2001.

VIBRANS, A. C. et al. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Floresta ombrófila mista.** Blumenau: Edifurb, 2013. 440 p. ISBN 978-85-7114-332-6.

ANEXOS

Anexo 1: Análise da variância para os teores de carbono orgânico (CO) do solo

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	1796,14	449,03	14,13	< 0,0001
Prof	2	406,44	203,22	6,40	0,005
Sistema x prof	8	372,37	46,54	1,47	0,214
Rep	2	125,06	62,53	1,97	0,158
Erro	28	889,64	31,77		
Total	44	3589,64			
CV (%)	30,18				
r ²	0,75				

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nota: GL = graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Pr > F = nível de significância estatística.

Anexo 2: Análise da variância para os teores de Argila do solo (Arg).

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	569448,12	142362,03	18,92	< 0,0001
Prof	2	15875,05	7937,52	1,05	0,361
Sistema x prof	8	68914,14	8614,26	1,14	0,365
Rep	2	1146,57	573,28	0,08	0,926
Erro	28	210733,54	7526,19		
Total	44	866117,44			
CV (%)	26,03				
r ²	0,75				

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nota: GL = graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Pr > F = nível de significância estatística.

Anexo 3: Análise da variância para os teores densidade do solo (Ds)

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	0,82	0,20	21,57	< 0,0001
Prof	2	0,13	0,06	7,14	0,003
Sistema x prof	8	0,03	0,00	0,50	0,848
Rep	2	0,01	0,00	0,90	0,417
Erro	28	0,26	0,00		
Total	44	1,29			
CV (%)	7,43				
r ²	0,79				

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nota: GL = graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Pr > F = nível de significância estatística.

Anexo 4: Análise da variância para Resistencia a penetração do solo (RP).

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	22,30	5,57	46,39	< 0,0001
Prof	2	32,72	16,36	136,17	< 0,0001
Sistema x prof	8	6,15	0,76	6,40	< 0,0001
Rep	2	0,06	0,03	0,26	0,7751
Erro	28	3,36	0,12		
Total	44	64,60			
CV (%)	15,05				
r ²	0,94				

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nota: GL = graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Pr > F = nível de significância estatística.

Anexo 5: Análise da variância para valores de Porosidade total (Pt)

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	0,26	0,06	8,12	0,000
Prof	2	0,03	0,01	2,10	0,141
Sistema x prof	8	0,04	0,00	0,65	0,729
Rep	2	0,00	0,00	0,11	0,895
Erro	28	0,22	0,00		
Total	44	0,563			
CV (%)	19,29				
r ²	0,60				

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nota: GL = graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Pr > F = nível de significância estatística.

Anexo 6: Condutividade hidráulica do solo nos diferentes sistemas de manejo e profundidades estudadas

Profundidade	MN	SPDR	SPDA	FP	PAST
0 a 5 (1)	1068,2	44,23	223,9	145,7	214,9
5 a 10 (2)	1864,0	247,5	50,9	136,2	47,0
10 a 20 (3)	1684,7	146,7	45,2	200,2	35,9

MN- mata nativa; FP- Floresta plantada; PAST- pastagem; SPDR- sistema plantio direto recente; SPDA- sistema plantio direto antigo. Fonte: Elaborada pelo autor, 2015.

Anexo 7: Análise da variância para valores de Condutividade hidráulica (Ksat)

Fator	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Sistema	4	14354045	3588511,2	16,70	< 0,0001
Prof	2	129545,5	64822,7	0,30	0,742
Sistema x prof	8	1107391,3	138423,9	0,64	0,734
Rep	2	205094,9	102547,4	0,48	0,625
Erro	28	6017180,6	214899,3		
Total	44	21813357,4			
CV (%)	112,96				
r ²	0,72				

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Nota: GL = graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F = F calculado; Pr > F = nível de significância estatística.