

**KRISTIANA FIORENTIN DOS SANTOS**

**DETERMINAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS E DO CARBONO  
ORGÂNICO DO SOLO EM DIFERENTES TIPOS DE USO DA  
TERRA NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências  
Agroveterinárias da Universidade do Estado de  
Santa Catarina, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre em Ciência do  
Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa

Coorientador: Prof. Dr. Ildegardis Bertol

Prof. Dr. Álvaro Luís Mafra

**LAGES - SC  
2014**

M115a

Santos, Kristiana Fiorentin dos

Determinação de atributos físicos e do carbono orgânico do solo em diferentes tipos de uso da terra no Planalto Sul Catarinense/Kristiana Fiorentin dos Santos. -Lages, 2014.

88p. : il. ; 21 cm

Orientador: Fabrício Tondello Barbosa

Coorientador: Ildegardis Bertol

Coorientador: Álvaro Luís Mafra

Bibliografia: p. 66-77

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de

Santa Catarina, Centro de Ciências

Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

1. Qualidade do solo. 2. Indicadores de qualidade.

3. Características do solo. 4. Infiltração de água.

I. Santos, Kristiana Fiorentin dos. II. Barbosa, Fabrício Tondello. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

CDD: 631.43 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

**KRISTIANA FIORENTIN DOS SANTOS**

**DETERMINAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS E DO CARBONO  
ORGÂNICO DO SOLO EM DIFERENTES TIPOS DE USO DA  
TERRA NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina.

**Banca Examinadora:**

Orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ildegardis Bertol  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rodrigo Vieira Luciano  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Luciane Costa de Oliveira  
Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

**Lages, 21 de fevereiro de 2014**



Dedico esta dissertação a minha mãe, Sirlei Fiorentin dos Santos, que sempre me estimulou na busca dos meus sonhos. Ela com muita sabedoria me encorajou nas horas difíceis e me aplaudiu nos momentos de glória. Obrigada.



## AGRADECIMENTOS

A presente dissertação marca o fim de uma importante etapa da minha vida. Gostaria de agradecer a todos que contribuíram para a sua concretização.

Especialmente, meu orientador professor Dr. Fabrício Tondello Barbosa, por acreditar em mim, pela sua dedicação, incentivo e excelente orientação.

Os meus coorientadores, professor Dr. Ildegardis Bertol e Dr. Álvaro Mafra pelo estímulo e conhecimentos transmitidos.

A minha presente e amada família.

Aos amigos que fizeram parte deste momento sempre me ajudando e incentivando.

Aos meus amigos e colegas de laboratório, em especial ao Romeu de Souza Werner, Neuro Hilton Wolchik, Josie Moraes Mota, Luran Museka, Amanda Amaro e Júlio César Ramos, que participaram diretamente deste trabalho e me ajudaram em todos os momentos.

A todos os colegas e professores da Pós-Graduação em Ciência do Solo pelo convívio e aprendizado.





“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luter King



## RESUMO

SANTOS, Kristiana Fiorentin dos. **Determinação de atributos físicos e do carbono orgânico do solo em diferentes tipos de uso da terra no Planalto Sul Catarinense.** 2014, 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Área de Manejo e Conservação do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

O estudo das modificações nos atributos físicos e no carbono do solo provocadas pelo uso e manejo possibilita adotar medidas que reduzam os riscos de futuros impactos. O objetivo do trabalho foi quantificar os atributos físicos e o carbono orgânico do solo em diferentes tipos de uso da terra, na região do Planalto Sul Catarinense. A pesquisa foi conduzida a campo, entre setembro de 2012 a abril de 2013, em Lages (SC), em uma propriedade rural com 1.200 ha. Foram selecionadas quatro áreas, sendo elas: a) floresta natural (FN); b) plantio de pinus (PP); c) integração lavoura-pecuária (ILP); e d) campo natural pastejado e queimado bianualmente (CNP). O delineamento utilizado foi o de levantamento amostral aleatório, com nove pontos amostrais para cada área. Foram coletadas amostras em quatro camadas de solo (0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm), onde foram determinadas a densidade do solo (Ds) e de partículas (Dp), a porosidade total (Pt), a macro e microporosidade (Ma e Mi), os bioporos (Bio), a resistência do solo à penetração (Rp), a granulometria do solo, o grau de floculação (Gf), o diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), o teor e estoque de carbono orgânico total (COT e EC) e a umidade gravimétrica (Ug). Diretamente no campo foram obtidas a taxa básica de infiltração de água (if) e a lâmina total de água infiltrada (I total). Na FN, a Ds e Rp foram menores, enquanto, a Pt e os COT e EC foram maiores do que os demais tipos de uso da terra. O uso florestal (FN e PP) se destacou com maior volume de Ma e Bio nas camadas superficiais do solo, em comparação aos demais usos. A infiltração de água no solo apresentou as diferenças mais marcantes entre os tipos de uso, tendo a if e a I total diminuindo na seguinte ordem: FN > PP > ILP > CNP. A Ds, Pt, Ma, Bio, Rp, Ug, if, I total, COT, argila e silte foram os atributos do solo que melhor se correlacionaram entre si.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo. Indicadores de qualidade. Características do solo. Infiltração de água.

## ABSTRACT

SANTOS, Kristiana Fiorentin dos. **Determination of physical properties and soil organic carbon in different types of land use in southern Santa Catarina , Brazil.** 2014, 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Área de Uso e Conservação do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2014.

The study of changes in physical properties and soil carbon caused by the use and management enables adopt measures that reduce the risk of future impacts. The objective of this study was to quantify the physical attributes and soil organic carbon in different types of land use in southern Santa Catarina. The research was conducted in the field from September 2012 to April 2013 in Lages - SC, Brazil, on a farm with 1.200 ha. Four areas were selected: i) natural forest (NF), ii) planting of pine (PP), iii) crop-livestock integration (CLI); iv) natural pasture burned biennially (NPB). The design was a random sample survey, with nine sampling points for each area. Samples were collected in four soil layers (0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm), which were determined bulk density (BD), particle density (BP), total porosity (TP), macroporosity and microporosity (Ma and Mi), biopores (Bio), resistance to penetration (RP), soil particle size (PS), degree of flocculation (DF), mean weight geometric of aggregates (MWG), the levels and storage of organic carbon (OC and SOC) and gravimetric moisture (GM). Directly in the field were obtained the basic infiltration rate of water (BI) and total height of infiltrated water (I<sub>total</sub>). In the FN, the BD and RP were lower, while the TP, OC and SOC were higher than other types of land use. The forest uses (NF and PP) stood out with greater Ma and Bio in the topsoil, compared to other uses. The water infiltration into the soil showed the most striking differences between the types of use, where BI and I have the full decreasing in the following order: FN > PP > CLI > NPB. The BD, TP, Ma, Bio, RP, GM, BI, I total, OC, clay and silt were the soil properties that best correlated with each other.

**Keywords:** Soil quality. Quality indicators. Soil characteristics. Water infiltration.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grau de floculação, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	40
Figura 2 - Carbono orgânico total, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	42
Figura 3 - Estoque de carbono, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	44
Figura 4 - Estoque total de carbono orgânico na profundidade de 0-40 cm de solo, submetido a quatro modalidades de uso .....	45
Figura 5 - Diâmetro médio geométrico, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	47
Figura 6 - Densidade do solo, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	49
Figura 7 - Densidade de partículas, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	51
Figura 8 - Resistência do solo à penetração mecânica, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	53
Figura 9 - Porosidade total, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	55
Figura 10 - Macroporos, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	57
Figura 11 - Microporos, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	59

Figura 12 - Bioporos, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	61
Figura 13 - Taxa de infiltração de água no solo, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	63
Figura 14 - Infiltração acumulada de água no solo, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	64
Figura 15 - Umidade gravimétrica, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra .....	67



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Características químicas do solo nos diferentes tipos de uso da terra e camadas de solo ..... 33
- Tabela 2 - Valores médios e intervalos de confiança da argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ), silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e grau de flocculação (%) nas diferentes modalidades de uso e nas diferentes camadas solo ..... 38
- Tabela 3 – Taxa básica de infiltração de água no solo, taxa de infiltração inicial, coeficiente empírico da equação de Horton e lâmina total de água infiltrada no solo, em teste com duração de 120 minutos, nos diferentes tipos de uso ..... 65
- Tabela 4 - Correlação de Pearson entre os atributos do solo nos diferentes tipos de uso da terra ..... 68



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>22</b>
2.1 VEGETAÇÃO DO PLANALTO CATARINENSE .....	22
2.1.1 Considerações gerais .....	22
2.1.2 Campos .....	22
2.1.3 Floresta ombrófila mista .....	23
2.2 QUALIDADE DO SOLO .....	24
2.2.1 Indicadores de qualidade do solo .....	24
2.2.2 Uso da terra, manejo do solo e reflexos na qualidade do mesmo .....	28
<b>3 HIPÓTESES .....</b>	<b>31</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>31</b>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
5.1 ÁREA DE ESTUDO .....	31
5.2 TRATAMENTOS .....	32
5.3 COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO E DETERMINAÇÕES ....	34
5.4 ANÁLISE DOS DADOS .....	37
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
6.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E GRAU DE FLOCULAÇÃO	37
6.2 TEOR E ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL NO SOLO .....	41
6.3 ESTABILIDADE DE AGREGADOS .....	46
6.4 DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO MECÂNICA .....	48
6.5 POROSIDADE DO SOLO .....	54
6.6 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	62
6.7 CORRELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO .....	68

<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A adoção de sistemas de manejo do solo e de práticas conservacionistas que proporcionem alta produtividade e que contemplem a preservação ambiental é um desafio crescente no Brasil.

O conceito de qualidade do solo depende da amplitude de benefícios que ele presta à humanidade. A degradação do solo começa quando o ambiente natural é modificado por meio da remoção da vegetação, acentuando-se com o cultivo subsequente. Neste processo, alteram-se ciclos fundamentais, como o da matéria orgânica e nutrientes que diminuem e não são repostos na mesma dimensão de desgaste ao longo do tempo.

O uso e o cultivo intensivo do solo alteram suas propriedades físicas, químicas e biológicas, o que acarreta problemas de infiltração de água, erosão hídrica e crescimento das plantas, além de contribuir para a emissão de carbono para a atmosfera. Operações de manejo que envolvam movimento e/ou tráfego de máquinas e animais modificam propriedades estruturais do solo, alterando o ambiente de crescimento radicular. Na maioria destas situações, ocorre a degradação do solo, com reflexo nos principais indicadores relacionados à agregação e compactação. A ação do fogo, prática comum ainda nos dias atuais, provoca no solo uma série de alterações, sendo seus efeitos negativos superiores aos positivos.

A preocupação com as próximas gerações indica a necessidade de uma produção ecologicamente equilibrada, socialmente justa e economicamente viável. Portanto, o uso e o manejo adequado do solo é fundamental e deve fazer parte de qualquer sistema de produção sendo um poderoso instrumento na busca de uma agricultura sustentável. O grande desafio para manter boa qualidade do solo depende do planejamento de agroecossistemas que favoreçam o cultivo diversificado de plantas, a sustentabilidade ambiental e a manutenção da capacidade produtiva das terras. Por isso, é necessário o monitoramento de áreas agrícolas por meio de indicadores de qualidade do solo, os quais precisam ser integradores de processos e devem se relacionar claramente com as funções do solo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 VEGETAÇÃO DO PLANALTO CATARINENSE**

#### **2.1.1 Considerações gerais**

A vegetação típica do planalto catarinense é formada por campos que coexistem com a floresta ombrófila mista, cujas espécies constituem os capões e as matas de galeria. Por influência, principalmente da altitude, suporta o período frio, predominante, já que o período quente é reduzido ou quase ausente (IBGE, 2012).

#### **2.1.2 Campos**

Os campos do planalto das araucárias, também denominados campos de altitude, constitui um ecossistema natural com alta diversidade de espécies vegetais e animais (PILLAR, 2009). Sua maior área encontra-se no Rio Grande do Sul, e é mais restrita em Santa Catarina, ocorrendo especialmente em Lages, São Joaquim, Curitiba e arredores, finalizando numa estreita faixa no estado do Paraná, próximo a Curitiba e em Ponta Grossa (BRISTOT, 2001). A região dos campos de altitude é composta por mosaicos de campos entremeados por florestas. A transição entre estas duas formações é muitas vezes abrupta e o contato do campo com a floresta ocorre tanto em bordas de florestas contínuas, quanto em florestas ripárias ou em capões de mato (BOLDRINI et al., 2009).

Os campos de altitude apresentam uma vegetação típica de ambientes montano e alto-montano, com estrutura arbustiva e/ou herbácea que ocorre geralmente nos cumes litólicos de altitudes elevadas. A flora campestre é caracterizada por muitos endemismos, em nível específico. Muitas dessas espécies estão ameaçadas de extinção devido à conversão dos campos para diferentes usos (BOLDRINI et al., 2009). A diversidade edafoclimática sobre a qual estão assentados estes campos possibilita uma vegetação com características extremamente diferenciadas em termos de adaptação ao meio físico e também à desfolha (NABINGER et al., 1999). Boldrini et al. (2009), em levantamento realizado em 2002 na região, constataram que o número estimado de espécies nos campos era de 478, com maior representatividade da família Poaceae (180 espécies), seguida da Asteraceae (161 espécies) e da Fabaceae (53 espécies).

Estudo realizado por Lopes et al. (2010) em Vacaria, RS, apontou que nos campos de altitude a conversão de campo nativo para

outros usos foi, em média, de  $1,4 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$  no período entre 1960 a 1995, e de  $0,7 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$  entre 1996 a 2005. No período entre 1950 e 2005, aproximadamente 40 % dos campos foram convertidos em lavouras anuais e 2,3 % em pomares.

De acordo com Nabinger et al. (1999), os campos de altitude representam uma das principais riquezas do sul do Brasil, servindo de alicerce ao desenvolvimento econômico da região. Apesar disso, só recentemente a pesquisa tem adotado uma postura mais analítica e explicativa de seu funcionamento como um ecossistema. De acordo com Boldrini (2009), a região dos campos de altitude tem sofrido uma série de ameaças e alterações. Destaca-se o fogo utilizado para forçar o rebrote da vegetação para o pastejo de animais, selecionando espécies resistentes ao fogo e eliminando as suscetíveis; a inserção de culturas anuais e perenes que requerem altas doses de fungicidas e pesticidas; a substituição de campos naturais por sistemas de integração lavoura-pecuária, os quais geram impactos no solo e no ambiente. Entre os aspectos negativos, o mais comum é a compactação, proporcionada pelo pisoteio animal (VILELA et al., 2008). Outra ameaça é o florestamento com *Pinus taeda*, com intuito de atender a indústria madeireira e de celulose, mudando a fisionomia da região e trazendo consequências negativas para manutenção da biodiversidade. O monocultivo de pinus proporciona um ambiente uniforme, modifica a diversidade de substrato para a biota do solo, alterando, por sua vez, alguns atributos biológicos além de alterar a densidade e diversidade da fauna edáfica (BARRETA, 2003).

### 2.1.3 Floresta ombrófila mista

A floresta ombrófila mista, também denominada de mata de araucária ou pinheiral, é uma formação vegetal resultante da mistura de floras de origem austral-andina e afro-brasileira (VELOSO et al., 1991), sendo caracterizada pela presença da espécie *Araucaria angustifolia* e dos gêneros primitivos *Drymis* (Australásicos) e *Podocarpus* (Afroasiático) (VELOSO, 1991), composta por mais de 350 espécies (LEITE, 1994). Está espacialmente distribuída em uma região de clima subtropical, ocorrendo ao sul do trópico de capricórnio, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, com ocorrências isoladas nos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Embora a região de ocorrência seja delimitada pelo clima, provavelmente as geadas exercem papel seletivo para determinadas espécies, influenciando a vegetação (CASTELLA; BRITZ, 2004).

A floresta ombrófila mista é típica do planalto sul-brasileiro, e se apresenta variável em suas diferentes partes, sobretudo pelo aspecto topográfico e climático (REITZ; KLEIN, 1966), apresentando quatro sub-formações distintas: aluvial, em terraços antigos ao longo dos flúvios; submontana, entre 50 e 400 m de altitude; montana, entre 400 e 1000 m de altitude; e alto-montana, quando situada a mais de 1000 m de altitude (VELOSO et al., 1991). De acordo com Hueck (1972), nesta floresta estão situados as partes mais altas das montanhas do sul do Brasil, que se iniciam ao norte dos rios Vacacaí-Jacuí, no Rio Grande do Sul, e que abruptamente atingem altitudes médias de 600 a 800 m, com alguns lugares ultrapassando os 1000 m. De acordo com Leite e Klein (1990), a floresta ombrófila mista cobria originalmente 177.600 km<sup>2</sup>, estando reduzida a 20.000 km<sup>2</sup>. Castella e Britz (2004) mencionam que a primeira guerra mundial foi um dos fatores que impulsionaram a exploração da araucária, destruindo grande parte dos seus remanescentes. Nessa época, a madeira passou a abastecer o mercado brasileiro e argentino e, em virtude disso, multiplicaram-se serrarias em vários locais, a medida que se esgotavam as reservas de pinheiros mais próximos das ferrovias.

A falta de conhecimento sobre o manejo florestal fez com que o colonizador-madeireiro explorasse generalizadamente a *A. angustifolia* e outras madeiras nobres, como a *Ocotea porosa* e a *Cedrela fissilis*, sem se preocupar com sua reposição. As técnicas silviculturais hoje empregadas não eram conhecidas e os madeireiros pensavam que as reservas iriam durar centenas de anos (THOMÉ, 1995).

## 2.2 QUALIDADE DO SOLO

### 2.2.1 Indicadores de qualidade do solo

O estudo sobre a qualidade do solo intensificou-se a partir de 1990 quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para o ambiente, começou a debater sobre a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo neste cenário (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Segundo Doran (1997), qualidade do solo é a sua capacidade para funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos, ou seja, é a capacidade de o solo exercer suas funções na natureza.



As relações entre uso e manejo e a qualidade do solo podem ser avaliadas pelo efeito nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que interagem e podem proporcionar maior ou menor resistência aos processos de degradação (DORAN; PARKIN, 1994).

A qualidade do ponto de vista físico está associada ao solo que permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, córregos e subsuperfície; responde ao manejo e resiste à degradação; permite as trocas de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e possibilita o crescimento das raízes (REICHERT et al., 2003). Os principais indicadores físicos que têm sido utilizados são a textura, espessura (horizonte A; solum), densidade do solo, porosidade, resistência à penetração, capacidade de retenção de água, infiltração, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2012).

A textura do solo, ou seja, a distribuição do tamanho das partículas sólidas, compreendendo as frações areia, silte e argila, é uma propriedade intrínseca do solo, dependente das características do material originário e dos agentes naturais de formação (YODER, 1936). Dos inúmeros fatores que afetam a retenção de água no solo e sua disponibilidade às plantas, o principal é a granulometria, pois ela determina as proporções de poros em diferentes tamanhos. Quanto à erosão, a areia grossa e a argila são as frações que oferecem maior resistência. Em virtude de seu diâmetro, as areias apresentam uma massa maior, o que dificulta a ação da água, enquanto que as argilas, devido a sua coesão, principalmente quando combinadas a matéria orgânica formam agregados estáveis, que também oferecem resistência a ação da água (SALTON; MIELNICZUK, 1995).

A estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas sólidas na formação dos agregados. Um solo é considerado de boa qualidade estrutural quando está bem agregado, pois é fator primordial para melhorar a permeabilidade do solo à água, ocasionando melhores condições para aeração e penetração das raízes e, como consequência, aumenta a produtividade agrícola (CORREA, 2002). A estrutura também afeta a retenção de água, pois determina o arranjo das partículas que, por sua vez, determina a distribuição de poros. O manejo do solo e das culturas, incluindo espécies com diferentes sistemas radiculares, apresenta grande influência na estabilidade de agregados do solo. Os efeitos das plantas podem ser diretos ou indiretos, principalmente pela ação de proteção dos agregados superficiais, aporte de matéria orgânica

na superfície ou internamente ao solo pela ação do sistema radicular (REICHERT et al., 2003).

A densidade do solo, definida como o quociente de sua massa de sólidos por seu volume total (YODER, 1936), é afetada por práticas de manejo que alteram a estrutura, modificando propriedades físico-hídricas importantes, como a porosidade, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração das raízes (BERTOL, 1989). A avaliação da densidade do solo possibilita inferir sobre a estrutura, de modo que menor densidade pode indicar maior grau de estruturação do solo (ARATANI, 2008). De acordo com Hillel (1970), a densidade de solos arenosos é, em média,  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$  e, de solos argilosos, próximo a  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ . Já a densidade de partículas em solos minerais é em torno de  $2,6$  a  $2,7 \text{ g cm}^{-3}$ . No entanto, a presença de matéria orgânica pode diminuir esse valor. A densidade do solo é comumente utilizada para se avaliar o grau de compactação do solo, pois, com o aumento da densidade, os constituintes do solo se aproximam entre si e/ou as partículas menores ocupam os espaços vazios entre as maiores (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996).

A resistência à penetração das raízes é influenciada diretamente pela densidade, sendo útil na avaliação da qualidade física do solo, por permitir a identificação de valores potencialmente limitantes ao crescimento das raízes, além de possibilitar o estabelecimento de valores críticos de umidade e densidade do solo (IMHOFF et al., 2000). O aumento da resistência do solo à penetração pode causar efeitos prejudiciais ao sistema radicular das culturas, devido à estreita relação entre porosidade e crescimento radicular, com maior crescimento de raízes onde há maior número e continuidade de macroporos (ARATANI, 2008). Segundo Reichardt e Timm (2004), uma maneira prática de determinar a compactação do solo e avaliar a espessura e a profundidade de camadas adensadas é por meio de penetrômetros ou penetrógrafos, os quais se compõem de uma haste metálica com extremidade cônica que é introduzida no solo por movimento contínuo ou por impactos.

A porosidade é um atributo físico importante que deve ser considerado na avaliação da qualidade estrutural do solo (HILLEL, 1998). Ela corresponde à fração volumétrica do solo ocupada com ar e água, representando o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar (YODER, 1936). Os poros podem ser de diferentes classes de tamanho e, de acordo com a sua importância, a eles podem ser atribuídos diferentes processos. A drenagem por gravidade ocorre

preferencialmente em poros maiores do que 30  $\mu\text{m}$  de diâmetro, sendo que os pêlos radiculares e os microrganismos maiores podem crescer ou mover-se em poros maiores do que 10  $\mu\text{m}$ . Já os microrganismos menores podem explorar poros tão pequenos quanto 1  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Poros acima de 60  $\mu\text{m}$  podem ser vistos a olho nu, os quais apresentam grande importância para a rápida drenagem do solo e, conseqüentemente, na aeração (GARDNER et al., 1999). Aratani (2008) menciona que a quantidade de macroporos destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas. A porosidade de aeração deve ser superior a 0,10  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para permitir as trocas gasosas e o crescimento de raízes da maioria das culturas (TAYLOR; ASHCROFT, 1972).

De acordo com Hillel (1970), infiltração é o processo pelo qual a água entra no solo, através de sua superfície, verticalmente de cima para baixo. A infiltração de água é um dos indicadores que melhor refletem as condições físicas do solo, pelo fato de a qualidade estrutural do solo influenciar a distribuição do tamanho de poros, os quais determinam a capacidade de infiltração de água e o crescimento das raízes (ALVES; CABEDA, 1999). Este processo é de grande importância prática, pois a rapidez da infiltração determina o volume de água que escoará sobre a superfície, por ocasião das chuvas e, portanto, exerce influência sobre o processo de erosão (HILLEL, 1970). Segundo Panachuki (2003), quando alguns atributos físicos do solo são modificados pelas práticas de manejo, a taxa de infiltração de água no solo modifica-se também, o que pode ocasionar o aumento do escoamento superficial e conseqüentemente aumento das perdas de solo e de água, alterando o equilíbrio hidrológico natural do sistema. Valores de taxa de infiltração estável são imprescindíveis aos modelos utilizados na descrição de infiltração de água no solo, e também ao planejamento de sistemas de irrigação, drenagem e conservação do solo e da água.

Os indicadores químicos de qualidade do solo são, normalmente, agrupados em variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, a acidez, o conteúdo de nutrientes, elementos fitotóxicos e determinadas relações, como a saturação de bases e de alumínio (ARAÚJO et al., 2012). Segundo Primavezi (2002), matéria orgânica é toda substância morta no solo, que provenha de plantas, microrganismos e excreções animais da meso e macrofauna. A matéria orgânica é um dos melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas

(REICHERT et al., 2003). É considerada um dos principais agentes estruturantes do solo, sendo alta a correlação esperada entre esta e o índice de agregação (CAMPOS et al., 1995). Destaca-se, assim, o papel dos constituintes orgânicos na formação e estabilização de agregados, especialmente no solo sob vegetação natural e em sistemas de manejo do solo conservacionistas, pelo acúmulo de resíduos culturais em superfície e pela menor mobilização do solo (SILVA et al., 2006). Níveis adequados de matéria orgânica garantem a fertilidade do solo e minimizam o impacto da agricultura no ambiente por meio do sequestro de carbono, reduzindo a erosão do solo e preservando a biodiversidade (SIX et al., 2002). Embora o carbono orgânico não seja um nutriente para a planta, baixos valores podem afetar a produtividade em razão de seu efeito na estrutura, na disponibilidade de água para as plantas e no seu poder de tamponamento frente a presença de compostos muitas vezes tóxicos às plantas (GOMES; FILIZOLA, 2006).

Os indicadores biológicos, como a respiração e a biomassa microbiana do solo, o nitrogênio mineralizável, a atividade enzimática e o quociente metabólico, são importantes tanto no que se refere à ciclagem de nutrientes, como na estimativa da capacidade do solo para o crescimento vegetal (ARAÚJO et al., 2012). Segundo Reichert et al. (2003), na superfície do solo a atividade biológica pode aliviar os efeitos negativos da compactação, embora não ocorra o mesmo efeito em maiores profundidades.

### **2.2.2 Uso da terra, manejo do solo e reflexos na qualidade do mesmo**

Em virtude do aumento da população mundial de humanos e de animais, a demanda por recursos naturais tem aumentado cada vez mais, e cresce à medida que a sociedade evolui em termos tecnológicos. Os seres humanos vêm interagindo de forma complexa com a biosfera, modificando o ambiente natural, o que acarreta graves desequilíbrios ambientais em diversas regiões do planeta (NASCIMENTO, 2006).

As mudanças nos padrões de uso da terra e manejo do solo tem despertado interesse, dentro e fora do meio científico, devido ao acelerado processo de transformação e aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos. Em termos regionais, as questões ambientais relacionadas são a poluição do ar e da água, degradação do solo, desertificação, eutrofização de corpos d'água, acidificação, problemas de erosão, sedimentação, contaminação e perda da biodiversidade (AGUIAR, 2002).

A perda da qualidade do solo tem início com a remoção da vegetação natural e acentua-se com o cultivo, perdendo sedimentos minerais, orgânicos e nutrientes. Os nutrientes não são repostos na mesma proporção ao longo do tempo, chegando um momento em que inviabiliza a produção agrícola, caracterizando um estágio avançado da degradação (SOUZA; MELO, 2003).

A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade do solo (BERTOL et al., 2001). O cultivo do solo altera suas propriedades, especialmente quando comparado com a condição natural de campo ou florestas. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas com preparo intensivo do solo, as quais se manifestam na estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração de água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas (BERTOL et al., 2004). A mobilização mecânica altera a estrutura e a cobertura do solo, modificando seus atributos físicos e hídricos (UNGER; CASSEL, 1991).

O uso do solo de forma intensiva e a sua frequente exposição à ação direta do sol e das gotas de chuva promovem rápida degradação das propriedades físicas do solo (CARVALHO, 1999). Em solo mantido descoberto ou com cobertura reduzida, o impacto das gotas provoca a formação de crosta superficial e, o uso intensivo e inadequado de máquinas e implementos agrícolas em áreas cultivadas (PALADINI, 1989) e a compactação causada pelo pisoteio animal em pastagens, degradam a estrutura do solo (ALBUQUERQUE et al., 2001). A compactação pelo tráfego de máquinas agrícolas tem sido uma preocupação desde o início da mecanização na agricultura brasileira, pois é um dos fatores que mais influencia a sustentabilidade dos solos agrícolas, em virtude das modificações ocasionadas em algumas propriedades físicas (RICHART et al., 2005). A compactação está relacionada a altos valores de densidade do solo e baixos de porosidade total, conseqüentemente ocasiona dificuldade de penetração radicular e, até mesmo, de implementos agrícolas (REICHARDT; TIMM, 2004).

O fogo, utilizado em algumas formas de exploração do solo, pode ocasionar uma série de modificações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Nos atributos físicos, pode causar diminuição do volume de macroporos, do tamanho de agregados, da taxa de infiltração de água no solo e da umidade, aumento da resistência à penetração de raízes e da densidade do solo. Além disso, o solo torna-se mais vulnerável ao processo erosivo pela remoção de sua cobertura vegetal. Nos atributos químicos, a queima também reduz o aporte de

matéria orgânica e, conseqüentemente, altera o ciclo do carbono, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Quanto aos atributos biológicos, a ação do fogo diminui a disponibilidade de alimento para os microrganismos, diminuindo sobretudo a população da mesofauna do solo (REDIN et al., 2011).

Algumas mudanças na qualidade do solo ocorrem num período curto de tempo ou mesmo em uma simples prática de preparo, outras, apenas são visíveis ou mensuráveis com um manejo contínuo (VIEIRA, 1981). Entre os aspectos negativos do preparo intensivo pode-se destacar a redução da estrutura do solo, formação de camadas compactadas, aumento da taxa de decomposição de matéria orgânica e exposição do solo à chuva, intensificando a erosão hídrica (ALEGRE et al., 1991). Segundo Mendes e Reis-Júnior (2004), todos os fatores que afetam negativamente os microrganismos e promovem perdas de matéria orgânica provocam a deterioração das propriedades químicas e físicas do solo.

As mudanças de uso do solo contribuem para as emissões de carbono para a atmosfera nas situações de conversão de áreas florestais para outros usos da terra (agricultura, pastagens, assentamentos, entre outros), na produção agrícola e na pecuária. No entanto, o carbono pode ser absorvido através das atividades de reflorestamento, afetando os níveis líquidos de gases do efeito estufa. As emissões de gases de efeito estufa geradas pela produção agrícola são principalmente causadas por modificações nos estoques de carbono no solo e, em menor intensidade, por fertilizantes e resíduos, pelo cultivo de arroz irrigado de várzea, pela queima de resíduos agrícolas e pelo uso de combustíveis fósseis nas operações agrícolas (SOARES FILHO et al., 2010).

As principais estratégias para sequestrar carbono em áreas agrícolas ocorrem pela adoção de preparos conservacionistas, caracterizados pela redução na intensidade de mobilização e manutenção de resíduos na superfície do solo, pelo melhor manejo das culturas, caracterizado por fertilização equilibrada, controle de pragas, densidade de semeadura, incremento da atividade biológica e outras práticas agrônômicas que conduzem à obtenção de elevados rendimentos (AMADO, 2013).

Em virtude do que foi mencionado, inúmeras iniciativas tem ocorrido no sentido de entender os processos de mudanças de uso do solo e seus principais fatores determinantes, de diagnosticar regiões de maior incidência de mudanças e projetar áreas de risco em curto prazo, de prever a intensidade e/ou a localização das mudanças a médio e

longo prazo, e de analisar os impactos de tais mudanças (AGUIAR, 2002). Sendo assim, um dos primeiros passos para a manutenção da capacidade produtiva das terras, a recuperação de áreas degradadas e, conseqüentemente, preservação do ambiente, é realizar o planejamento de uso do solo em base conservacionista (SANTOS et al., 2012).

### **3 HIPÓTESES**

O solo, sob condição de uso de floresta natural, apresenta atributos físicos de melhor qualidade e maior teor e estoque de carbono orgânico do que sob as demais formas de uso da terra;

O aumento da intensidade de uso da terra degrada as propriedades físicas do solo, diminui o teor e o estoque de carbono orgânico e reduz a infiltração de água no solo.

### **4 OBJETIVOS**

Geral

Determinar os atributos físicos e o carbono orgânico do solo em diferentes tipos de uso da terra na região do Planalto Sul Catarinense.

Específicos

Avaliar a densidade, porosidade, resistência à penetração das raízes, estrutura e infiltração de água no solo, assim como quantificar o teor e o estoque de carbono orgânico do solo nas condições de uso da terra com floresta natural, campo natural pastejado, plantio de pinus e integração lavoura-pecuária, no Planalto Sul Catarinense.

### **5 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **5.1 ÁREA DE ESTUDO**

O trabalho foi realizado com dados coletados em uma propriedade rural, no município de Capão Alto, SC, localizada entre as coordenadas de 27°55' a 27°57'S e de 50°25' a 50°29'W. O clima do local, segundo a classificação de Köppen (1938), é mesotérmico úmido com verão fresco (Cfb), tendo temperatura média de 14°C e altitude média de 1.022 m (SANTA CATARINA, 2012). O solo

predominantemente no local é um Nitossolo Bruno (EMBRAPA, 2004), derivado de basalto da formação Serra Geral.

A área da fazenda é de 1.200 ha, e atualmente é explorada com diferentes tipos de uso da terra. Sua paisagem original era campo natural entremeado pela floresta ombrófila mista, rica em espécies nativas, com predomínio da *Araucaria angustifolia*. Atualmente existem apenas resquícios de floresta natural e o campo natural foi ocupado por pinus em monocultivo, por pecuária extensiva e por lavouras em sucessão integrada com pecuária.

## 5.2 TRATAMENTOS

O experimento constituiu-se na avaliação de quatro tipos de uso da terra a seguir descritos:

a) floresta natural (FN), classificada como floresta ombrófila mista, com presença da espécie *Araucaria angustifolia*. Para este tratamento foi selecionada área de difícil acesso, nas quais a interferência antrópica e de animais era minimizada;

b) floresta de *Pinus taeda* plantada (PP), com idade entre 8 a 10 anos, sendo este o primeiro ciclo de cultivo. Anteriormente esta área era ocupada por campo natural pastejado com bovinos.

c) lavoura integrada com pecuária (ILP). Esta área foi cultivada com espécies anuais agrícolas (sucessão feijão/milho) na primavera-verão e mantido sob pastejo (aveia/azevém) no outono-inverno onde o preparo do solo era convencional (1 aração + 2 gradagens) por 10 anos. Há 8 anos o cultivo anual vem sendo sob semeadura direta, sem o revolvimento do solo, com a sucessão milho/soja na primavera-verão e sob pastejo com aveia e azevém no outono-inverno. A calagem foi realizada no ano de 2009, com aplicação superficial de  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico.

d) campo natural pastejado com bovinos (CNP), na forma extensiva tradicional por mais de 70 anos. Neste tipo de uso, é realizada a queima do campo a cada dois anos, para provocar a renovação das pastagens ao final da estação de inverno.

As principais características químicas do solo nos tratamentos descritos constam na tabela 1.



Tabela 1 - Características químicas do solo nos diferentes tipos de uso da terra e camadas de solo.

Camada	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Al	CTC efetiva	CTC pH 7,0	Saturação (%)	Base Al S	P Mehl ich	Na	K
cm	1:1	..cmolc dm <sup>-3</sup> ..					Al	S	....mg/dm <sup>3</sup> ....		
<b>Floresta natural</b>											
0-5	5,2	3,6	1,8	0,7	6,2	15,3	10,6	36,5	1,2	20	86
5-10	5,3	3,6	1,9	0,6	6,2	13,4	8,8	42,4	0,9	25	53
10-20	5,2	3,6	1,7	0,7	6,0	15,1	10,8	35,6	0,7	22	42
20-40	5,1	3,3	0,1	1,2	4,5	17,1	25,6	19,8	0,9	21	37
<b>Plantio de pinus</b>											
0-5	4,9	3,9	2,6	1,9	8,5	20,4	21,7	32,8	1,9	23	64
5-10	4,9	3,5	2,8	2,8	9,2	21,8	30,0	29,4	0,9	26	52
10-20	4,2	1,9	1,6	3,2	6,8	20,9	46,7	17,4	0,9	25	51
20-40	5,1	2,2	1,4	3,1	6,8	19,2	45,0	19,7	1,0	23	37
<b>Integração lavoura - pecuária</b>											
0-5	5,0	3,6	2,1	4,1	10,5	15,1	38,8	42,5	6,0	41	264
5-10	4,9	2,8	1,3	3,8	8,1	16,6	46,9	25,9	2,9	30	85
10-20	4,7	2,1	1,5	3,4	7,2	21,1	47,8	17,8	0,9	27	51
20-40	4,6	2,0	1,3	2,2	5,6	25,2	39,0	13,6	0,9	16	36
<b>Campo natural pastejado</b>											
0-5	4,8	2,4	1,6	4,1	8,5	19,8	47,7	22,4	1,0	44	201
5-10	4,8	2,0	1,3	3,1	6,7	20,9	46,6	17,1	0,9	40	113
10-20	4,9	2,9	1,6	1,0	5,8	26,6	17,2	18,0	0,9	27	103
20-40	4,8	2,5	1,3	0,7	4,6	21,3	14,7	18,6	0,8	38	63

Fonte: Produção do próprio autor

### 5.3 COLETA DE AMOSTRAS DO SOLO E DETERMINAÇÕES

A definição dos pontos de coleta a campo foi realizada por meio de levantamento amostral ao acaso, com nove pontos amostrais por tipo de uso, sendo as coletas realizadas entre setembro de 2012 a abril de 2013. Para diminuir a interferência da variabilidade do ambiente, os pontos de coleta foram previamente definidos por gradagem aleatória nos locais onde a profundidade do solo (horizonte A+B) foi superior a 1 m. Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em anéis volumétricos metálicos com bordas cortantes, em quatro camadas do solo (0-5; 5-10; 10-20; e 20-40 cm). Nestas, foram determinadas a densidade do solo ( $D_s$ ), a porosidade total ( $P_t$ ), a macroporosidade ( $M_a$ ), a microporosidade ( $M_i$ ), o volume de bioporos ( $B_i$ ) e a resistência do solo a penetração mecânica ( $R_p$ ).

A  $D_s$  foi calculada após secagem do material em estufa regulada a temperatura de 105 °C, por período de 24 horas, por meio da seguinte expressão:

$$D_s = M_s/V$$

Onde:  $M_s$ = massa de solo seco (kg);  $V$ = volume do anel ( $dm^3$ ).

A  $P_t$  foi calculada pela relação entre a densidade do solo e a de partículas, segundo a expressão:

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

Onde:  $D_s$ = Densidade do solo ( $kg\ dm^{-3}$ );  $D_p$ = Densidade de partículas ( $kg\ dm^{-3}$ ).

A  $M_i$  foi determinada em mesa de tensão de areia com sucção de 6 kPa, conforme expressão:

$$M_i (m^3m^{-3}) = \frac{(m_{S60} - m_{SS})}{V}$$

Onde:  $m_{S60}$ = massa do solo a 6 kPa de sucção (kg);  $m_{SS}$ = massa do solo seco a 105°C (kg);  $V$  = volume do anel ( $dm^3$ ).

A  $M_a$  foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade, segundo a expressão:

$$M_a(m^3 m^{-3}) = P_t - M_i$$

Onde:  $P_t$  = Porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ );  $M_i$  = microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ).

Todas as metodologias acima descritas constam em Embrapa (1997). O volume de bioporos foi quantificado em mesa de tensão de areia com sucção de 1 kPa, de acordo com o método de Reinert e Reichert (2006), conforme expressão:

$$Bio (m^3 m^{-3}) = \frac{m_{Ssat} - m_{S10}}{V}$$

Onde:  $m_{Ssat}$  = massa do solo saturado (kg);  $m_{S10}$  = massa do solo a 1kPa de sucção (kg);  $V$  = volume do anel ( $dm^3$ ).

A resistência do solo à penetração mecânica foi determinada em laboratório, com auxílio de um penetrômetro estático de bancada, o qual apresentava uma haste de 4 mm de diâmetro que era introduzida no solo a uma velocidade de  $30 \text{ mm min}^{-1}$ , após as amostras serem retiradas da mesa de tensão de areia a sucção de 10 kPa (umidade na capacidade de campo).

Amostras do solo com estrutura não preservada foram coletadas, nas mesmas camadas descritas anteriormente, com o auxílio de uma pá de corte. Posteriormente, estas foram secas, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura, onde foi determinada a densidade de partículas do solo (método do balão volumétrico), a granulometria do solo (argila, silte e areia) e o grau de floculação seguindo as metodologias descritas em Embrapa (1997).

A estabilidade de agregados em água, expressa pelo índice de diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG), foi realizada após separação dos agregados maiores em agregados menores por um conjunto de peneiras com malhas de 8 e 4,76 mm. Posteriormente, estes foram fracionados por meio de um conjunto de peneiras de 4,76; 2; 1; e 0,25 mm de abertura de malha, por meio de agitação submersa em água. O material foi seco em estufa a  $105^\circ\text{C}$  e determinada sua massa conforme Yoder (1936), descrita pela equação abaixo:

$$DMG = EXP \sum_{i=1}^n \left( \frac{AGRi * Ln * ci}{TAGR} \right)$$

Onde: AGRi representa a massa de agregados em cada classe (g); TAGR é a massa de agregados da amostra inicial (g); ci é o diâmetro médio da classe de agregados i (mm); Ln é o logaritmo neperiano.

O teor de carbono orgânico total do solo foi determinado por meio de digestão sulfocrômica das amostras (método de Walkley Black), descrita em Tedesco et al. (1995). O estoque de carbono orgânico do solo (EC) foi calculado segundo Machado (2005), pela expressão:

$$EC = (Ds * COT * p)/10$$

Onde: Ds é a densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>); COT é o carbono orgânico total (g kg<sup>-1</sup>); p é a profundidade de solo considerada (cm).

A infiltração de água no solo foi avaliada em campo durante o tempo de duas horas, até atingir leitura constante, utilizando-se cilíndricos concêntricos com carga hidráulica variável, conforme método descrito por Forsythe (1975). Imediatamente antes do início do teste, foram coletadas amostras de solo até a profundidade de 0,4 m para determinação da umidade gravimétrica do solo (Ug), conforme Embrapa (1997). Por meio do teste, foram obtidos os parâmetros hidrológicos taxa básica de infiltração de água no solo (if), representada pela velocidade de infiltração de água ao final do teste, em solo encharcado, e lâmina total de água infiltrada (I total), representada pelo somatório da lâmina infiltrada do início ao final do teste.

Posteriormente, com os dados obtidos em campo, foram geradas equações para estimar a taxa de infiltração instantânea de água no solo (i) e a infiltração acumulada de água (I) em função do tempo (t), utilizando o modelo de Horton (BRANDÃO et al., 2010), expresso por:

$$i = if + (i_0 - if) * e^{-\beta t}$$

$$I = if t + \frac{(i_0 - if)}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$

Em que:  $i$  = taxa instantânea de infiltração ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $i_f$  = taxa básica de infiltração de água no solo ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $i_0$  = taxa de infiltração inicial ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $t$  = tempo percorrido (min);  $\beta$  = constante que depende do tipo de solo e condição de umidade inicial.

#### 5.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva (médias dos pontos amostrados) e do intervalo de confiança das médias (IC) ao nível de 10 % de probabilidade de erro. Além disso, correlações entre atributos do solo foram realizadas utilizando o modelo de correlação linear de Pearson.

### 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 6.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E GRAU DE FLOCULAÇÃO

Os valores médios e intervalos de confiança da análise granulométrica e do grau de floculação (Gf) são apresentados na Tabela 2. Os teores de areia, silte, argila e Gf apresentaram diferença entre os tipos de uso da terra.

Tabela 2 - Valores médios e intervalos de confiança da argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ), silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e grau de floculação (%) nas diferentes modalidades de uso e nas diferentes camadas.

Camada (cm)	FN	PP	ILP	CNP
<b>Areia (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>				
0 a 5	62± 21	55 ± 14	54 ± 16	63 ± 12
5 a 10	61± 20	59 ± 17	46 ± 8	65 ± 31
10 a 20	50± 16	45 ± 10	38 ± 10	40 ± 9
20 a 40	52± 17	41 ± 8	33 ± 6	47 ± 9
<b>Silte (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>				
0 a 5	572 ± 28	411 ± 61	345 ± 24	362 ± 19
5 a 10	536 ± 35	408 ± 76	338 ± 26	331 ± 29
10 a 20	497 ± 69	388 ± 74	331 ± 19	387 ± 43
20 a 40	464 ± 62	334 ± 44	271 ± 22	273 ± 46
<b>Argila (<math>\text{g kg}^{-1}</math>)</b>				
0 a 5	366 ± 33	534 ± 60	601 ± 24	575 ± 19
5 a 10	403 ± 36	533 ± 76	616 ± 24	604 ± 17
10 a 20	453± 70	567 ± 77	631 ± 24	573 ± 38
20 a 40	484± 61	625 ± 44	696 ± 21	680 ± 42
<b>Grau de floculação (%)</b>				
0-5	63 ± 7	55 ± 4	67 ± 3	60 ± 4
5 a 10	59 ± 3	60 ± 4	66 ± 2	60 ± 4
10 a 20	56 ± 5	59 ± 5	63 ± 2	57 ± 7
20-40	52 ± 6	69 ± 8	69 ± 3	66 ± 7

FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Média ± intervalo de confiança ao nível de 10 % de probabilidade de erro. Fonte: Produção do próprio autor

Os teores de areia variaram de 50 a 62  $\text{g kg}^{-1}$  na FN; de 41 a 59  $\text{g kg}^{-1}$  no PP; de 33 a 54  $\text{g kg}^{-1}$  na ILP e de 41 a 65  $\text{g kg}^{-1}$  no CNP (Tabela 2). No geral, os valores apresentaram pequena variação entre os tipos de uso da terra, sendo o intervalo de confiança (IC) similar entre eles, com exceção da ILP e do CNP para a camada de 20-40 cm. Na

profundidade também foi constatada uma diminuição dos teores de areia com o aumento da profundidade, exceto na camada de 10-20 cm do CNP.

Os maiores teores de silte foram encontrados na FN (Tabela 2), em todas as camadas avaliadas, sem afinidade com outro tipo de uso, com exceção do PP e CNP na profundidade de 10-20 cm.

Os teores de argila variaram de 366 a 484 g kg<sup>-1</sup> na FN; de 533 a 626 g kg<sup>-1</sup> no PP; de 601 a 696 g kg<sup>-1</sup> na ILP e de 575 a 680 g kg<sup>-1</sup> no CNP (Tabela 2). Os maiores teores de argila, em todas as camadas, foram encontrados na ILP, sendo os menores na FN, sem similaridade com nenhuma outra modalidade de uso através do intervalo de confiança (IC), com exceção do PP na camada de 10-20 cm. Na média das camadas, o teor de argila foi 24,3 % menor na FN em relação aos demais usos e, no geral, aumentou em profundidade para todos os tipos de uso, o que também ocorreu em estudos de Mota et al. (2013) e Silva Junior et al. (2013).

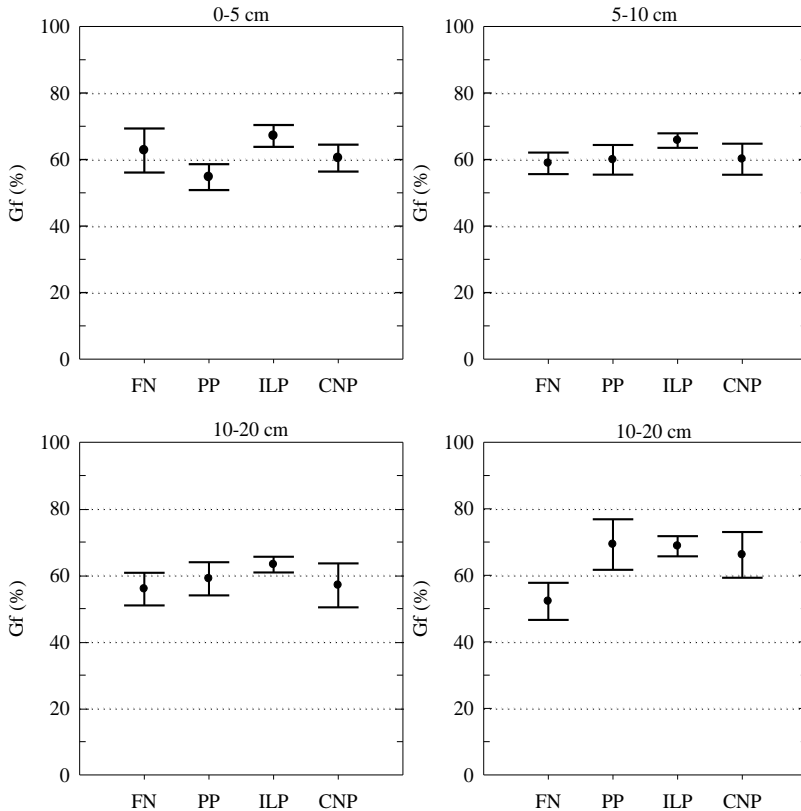
Segundo Ferreira et al. (2003), a granulometria é considerada uma característica estável no solo e dessa forma, não está sujeita a alterações em curto espaço de tempo ou em função de tipos de uso e manejo. No entanto, a erosão pode afetar a granulometria, ocasionando redução da capacidade produtiva do solo e perda de nutrientes (Bertol et al., 2003).

Segundo Boldrini (2009), estudos constataram que, por volta de seis mil anos atrás, houve a ocorrência de um período mais úmido na região sul do Brasil, o que possibilitou a melhor adaptação da floresta de araucária que avançou sobre os campos. Como a vegetação é um dos fatores de formação do solo, acredita-se que a floresta ombrófila mista pode ter influenciado a granulometria do solo nas áreas onde está localizada, ao longo destes milhares de anos.

Na figura 1 constam os resultados, em forma gráfica, referentes ao grau de floculação da argila (Gf) nos diferentes tipos de uso da terra. Na profundidade de 0-5 cm a ILP apresentou o mais alto valor de GF, superior ao PP. No entanto, ambos os tipos de uso foram similares aos demais. Na camada entre 5 e 20 cm, a ILP e a FN não apresentaram similaridade pelo IC, tendo a ILP valores maiores. Já na camada de 20-40 cm, todos os tipos de uso apresentaram resultados semelhantes, exceto a FN que apresentou valores baixos comparados aos demais. O menor Gf na FN pode estar relacionado aos maiores teores de silte e menores de argila. Já a ILP que se destacou com o maior Gf, teve os maiores teores de argila e os menores de areia, exceto na camada de 20-

40 cm, e os menores teores de silte, exceto na camada de 0-5 cm. No presente trabalho o Gf não foi considerado um bom indicador de qualidade física do solo, pois não apresentou bom desempenho em mostrar alterações decorrentes da adoção de diferentes tipos de uso da terra.

Figura 1 - Grau de floculação, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

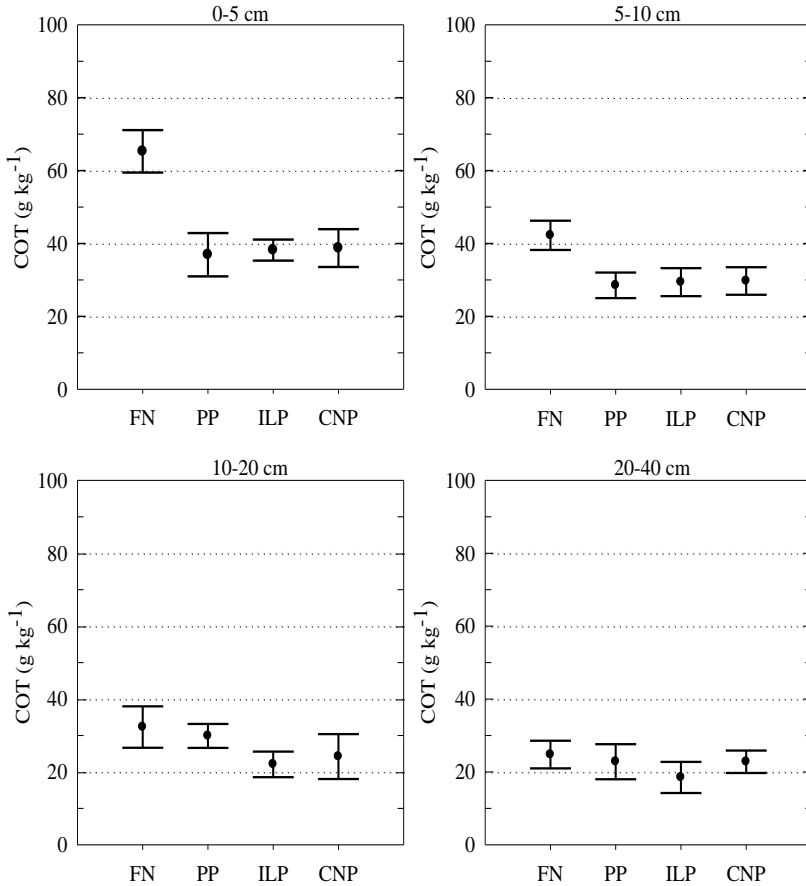


Prado e Natale (2003), estudando o grau de flocculação de um Latossolo Vermelho, verificaram que o maior Gf ocorreu na vegetação nativa, seguida do reflorestamento e do sistema de semeadura direta. No entanto, nas camadas superficiais (0 a 20 cm), o reflorestamento apresentou grau de flocculação semelhante à vegetação nativa.

## 6.2 TEOR E ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL NO SOLO

Os maiores teores de carbono orgânico total (COT) foram encontrados na FN até 10 cm de profundidade, enquanto, nas demais modalidades de uso os teores foram menores e semelhantes entre si (Figura 2 e Anexo 1). Coutinho et al. (2010), Teixeira (2010) e Hickmann e Costa (2012) também encontraram maiores teores de COT em floresta natural. Provavelmente, esta condição é oriunda do grande aporte de resíduos orgânicos e do natural não revolvimento do solo neste tipo de uso da terra.

Figura 2 - Carbono orgânico total, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



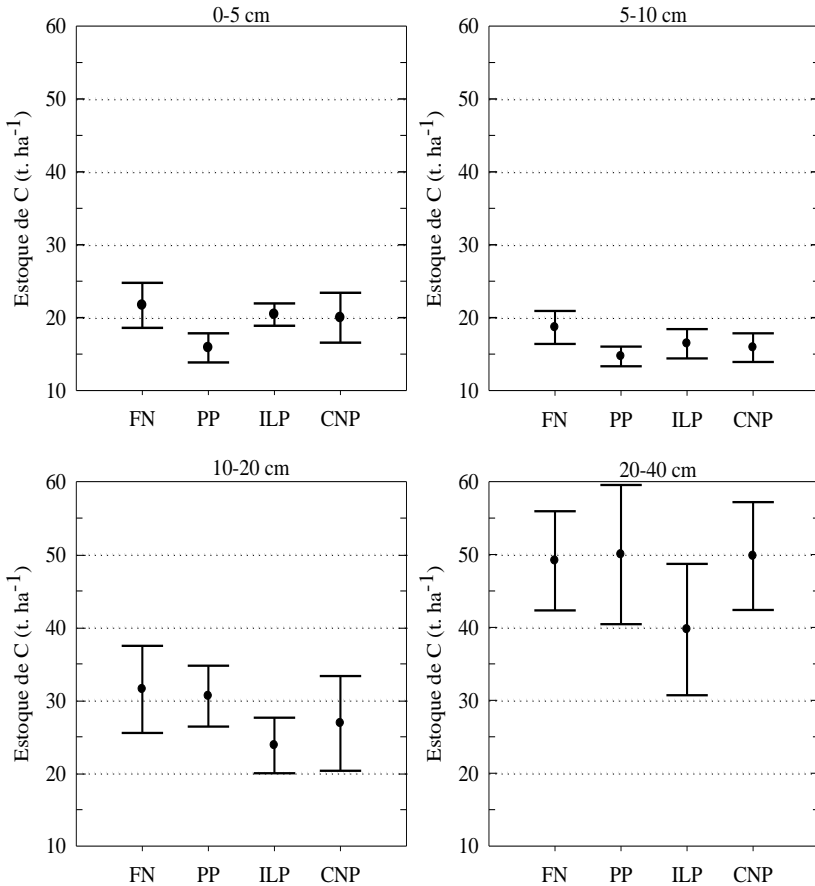
Fonte: Produção do próprio autor

Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, o COT foi respectivamente 1,7 e 1,4 vezes maior na FN em comparação à média dos demais tipos de uso, os quais apresentaram teores semelhantes entre si. Na profundidade de 10-20 cm, o uso florestal (FN e PP) se destacou, com teores de COT 34 % mais elevado que os demais usos, na média. Já na camada mais profunda (20-40 cm), os tipos de uso foram semelhantes. Martins et al. (1990), avaliando o efeito do desmatamento e do cultivo sobre características físicas do solo de uma floresta natural, observaram que, após cinco anos, ocorreu diminuição de 14 % no teor de carbono orgânico, sendo o efeito mais pronunciado nos primeiros dez centímetros do solo. Esta redução está associada às mudanças do microclima local que favorecem a mineralização dos compostos orgânicos e a não adição de resíduos em grande quantidade, como ocorre em condições naturais. Em trabalho de Corazza et al. (1999), Bertol et al. (2004) e Hickmann e Costa (2012), os autores verificaram que o acúmulo de carbono foi maior em sistemas com menor grau de perturbação do solo. Segundo Hickmann et al. (2012), o aumento da intensidade de uso da terra e de manejo do solo potencializa a sua degradação física, ocasionada principalmente pela perda de carbono orgânico, comparado à diminuição da intensidade de uso e manejo.

Os maiores teores de COT foram encontrados nas camadas mais superficiais do solo, diminuindo em profundidade (Figura 2), o que também ocorreu em estudos de Castro Filho et al. (2002) e Bertol et al. (2004).

Os maiores estoques de carbono orgânico foram encontrados na FN, na camada entre 0 a 10 cm, onde o PP apresentou os menores valores (Figura 3 e Anexo 1). Teixeira (2011) e Calonego (2012) também encontraram maiores estoques de carbono em mata nativa. Na camada de 10-20 cm, o uso florestal (FN e PP) apresentou os maiores estoques de COT, embora todas as formas de uso apresentaram semelhança conforme o IC. Este aumento pode ser devido ao efeito das raízes das espécies florestais, as quais agregam mais COT no solo. No entanto, na camada de 20-40 cm, todos os tipos de uso apresentaram-se semelhantes, com valor médio ligeiramente menor na ILP. De acordo com Mafra (2008), a floresta natural além de ter o potencial de armazenar carbono no solo, pode conter notável estoque desse elemento na parte aérea das árvores, o que, ao longo do tempo, pode interagir com o solo pela decomposição da serapilheira.

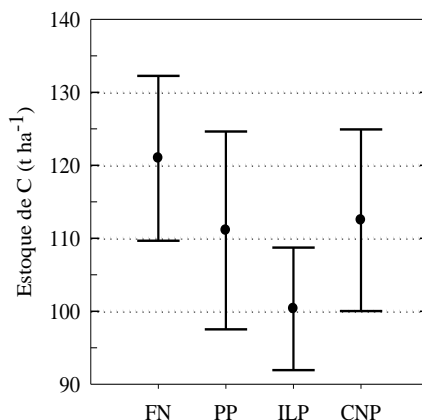
Figura 3 - Estoque de carbono, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

Ao avaliar o somatório de estoque de carbono orgânico até a profundidade amostrada de 40 cm, somente a FN e ILP apresentaram IC distintos, em virtude do alto valor de EC da FN e baixo da ILP, sendo os demais similares. O estoque foi de 121,0 t ha<sup>-1</sup> na FN; 111,1 t ha<sup>-1</sup> no PP; 100,3 t ha<sup>-1</sup> na ILP e 112,5 t ha<sup>-1</sup> no CNP (Figura 4 e Anexo 1). A FN estocou 8,9% mais carbono que o PP; 20,6% mais que a ILP e 7,6% mais que o CNP.

Figura 4 - Estoque total de carbono orgânico na profundidade de 0-40 cm de solo, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta ombrófila mista; PP – povoamento de pinus; ILP - integração lavoura pecuária e CNP - campo natural queimado bianualmente e pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

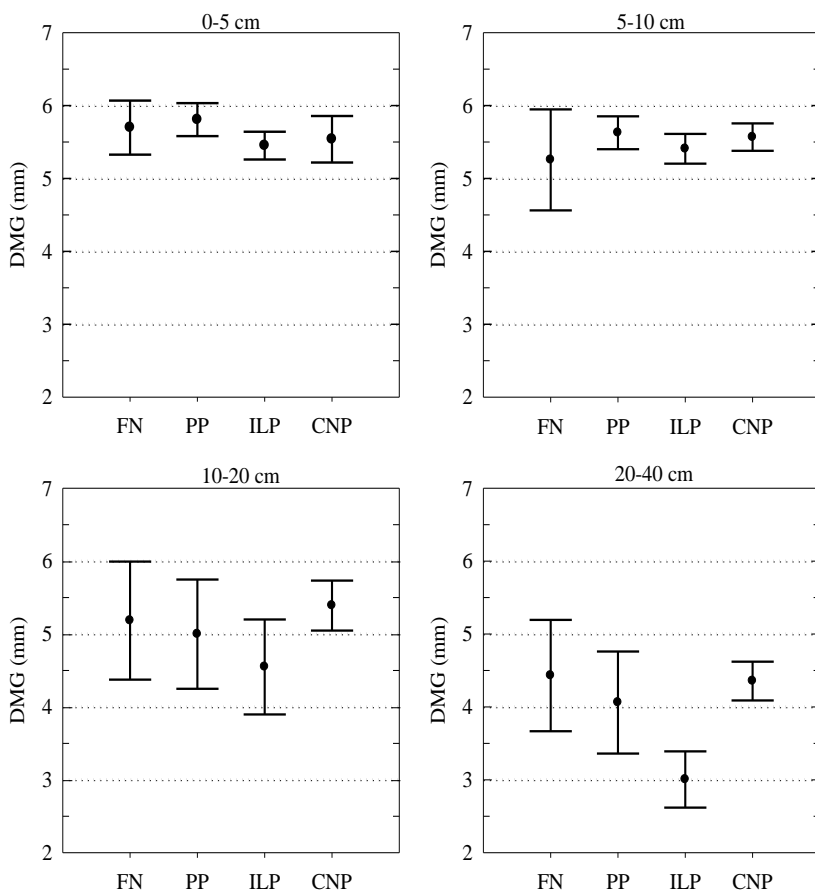
Segundo Calonego (2012), a intervenção humana com sistemas de cultivo e formas de manejo, reduz o estoque de carbono no solo a níveis inferiores aos da mata natural. Sandri (2009) observou na floresta natural maior estoque, seguida pela floresta de eucalipto e lavoura, indicando perdas de carbono ocorridas pelo aumento de intensidade de uso da terra. Por outro lado, Rangel e Silva (2007), encontraram maior estoque no plantio de eucalipto, seguido pela mata nativa e pastagem. Em estudo de Mafra et al. (2008), os mesmos constataram que

reflorestamentos com pinus e araucária mantiveram estoques de C orgânico na camada do solo de 0,0-0,4 m em níveis equivalentes aos de mata e campo natural. No entanto, no presente trabalho, o PP não aumentou o estoque a nível próximo ao da FN, em um período de 8 a 10 anos após o pinus ter sido implantado sobre o campo natural.

### 6.3 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

O diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) variou de 4,43 a 5,70 mm na FN; de 4,06 a 5,81 mm no PP; de 3,00 a 5,45 mm na ILP; e de 4,35 a 5,57 mm no CNP (Figura 5 e Anexo 2). Na camada de 0-20 cm, todos os tipos de uso da terra apresentaram semelhança considerando o IC. Já na profundidade de 20-40 cm, a ILP teve o valor mais baixo de DMG. Este comportamento pode ser atribuído à desagregação do solo quando submetido ao preparo convencional, o que consequentemente reduziu o estoque de carbono (Figura 3) e a estabilidade de agregados, comparada os demais tipos de uso. Martins (1990), estudando o efeito do desmatamento e do cultivo, nas características físicas do solo, salientou que a estabilidade de agregados é fortemente afetada pela retirada da vegetação e subsequente exposição do solo ao aquecimento do solo e ao impacto das gotas da chuva. Mota et al. (2013), avaliando a qualidade física de um Cambissolo, observou que, sob mata nativa, apresentou maior estabilidade de agregados quando comparado às áreas sob cultivo. Coutinho et al. (2010) e Rozane et al. (2010), também encontraram maior estabilidade de agregados em floresta natural. Salton et al. (2008), estudando a agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários evidenciaram que a pastagem permanente ou a rotação com lavoura em semeadura direta favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras.

Figura 5 – Diâmetro médio geométrico (DMG), em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

Em todos os tipos de uso da terra houve tendência de decréscimo do DMG do solo com o aumento da profundidade, o que pode ter ocorrido pela redução da matéria orgânica em camadas mais profundas.

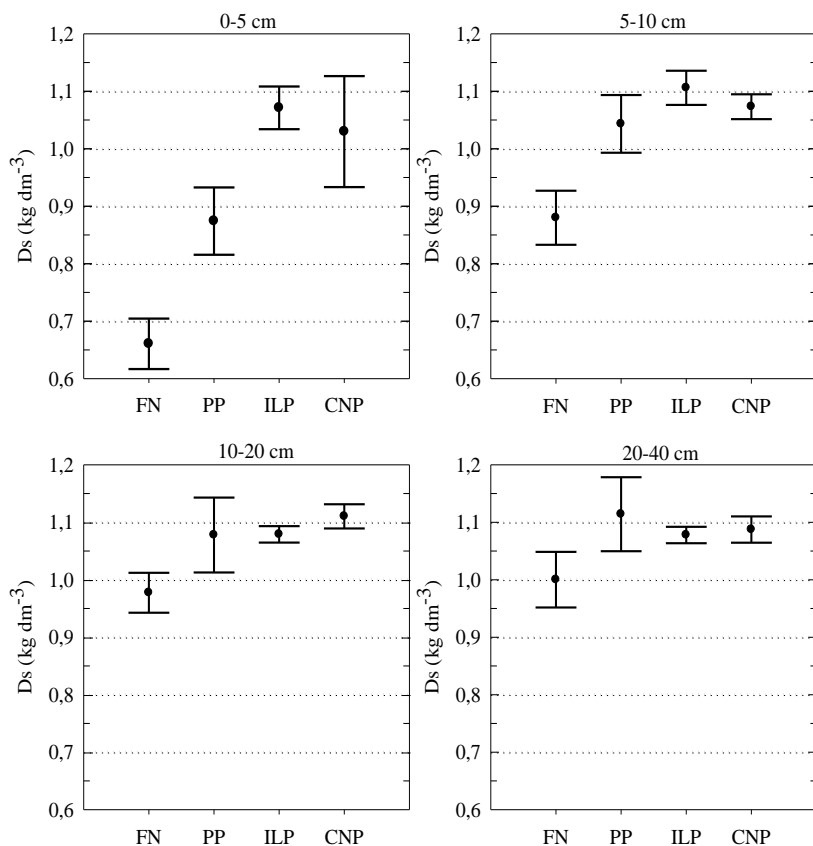
No geral, os resultados mostraram que o DMG variou pouco nos diferentes tipos de uso, o que indica que este índice não foi um bom indicador da qualidade física do solo para as condições desta pesquisa. De acordo com Demarqui et al. (2011), a agregação e estabilidade dos agregados do solo dependem de algumas de suas propriedades físicas e químicas, sobretudo da matéria orgânica, dos minerais de argila e dos óxidos de ferro e alumínio. Provavelmente, as condições naturais do solo (classe textural argilosa a muito argilosa, com altos teores de matéria orgânica e óxidos) exerceram maior influência na estabilidade de agregados do que o tipo de uso da terra.

#### 6.4 DENSIDADE DO SOLO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO MECÂNICA

De acordo com a Figura 6 e Anexo 3, observa-se que, os valores de densidade do solo variaram de 0,66 a 1,11 kg dm<sup>-3</sup>, sendo possível verificar uma tendência de aumento da densidade quando o solo foi submetido ao uso em relação ao seu estado natural. Isso mostra que o uso da terra para fins agro-silvo-pastoril, independentemente do sistema de manejo do solo, promove alterações nas propriedades físicas do mesmo. Costa et al. (2003), comparando solo sob condição de mata e de cultivo em diferentes sistemas de manejo, observaram incremento na densidade do solo em todas as camadas analisadas.



Figura 6 – Densidade do solo, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

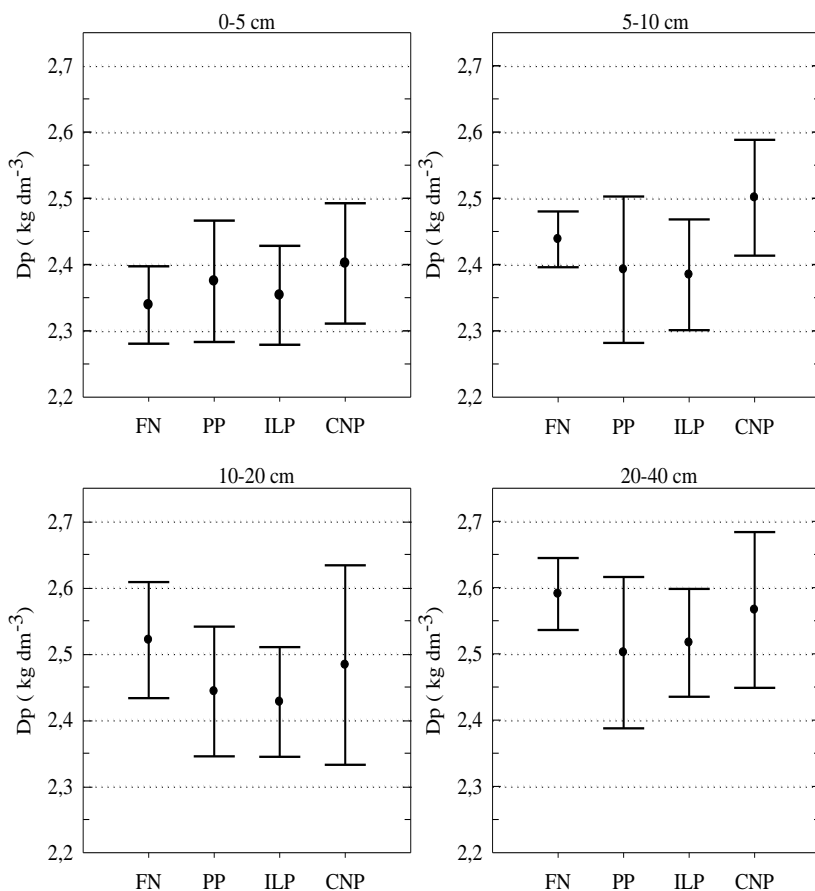
A FN apresentou os menores valores de densidade em todas as camadas (Figura 6), concordando com trabalhos de Cavenage et al. (1999), Beutler et al. (2002) e Matias et al. (2009). Este cenário é resultado da preservação das características naturais, pela quase que ausente intervenção antrópica e expressivo efeito da ação da matéria orgânica proveniente das raízes, da serrapilheira e da fauna do solo (DEMARQUI et al., 2011).

Menor densidade nas camadas superficiais foi observada em todos os tipos de uso da terra, sendo explicada pela maior quantidade de matéria orgânica e menor teor de argila no solo. Na camada de 0-10 cm, o PP apresentou densidade ligeiramente inferior ao ILP e CNP, embora maior que na FN. Já na camada de 10-40 cm a ILP, CNP e PP apresentaram valores de densidade semelhantes entre si.

Os maiores valores de densidade, na camada de 0-5 cm, foram encontrados na ILP e no CNP. Maior densidade em camadas superficiais em áreas sob integração lavoura-pecuária em comparação a outros tipos de uso também foi observada por Aratani et al. (2008), sendo atribuído ao tráfego de máquinas e animais sobre o solo. Segundo Correa e Reichardt (1995), solos de textura argilosa são muito suscetíveis ao aumento de densidade pela excessiva compressão causada por máquinas ou pisoteio animal. No CNP, o efeito residual da queima do campo pode ter potencializado a compactação, o que também foi evidenciado em trabalho de Trindade et al. (2012). Segundo este autor, a queima causa mineralização da matéria orgânica da camada superficial, a qual é importante para manutenção da estrutura do solo. Alia-se a isso o efeito negativo para a fauna do solo que, igualmente, auxilia na agregação do solo e melhora suas propriedades físicas.

A densidade de partículas (Dp) variou de 2,34 a 2,59 kg dm<sup>-3</sup>, apresentando valores próximos aos encontrados na literatura para solos minerais (Figura 7 e Anexo 3). O IC não diferiu nos diversos tipos de uso da terra, com pequeno aumento em profundidade, que provavelmente ocorreu devido à redução dos teores de carbono orgânico nas camadas mais profundas, o que também foi evidenciado em trabalho de Laurindo et al. (2009). Segundo Forsythe (1975), a determinação da densidade de partículas do solo é de grande relevância como indicativo da composição mineralógica, no cálculo da velocidade de sedimentação de partículas em líquidos e na determinação indireta da porosidade.

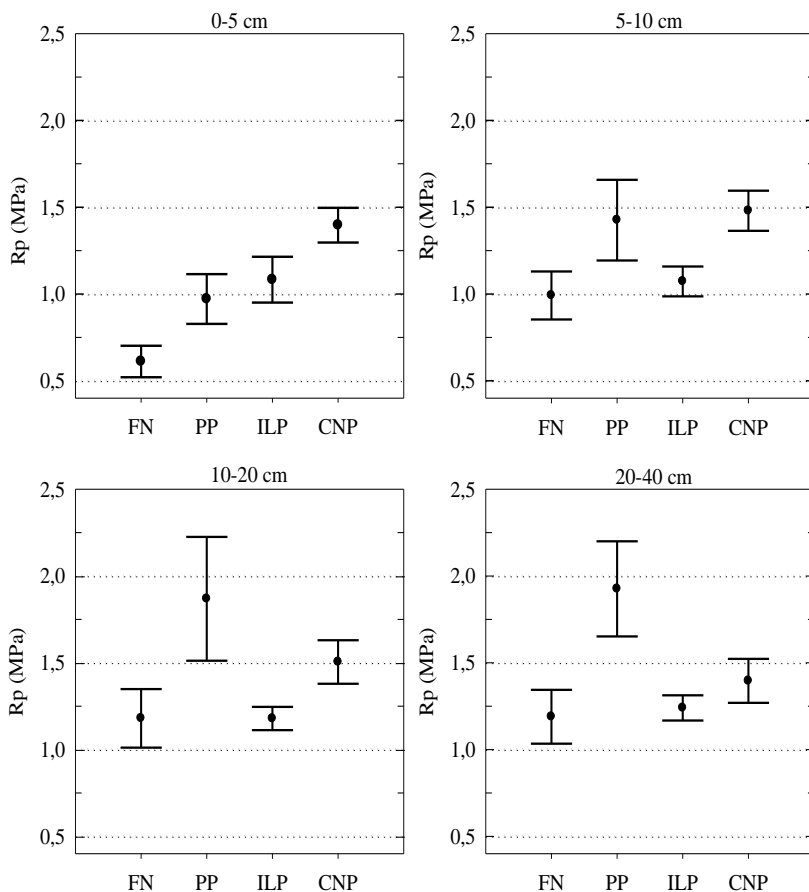
Figura 7 - Densidade de partículas, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

A resistência à penetração mecânica ( $R_p$ ) variou de 0,61 a 1,93 MPa (Figura 8 e Anexo 3). Os menores valores de  $R_p$  foram encontrados na FN em todas as camadas, concordando com trabalhos de Tormena et al. (2002) e Matias et al. (2009). Na camada de 0-5 e 5-10 cm o CNP se destacou pelos maiores valores de  $R_p$ , não apresentando afinidade através do IC com outro tipo de uso da terra na primeira camada do solo e semelhante ao PP na segunda camada. Senra et al. (2007) também encontraram maiores valores de  $R_p$  na camada de 0-5 cm em área de pastagem. Tais resultados podem ser explicados pela pressão exercida pelos animais no solo, agravado pelo uso do fogo a cada dois anos e pelo tempo de utilização do solo com pastejo que, foi mais de 70 anos. Na camada de 10-20 e 20-40 cm o PP teve destaque com os maiores valores de  $R_p$ . Solos florestais podem ser compactados tanto por fatores externos, como tráfego de veículos e crescimento de grandes raízes que pressionam as partículas de solo para forçar a passagem, como por fatores internos, resultantes de ciclos de umedecimento e secagem, além de fatores pedogenéticos derivados da evolução do solo que podem causar adensamento em camadas subsuperficiais (CAMARGO, 1997).

Figura 8 – Resistência do solo à penetração mecânica, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

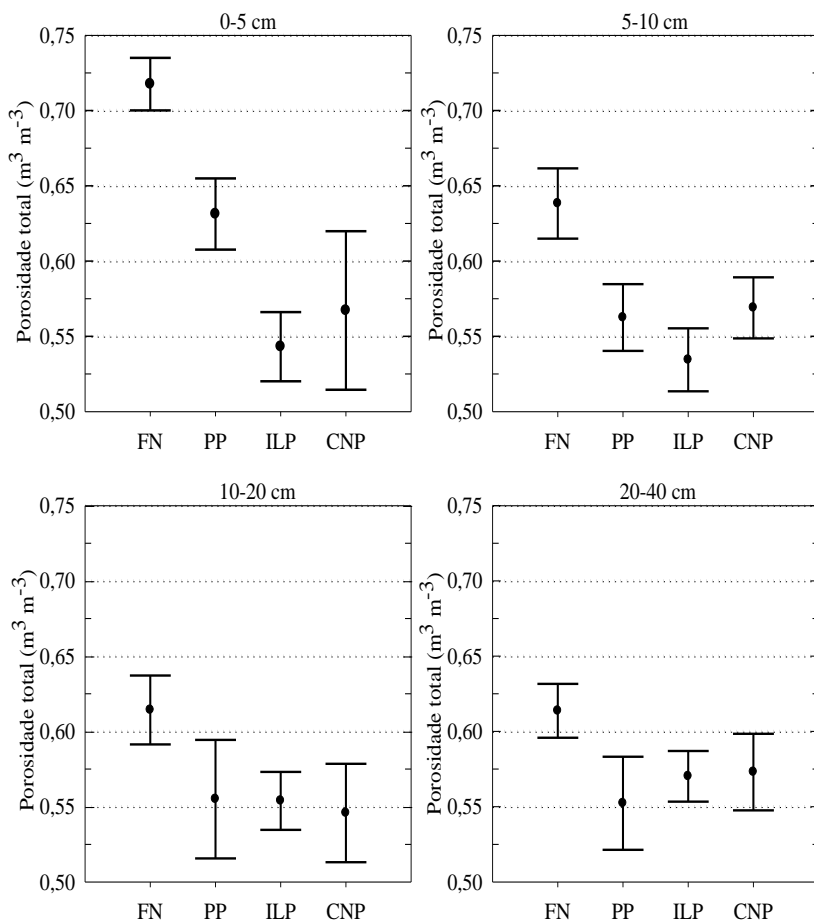
Para culturas agrícolas, solos cuja resistência possui valores acima de 2,0 MPa, o crescimento de raízes é limitado (ARSHAD et al., 1996). No entanto, os valores encontrados na ILP e CNP variaram de 1,07 a 1,50 MPa, estando abaixo do valor crítico de crescimento das raízes (Figura 8). A ILP apresentou valores de  $R_p$  menores em relação ao CNP, com exceção da camada de 20-40 cm. Isto se deve ao fato que a integração com lavoura e ausência de fogo pode preservar alguns atributos físicos do solo responsáveis pelo crescimento das plantas, em comparação com a atividade de pecuária tradicional onde o fogo foi usado. Observou-se também um aumento da  $R_p$  com o aumento da profundidade, para todos os tipos de uso, com exceção do CNP, na profundidade de 20-40 cm.

## 6.5 POROSIDADE DO SOLO

Os resultados referentes à porosidade do solo (porosidade total, macroporosidade, microporosidade e bioporos) apresentaram diferenças entre os tipos de uso da terra.

A porosidade total (Pt) variou de 0,53 a 0,72  $m^3 m^{-3}$  (Figura 9 e Anexo 4), tendo destaque os maiores valores na FN sobre os demais tipos de uso, o que também ocorreu em trabalhos de Demarqui et al. (2011), Trindade et al. (2012) e Calonego et al. (2012).

Figura 9 – Porosidade total, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



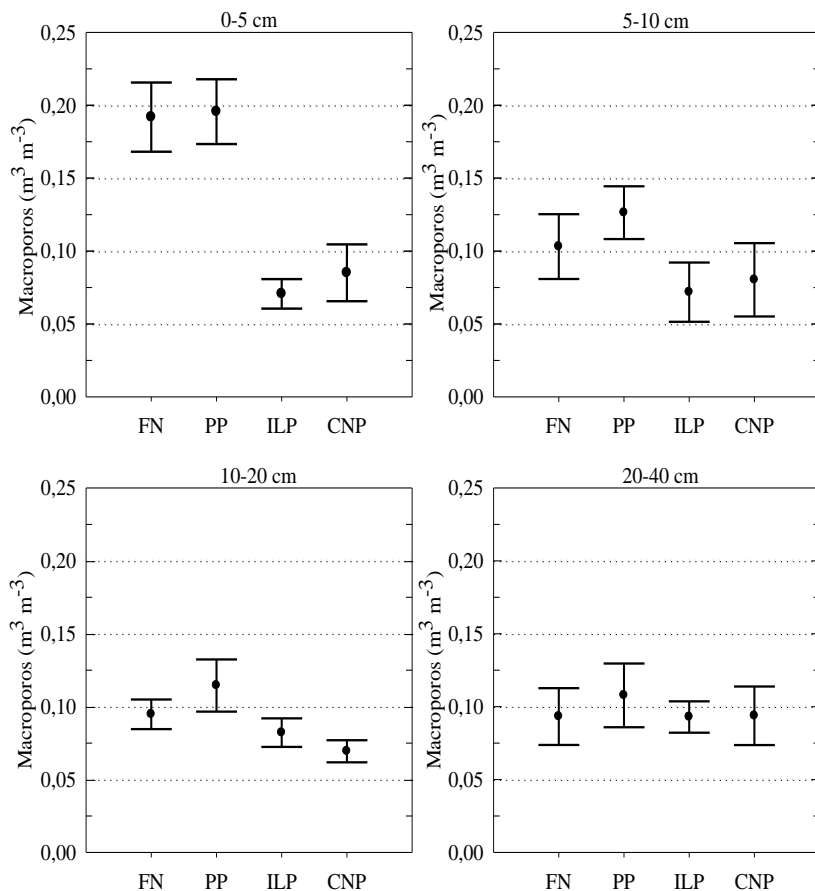
Fonte: Produção do próprio autor

Na camada de 0-10 cm, em virtude dos elevados valores de Pt na FN, o seu IC diferiu dos demais usos, enquanto o CNP foi similar ao PP e ILP (Figura 9). Também é importante destacar o elevado valor de Pt para o PP na camada de 0-5 cm ( $0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), embora inferior a FN ( $0,72 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Isso evidencia o efeito positivo do uso florestal, tanto natural quanto plantada, em relação ao não florestal (ILP e CNP), na superfície do solo. Em trabalho de Wendling et al. (2012) e Stone e Silveira (2001), os autores encontraram menor Pt em áreas agrícolas sob semeadura direta na camada de 0-10 cm, em comparação a floresta. Na profundidade de 10-20 cm, a FN apresentou IC semelhante apenas com o PP, o qual foi semelhante aos demais usos. Na profundidade de 20-40 cm, a FN foi similar ao CNP, o qual teve o mesmo comportamento que os demais. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), a cobertura pela parte aérea das árvores e suas raízes, assim como a serrapilheira na superfície do solo, exerce papel importante no controle da degradação das terras, devido à manutenção da qualidade estrutural do solo. Em virtude disso, solos cultivados têm menor porosidade quando comparado a solos não cultivados (BERTOL et al., 2001).

O volume de macroporos (Ma) variou de 0,09 a  $0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na FN; de 0,11 a  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no PP; de 0,07 a  $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no ILP; e de 0,07 a  $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no CNP (Figura 10 e Anexo 4). No geral, os maiores valores de macroporos foram encontrados nos usos florestais (FN e PP), ocorrendo diferença mais acentuada na camada de 0-5 cm, onde, em média, os valores de Ma foram  $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  maiores do que nos usos não florestal (ILP e CNP). Na camada de 5 a 20 cm também ocorreu este comportamento, embora menos pronunciado. Já na camada de 20-40 cm, todos os resultados foram similares nos diversos tipos de uso. Este comportamento está de acordo com os obtido por Cavenage et al. (1999), em um Latossolo Vermelho na região do Cerrado, onde o plantio de pinus e a mata ciliar resultaram em maior volume de Ma do que o cultivo de milho, plantio de eucalipto e pastagem, entre 0 a 20 cm de profundidade do solo.



Figura 10 - Macroporos, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

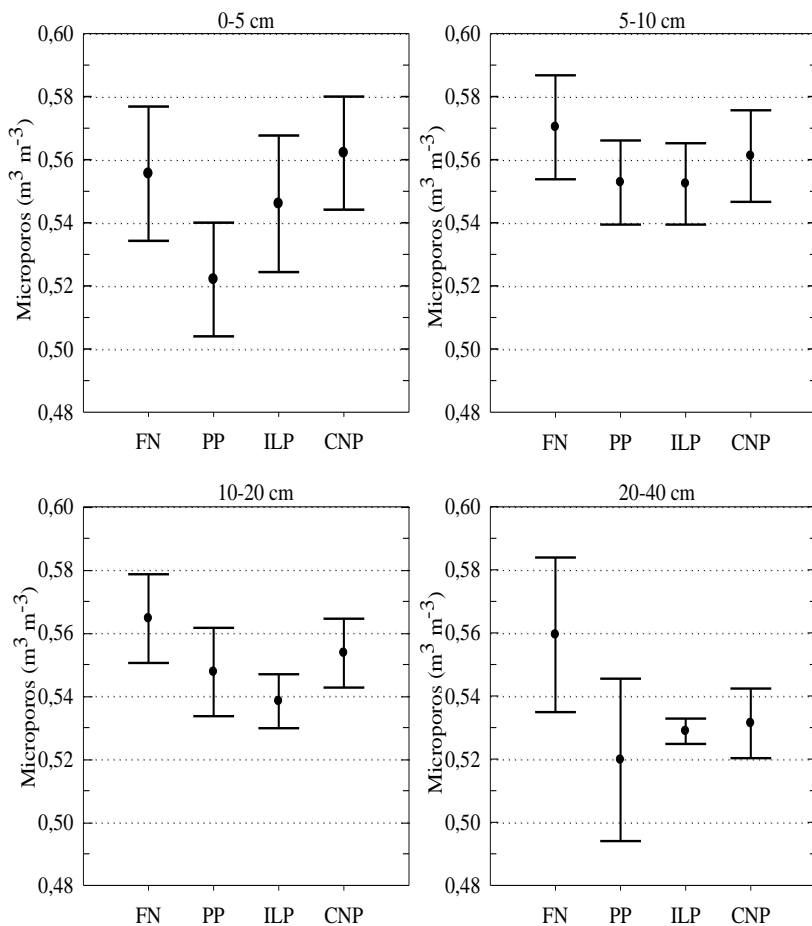
O volume de macroporos diminuiu no uso florestal (FN e PP) com o aumento da profundidade, sendo observado comportamento inverso no ILP e no CNP. Bertol et al. (2000) também constataram aumento do volume de Ma em profundidade em área agrícola sem revolvimento do solo, provavelmente devido à pressão exercida na superfície do solo pelas operações de manejo.

De acordo com Taylor e Ashcroft (1972), a macroporosidade deve ser superior a  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para permitir as trocas gasosas e o crescimento de raízes da maioria das culturas de forma adequada. Em todas as camadas analisadas na ILP e no CNP, os valores estão abaixo do limite crítico para o crescimento das raízes para cultivos agrícolas (Figura 10 e Anexo 4), enquanto no uso florestal (FN e PP) o volume de macroporos atendeu a condição ideal, o que também foi evidenciado em trabalho de Martins (2002). Bertol et al. (2004) também observaram valores de macroporos abaixo do ideal em todas as formas de manejo estudadas (lavoura em preparo convencional, semeadura direta e campo nativo). Esses valores apontam possíveis problemas para infiltração de água, circulação de oxigênio e, conseqüentemente, desenvolvimento das raízes das culturas.

O aumento da densidade e redução dos macroporos na ILP e CNP (Figura 6 e 10), provavelmente deveram-se à compactação causada pelo trânsito de máquinas, implementos agrícolas e pisoteio animal. Em trabalho de Albuquerque et al. (2001), a compactação imposta ao solo pela integração lavoura-pecuária também reduziu os macroporos e aumentou a resistência à penetração. Dias júnior (2000) salienta que o processo de compactação do solo promove aumento da sua densidade e redução do seu volume, resultante da expulsão do ar dos poros do solo, diminuindo a porosidade total, principalmente a macroporosidade.

O volume de microporos (Mi) teve pequena variação nos distintos tipos de uso da terra, sendo de  $0,56$  a  $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na FN;  $0,52$  a  $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no PP;  $0,53$  a  $0,55 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na ILP e  $0,53$  a  $0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no CNP (Figura 11). Na camada de 0-5 cm o PP apresentou IC para Mi inferior ao CNP e similares aos demais usos. Na camada de 5-10 cm todos os tipos de uso apresentaram afinidade quanto à Mi. Na camada entre 10 a 40 cm ocorreu diferença entre a FN e a ILP, onde a FN se destacou com maior volume de Mi. Cavenage et al. (1999) também encontrou maior volume de microporos na floresta natural. No presente trabalho, o volume de microporos resultou ser um indicador pouco confiável, em virtude de não ter mostrado diferenças marcantes para os diferentes tipos de uso da terra.

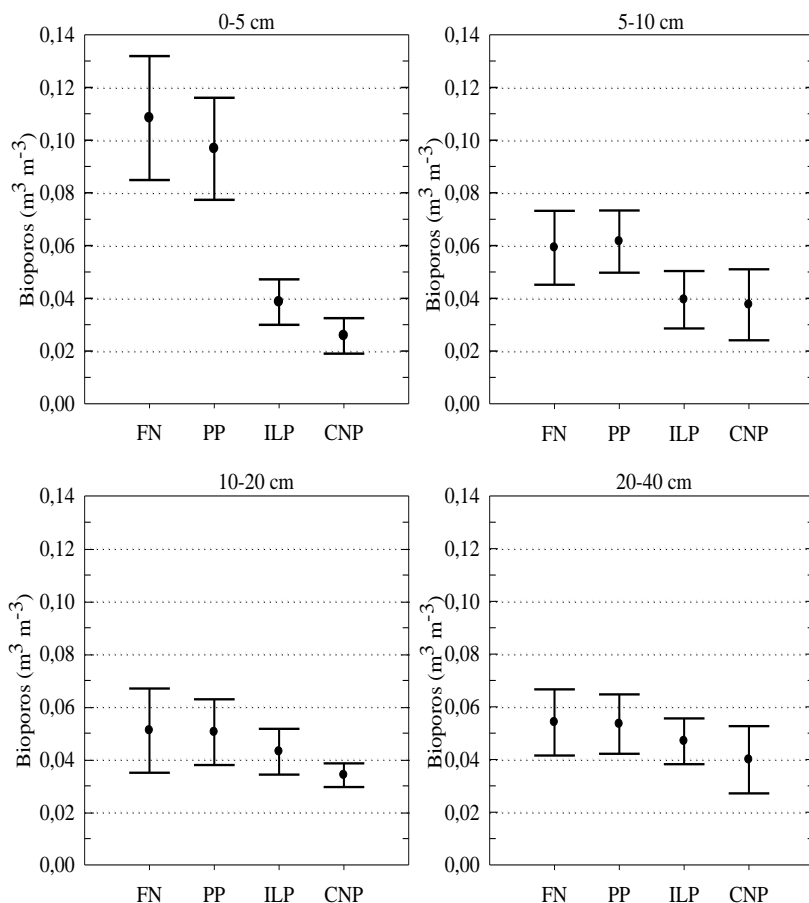
Figura 11 – Microporos, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

Os bioporos (Bio) variaram de 0,05 a 0,11  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  na FN; de 0,05 a 0,10  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  no PP; de 0,04 a 0,05 na ILP  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e de 0,03 a 0,04  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  no CNP (Figura 12 e Anexo 4). Os maiores valores foram encontrados no uso florestal (FN e PP) até a profundidade de 10 cm, com destaque para a camada de 0-5, onde o volume de bioporos foi três vezes maior em relação aos outros usos (CNP e ILP). Na camada entre 10 e 40 cm, todos os tratamentos apresentam IC similares, embora valores médios ligeiramente superiores na FN e PP. Em trabalho de Lima et al. (2005) a compactação superficial causada pelo cultivo agrícola e pelo tráfego de máquinas afetou, diferencialmente, a forma e a distribuição do espaço poroso, tendo sido os bioporos os mais afetados. De acordo com Costa et al. (2006), os atributos biológicos são mais sensíveis às mudanças de qualidade do solo determinadas por mudanças de uso da terra e manejo do solo.

Figura 12 - Bioporos, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.

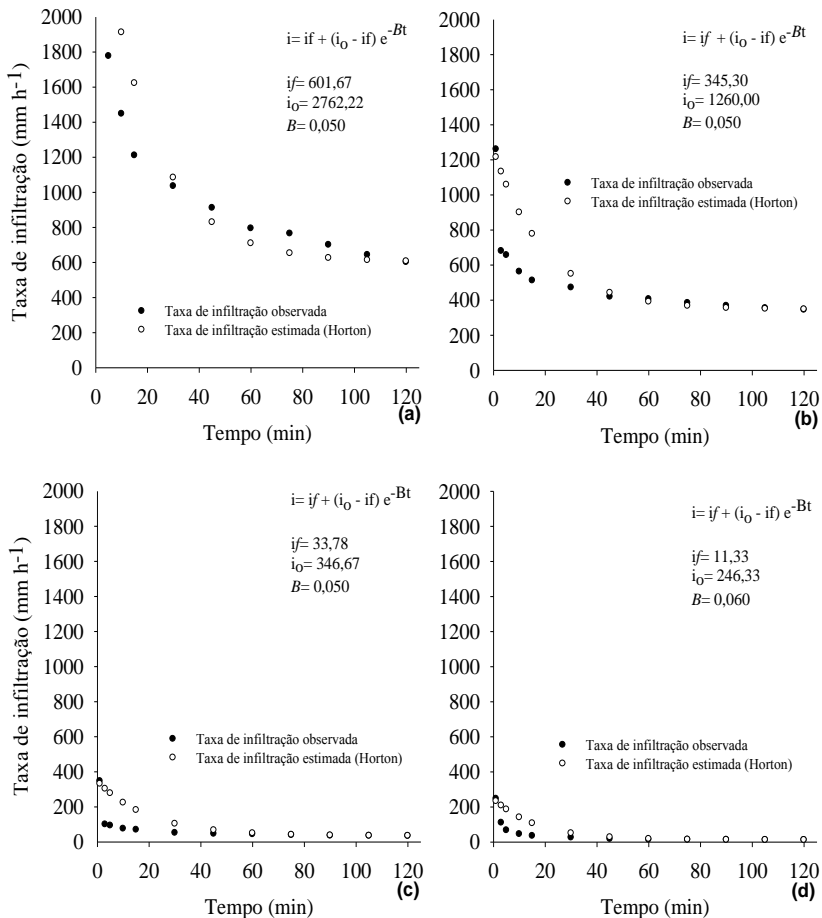


Fonte: Produção do próprio autor

## 6.6 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

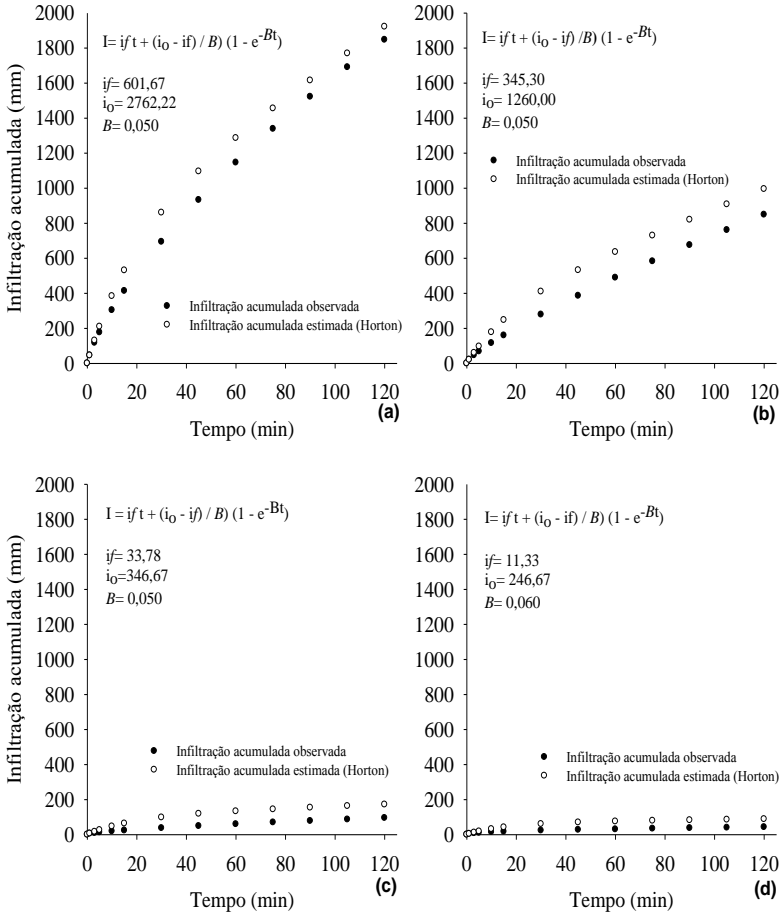
Os resultados expressaram acentuadas diferenças na taxa de infiltração ( $i$ ) e na infiltração acumulada ( $I$ ) de água no solo em função do tempo, entre os tipos de uso da terra (Figuras 13 e 14). A FN apresentou maiores valores de  $i$  e  $I$ , seguida pelo PP. Isso se deve ao fato de que às áreas florestais, no geral, possuem cobertura vegetal permanente e recobrimento da superfície do solo com grande aporte de serrapilheira. A presença de árvores também aumenta o teor de matéria orgânica e estimula a atividade biológica, elevando a capacidade de absorção e infiltração de água (BARBERA-CASTILLO, 2001). O CNP teve os menores valores de  $i$  e  $I$ . Isso está relacionado às alterações na qualidade estrutural do solo devido às operações de manejo do solo que modificaram as propriedades físico-hídricas, relacionadas a densidade e porosidade do solo, segundo Bertol (1989). Neste caso, o uso do fogo e o pisoteio dos animais no CNP explicam o comportamento. A ILP também apresentou baixos valores de  $i$  e  $I$ , embora maiores que o CNP. De acordo com Dalla Rosa (1981), a redução na taxa de infiltração de água, é a propriedade que melhor explica o aumento de degradação do sistema poroso do solo, o que efetivamente ocorreu na ILP e no CNP.

Figura 13 – Taxa de infiltração de água no solo, submetido a quatro tipos de uso da terra: a) FN – floresta natural; b) PP – plantio de pinus; c) ILP - integração lavoura pecuária; d) CNP - campo natural pastejado com bovinos.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 14 – Infiltração acumulada de água no solo, submetido a quatro tipos de uso da terra: a) FN – floresta natural; b) PP – plantio de pinus; c) ILP - integração lavoura pecuária; d) CNP - campo natural pastejado com bovinos.



Fonte: Produção do próprio autor



A taxa básica de infiltração de água no solo (if) e a lâmina total de água infiltrada (I total) foram superiores nas áreas com florestas (FN e PP) em comparação às outras áreas (CNP e ILP). Dentre as florestais, a FN resultou em valores superiores ao PP. Isso ocorreu devido a FN apresentar grande diversidade de espécies vegetais em relação ao monocultivo de pinus (PP), proporcionando maior atividade biológica e melhor qualidade estrutural, afetando positivamente o sistema poroso do solo. O maior teor de carbono orgânico no solo encontrado na FN (Figura 2), provavelmente foi outro fator importante para maior infiltração, já que a matéria orgânica é fundamental na formação e estabilização dos agregados, os quais estão relacionados à capacidade de infiltração de água no solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

A if e I total na FN foram aproximadamente 1,7 e 2 vezes maiores que o PP, 18 e 19 vezes maiores que a ILP e 55 e 44 vezes maiores que o CNP, respectivamente, sendo todos os tipos de uso da terra diferentes entre si com base no IC das médias (Tabela 3). Pinheiro et al. (2009), Bono et al. (2012) e Silva (2012) também encontraram maior infiltração de água em áreas sob uso florestal. Segundo Brandão et al. (2010), a infiltração em áreas florestadas tende a ser superior ao verificado em áreas agrícolas. A remoção da vegetação natural e a introdução, seja de animais para o pastejo ou de cultivo com lavouras, trazem como consequência a redução na taxa de infiltração básica de água no solo.

Tabela 3 - Taxa básica de infiltração de água no solo, taxa de infiltração inicial, coeficiente empírico da equação de Horton e lâmina total de água infiltrada no solo, em teste com duração de 120 minutos, nos diferentes tipos de uso.

Modalidade de uso	Taxa básica de infiltração - if (mm h <sup>-1</sup> )	Taxa de infiltração inicial - i <sub>0</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	Coefficiente (Horton) β	I total (mm)
FN	602 ± 98,9	2763 ± 558,6	0,05	1847 ± 364,6
PP	345 ± 71,6	1260 ± 292,4	0,05	849 ± 165,6
ILP	34 ± 9,9	347 ± 230,1	0,05	95 ± 18,1
CNP	11 ± 3,8	246 ± 76,2	0,06	42 ± 8,5

Média ± intervalo de confiança ao nível de 10 % de probabilidade de erro.

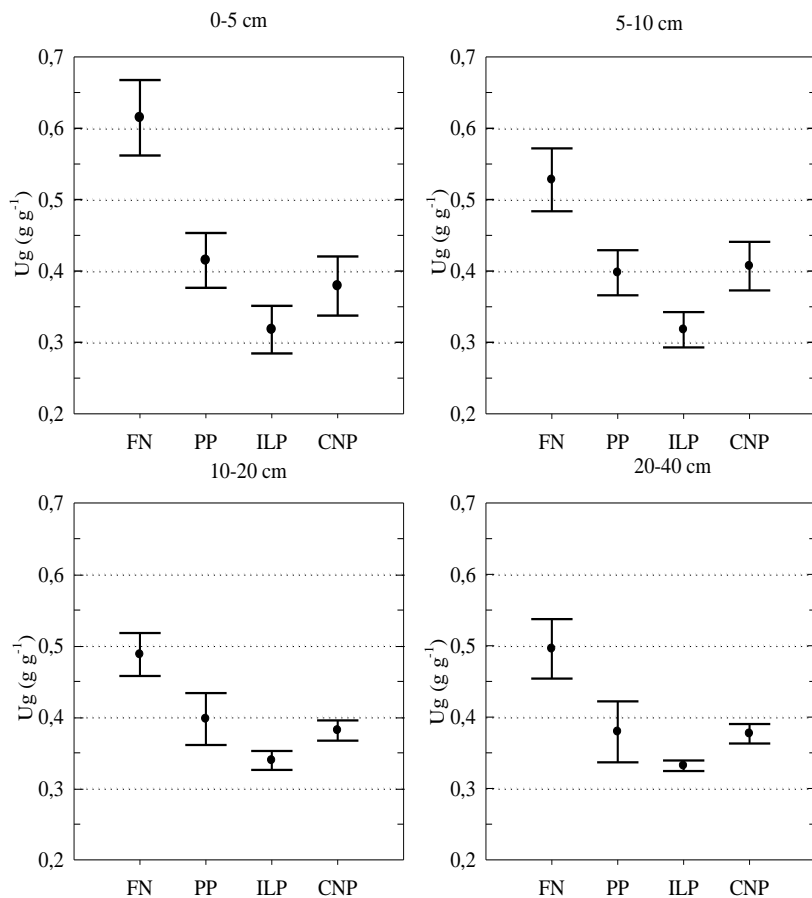
Fonte: Produção do próprio autor

Os valores do  $i_f$  e  $I$  total na ILP foram, respectivamente, 3,1 e 2,3 vezes maiores em comparação com o CNP. Em trabalho de Bertol et al. (2001) e Pinheiro et al. (2009), áreas agrícolas sob semeadura direta também apresentaram capacidade de infiltração superior às de pastagem. Bertol et al. (2011), comparando diferentes formas de manejo de um campo natural, encontrou menor infiltração de água sob queima em comparação ao campo não queimado. Portanto, o uso do fogo e o pisoteio dos animais foram os responsáveis pela menor infiltração no CNP, já que na ILP não foi realizada a queima e, durante o período de primavera-verão, não houve entrada de animais na área.

No geral, no CNP e ILP verificou-se menor infiltração, demonstrando a influência do aumento da intensidade de uso do solo sobre esta variável (Tabela 3). Na ILP e CNP foi constatado baixo volume de macroporos (Figura 10) e maior densidade (Figura 6), o que explica, em parte, tal comportamento. Segundo Bertol (1989), manejo de solo que promova aumento da densidade com redução dos macroporos e/ou da estabilidade de agregados em água, reduz a infiltração de água.

A umidade gravimétrica do solo antecedente ao teste de infiltração ( $U_g$ ) variou de 0,49 a 0,61  $g\ g^{-1}$  na FN; de 0,38 a 0,41  $g\ g^{-1}$  no PP; de 0,32 a 0,34  $g\ g^{-1}$  na ILP e de 0,38 a 0,41  $g\ g^{-1}$  no CNP (Figura 15 e Anexo 5). A FN apresentou os maiores teores de água no solo, em todas as camadas, enquanto que o ILP os menores. Na camada de 0-5 cm, o IC da ILP foi similar somente com o CNP. Na camada entre 5 e 20 cm, o PP foi similar ao CNP, sendo ambos diferentes da ILP. Na camada de 20-40 cm, o PP apresentou IC similar ao ILP e CNP, os quais foram diferentes entre si.

Figura 15 – Umidade gravimétrica, em diferentes camadas, submetido a quatro tipos de uso da terra. FN – floresta natural; PP – plantio de pinus; ILP - integração lavoura pecuária; CNP - campo natural pastejado com bovinos. Os pontos representam os valores médios e as barras verticais indicam o intervalo de confiança da média com 10 % de probabilidade de erro.



Fonte: Produção do próprio autor

Pode-se observar que quanto maior a Ug, maior foi a taxa básica de infiltração e I total, exceto na ILP, onde a Ug foi menor comparada ao CNP. Isso pode ter ocorrido pelo fato da FN e do PP terem maior conteúdo de matéria orgânica, o que consequentemente acarretou em maior retenção de água no solo. No entanto, a manutenção da estrutura do solo beneficiada pela matéria orgânica, facilitou a infiltração de água, mesmo com maiores teores de água antecedente ao teste.

## 6.7 CORRELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS DO SOLO

Os coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos do solo constam na tabela 4. Vários atributos apresentaram maior correlação que outros, sendo eles Pt, Ug, COT, I total, if, Ds, Ma, Bio, Rp, argila e silte.

Tabela 4 - Correlação de Pearson entre os atributos do solo nos diferentes tipos de uso da terra.

	Ds	Dp	Rp	Pt	Ma.	Mi.	Bio.	DMG	Gf	COT	EC	Ug	I total	if
Argila	0,80**	ns	0,50**	-0,69**	-0,55**	ns	-0,54**	ns	ns	-0,62**	ns	-0,8	-0,72**	-0,63**
Silte	-0,81**	ns	-0,49**	0,71**	0,57**	ns	0,53**	ns	ns	0,60**	ns	0,80**	0,70**	0,62**
Areia	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ds	ns	ns	0,61**	-0,89**	-0,61**	-0,55**	ns	ns	ns	-0,66**	ns	-0,90**	-0,71**	-0,69**
Dp		ns		0,57**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Rp				-0,52**	ns	-0,44*	ns	ns	ns	-0,39*	ns	-0,43*	ns	ns
Pt					0,47*	0,49**	0,44*	ns	ns	0,52*	ns	0,78**	0,59**	0,56**
Ma						ns	0,86**	ns	ns	ns	ns	0,45*	0,51**	0,53**
Mi							ns	ns	ns	0,46*	ns	0,56**	ns	ns
Bio								ns	ns	ns	ns	0,41*	0,54**	0,50**
DMG									ns	ns	ns	ns	ns	ns
Gf										ns	ns	ns	ns	ns
COT											0,52**	0,73**	0,62**	0,64**
EC												0,78**	ns	ns
Ug													0,78**	0,75**
I total														0,96**

Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ); Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ); Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ); Ds - densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); Dp - densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); Rp - resistência a penetração das raízes (MPa); Pt - porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); Ma - macroporos ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); Mi - microporos ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); Bio - bioporos ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ); DMG - diâmetro médio geométrico (mm); Gf - grau de flocculação (%); COT - carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ); EC - estoque de carbono ( $\text{t ha}^{-1}$ ); Ug - umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ); I total - lâmina total de água infiltrada (mm); if - taxa básica de infiltração ( $\text{mm h}^{-1}$ ). ns - correlação não significativa, \*\* correlação significativa a 1%; \* correlação significativa a 5%. Fonte: Produção do próprio autor

As variáveis de infiltração de água no solo (if e I total) apresentaram correlação significativa com argila, silte, Ds, Pt, Ma, Bio, COT e Ug. Destes, somente a argila e a densidade apresentaram correlação negativa, ou seja, quando ocorreu aumento de seus valores a if e I total diminuiriam. É importante destacar a alta correlação entre Ug (-0,90 e -0,80), if (-0,69 e -0,63) e I total (-0,71 e -0,72) respectivamente com a Ds e argila. Os maiores valores de Ug, if e I total foram encontrados na FN, em todas as profundidades avaliadas, onde foram evidenciados os menores valores de Ds e argila. De acordo com Bertol et al. (2000), a infiltração da água pode ser considerada a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural. Em florestas, os solos apresentam grande porosidade, destacando a macroporosidade. Estes poros maiores são caminhos preferenciais que facilitam a entrada da água, sua distribuição e recarga de aquíferos (CHENG, 2003).

O COT apresentou correlação negativa com a argila, Ds, Rp, e positiva com o silte, Pt, Mi, EC, Ug, if e I total. Geralmente, solos melhor estruturados apresentam maiores teores de COT. Schiavo e Colodro (2006) evidenciaram correlação significativa entre alguns atributos físicos e o COT do solo, indicando que as variações nos teores de COT proporcionaram mudanças nos demais atributos. O COT apresentou alta correlação negativa com a Ds (-0,66). Os maiores valores de COT foram encontrados na FN na profundidade de até 10 cm, onde foram notados os menores valores de Ds. Rauber (2011), também constatou correlação negativa entre Ds e COT, e positiva entre a Ds e Rp. No presente estudo, a correlação significativa do COT com a maioria dos atributos avaliados, evidencia a importância da matéria orgânica como componente estrutural do solo, sendo considerado um eficiente indicador de qualidade do solo, pelo fato de ser sensível às alterações de uso e manejo.

A Ds apresentou alta correlação negativa com a Pt e Ma, sendo os coeficientes de -0,89 e -0,61, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Vitoria et al. (2011). Hickmann et al. (2012) também observou este comportamento, os quais também observaram diminuição da capacidade de aeração do solo em profundidade, afetando a infiltração da água. A Ds mostrou forte correlação positiva entre a argila (0,80) e negativa com o silte (-0,81). Os Bio também foram correlacionados negativamente com a Ds (-0,53). Segundo Laurindo (2009), a redução da densidade indica melhoria na

qualidade física do solo, decorrente, possivelmente, da atividade da fauna e de raízes, as quais atuam na formação de bioporos.

A Rp mostrou comportamento similar a Ds, apresentando correlação negativa com o silte, Pt, Ma, Mi, COT e Ug. Estudo de Ramos et al. (2010), destaca que a Rp tende a aumentar com a compactação e com a redução da umidade do solo.

A Pt apresentou correlação positiva com o silte, Dp, Ma, Mi, Bio, COT, Ug, if e I total, enquanto que os Ma e Bio apresentaram correlação positiva com o silte, Ug, if e I total. Já os Mi apresentam relação positiva com o COT e Ug, I total e if. Como foi evidenciado no presente estudo, o solo na FN apresentou os maiores valores de Pt, Ma, Bio, silte, COT, Ug, if e I total. Em trabalho de Albuquerque (2001), a redução dos macroporos no uso florestal refletiu na porosidade total, que também diminuiu. A Pt resultou em correlação negativa com a argila e Ds. Segundo Pedroti (2003), a Pt é uma variável dependente e inversamente proporcional à Ds.

O DMG e o Gf não se correlacionaram com nenhum outro atributo do solo, enquanto que a Dp e o EC apresentaram apenas uma correlação significativa.

## 7 CONCLUSÕES

Em condição de floresta natural, a densidade do solo e a resistência à penetração mecânica foram menores e a porosidade total foi maior em comparação ao pinus, campo natural pastejado e a integração lavoura-pecuária; tais efeitos foram mais pronunciados nas camadas superficiais do solo.

O uso florestal, tanto mata natural quanto pinus plantado, se destacou com maior volume de macroporos e bioporos na superfície do solo em comparação aos usos com campo natural pastejado e integração lavoura-pecuária.

A infiltração de água no solo foi o indicador que apresentou as diferenças mais acentuadas entre os tipos de uso da terra; a floresta natural teve as maiores taxa básica de infiltração e lâmina total de água infiltrada no solo, seguida pelo plantio de pinus; as áreas de campo natural pastejado e de integração lavoura-pecuária apresentaram redução drástica nos parâmetros de infiltração, sendo os menores valores obtidos no primeiro deles.

Os teores e o estoque de carbono orgânico do solo foram maiores na área sob floresta natural em relação aos demais tipos de uso da terra estudados.

Densidade do solo, porosidade total, macroporos, bioporos, resistência à penetração mecânica, teor de água do solo, infiltração de água, argila e silte foram os atributos do solo que melhor se correlacionaram entre si, enquanto que microporos, grau de floculação e diâmetro médio geométrico dos agregados apresentaram pequenas diferenças entre os tipos de uso da terra e não se correlacionaram com a maioria dos atributos do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. D. Modelagem de mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia: Questões Gerais. In: **Instituto nacional de pesquisas espaciais**. São José dos Campos. INPE, 2002. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap4\\_modelos\\_lucc.pdf](http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap4_modelos_lucc.pdf)>. Acesso em 8 de out. de 2013.

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

ALEGRE, J. C.; CASSEL, D. K.; AMEZQUITA, E. Tillage systems and soil properties in Latin America. **Soil and Tillage Research**, 20:147-163, 1991.

ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:753-761, 1999.

AMADO, T. J. C. Matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto: a experiência do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://cesnors02.cafw.ufsm.br/professores/vanderlei/solos\\_florestais/Materia\\_organica\\_Telmo%20J%20C%20Amado.pdf](http://cesnors02.cafw.ufsm.br/professores/vanderlei/solos_florestais/Materia_organica_Telmo%20J%20C%20Amado.pdf)> Acesso em 13 Out. 2013.

ARATANI, R. G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no Estado de São Paulo**. 2008. 139 f. Tese (Doutorado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2008.

ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, 5:187-196, 2012.

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



BARBERA-CASTILLO, N. M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica.** 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 2001.

BARETTA, D. et al. Diversidade da fauna edáfica em mata nativa, floresta de pinus e campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Resumos expandidos. Ribeirão Preto, SBCS/UNESP, 2003. p.1-4. CD ROM.

BERTOL, I. Degradação física do solo sob a cultura do alho. **Revista Agropecuária Catarinense**, 2:47-50, 1989.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Revista Ciência Rural**, 30:91-95, 2000.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Revista Scientia Agrícola**, 58:555-560, 2001.

BERTOL, I. et al. Nutrients losses by water erosion. **Science Agricultural**, 60:581-586, 2003.

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

BERTOL, I. et al. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1421-1430, 2011.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1990.

BEUTLER, A. N, et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:829-834, 2002.

BISTROT, A. Planalto das Araucárias - um ecossistema em perigo de extinção? **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, 2:24-31, 2001.

BOLDRINI, I. I. et al. Flora. In: BOLDRINI, I.I. (org). **Biodiversidade dos campos do planalto das Araucárias** - PROBIO : Cadernos de Biodiversidade v.30. Brasília – DF: MMA, 2009. p. 39-94.

BONO, J. A. et al. Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1845-1853, 2012.

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração de água no solo**, 3ed. Viçosa: UFV, 2010. 120p.

CALONEGO, J. C. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, 25:128-135, 2012.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Abril, 1997. 132 p.

CAMPOS, B. C. et al. 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**, 19:121-126, 1995.

CARVALHO, E. J. M. et al. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 34:257-265, 1999.

CASTELLA, P. R.; BRITZ, R. M. **A Floresta com Araucária no Paraná**. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 236 p.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com O teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de

culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.

CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:997-1003, 1999.

CHENG, J. D.; LIN, L. L.; LU, H. S. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan, **Forest Ecology and Management**, 165:11-28, 2002.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:452-432, 1999.

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

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 30:107-114, 1995.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:527-535, 2003.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:1185-1191, 2006.

COUTINHO, F. S. et al. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, 1:100-105, 2010.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico)**. 1981. 138f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

DEMARQUI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, 4:07–29, 2011.

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., H.V.; CHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1:55-94, 2000.

DIAS JUNIOR, M.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13:175-182, 1996.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-21. (Special publication, 35)

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**, 2. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 412 p.

EMBRAPA. **Solos do estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2004. 745p.

FERREIRA, M. M. et al. **Física do solo**. Textos Acadêmicos. Lavras: Editora UFLA, 2003. 79p.

FORSYTHE, W. **Física de suelos: manual de laboratório**. New York: University Press, 1975. 324 p.

GARDNER C. M. K.; LARYEA K. B.; UNGER P. W. **Soil physical constraints to plant growth and crop production**. Land and Water Development Division. Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, 1999, 96 p.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa, 2006.

GUPTA, S. C.; SHARMA, P. P.; DEFRANCHI, S. A. Compaction effects on soil structure. **Advances in Agronomy**, 42:311-338, 1989.

HICKMANN, C. et al. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, 25:128-136, 2012.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16:1055-1061, 2012.

HILLEL, D. **Solo e água, fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970, 231 p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academy Press, 1998.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica**. São Paulo: Polígono, 1972. 466 p.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.

IMHOFF, S.; SILVA, A.; TORMENA, C. A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:1493-1500, 2000.

KÖPPEN, N. Das geographische system der climate. In: KÖPPEN, W., GEIGER, R. **Handlunch der klimatologie**. Berlin, Bortroeger, 1938.

LAURINDO, M. C. O. Atributos físicos do solo e o teor de carbono orgânico em sistema de plantio direto e cultivo mínimo. **Revista Engenharia na agricultura**, 17:367-374, 2009.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: região sul**. Rio de Janeiro, v.2, 1990. p.113-150.

LEITE, P. F. **As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil: Proposta de Classificação**. 1994. 160 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). Curitiba, 1994. 160 p.

LIMA, H. V. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:677-684, 2005.

LOPES. et al. Evolução do uso do solo em uma área piloto da região de Vacaria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14:1038–1044, 2010.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Revista Química Nova**, 28:329-334, 2005.

MAFRA, A. L. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, 32:217-224, 2008

MARTINS, P. F. S. Efeito do desmatamento e do cultivo sobre características físicas e químicas do solo sob floresta natural na amazônia oriental. **Revista IG**, 11:21-33, 1990.

MARTINS, S. G. M. et al. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Revista Cerne**, 8:32-41, 2002.

MATIAS, S. S. R. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, 40:331-338, 2009.

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 34p.

MOTA, J. C. A. et al. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1196-1206, 2013.

NABINGER, C.; MARASCHIN, G. E.; MORAES, A. Pasture related problems in beef cattle production in southern Brazil. In: Grassland ecophysiology and grazing ecology, 1999, Curitiba. **Proceedings...** Curitiba UFPR, 1999. p.23-48.

NASCIMENTO, F. R. **Degradação Ambiental e desertificação no nordeste brasileiro: o contexto da bacia hidrográfica do rio Acaraú-Ceará.** 2006, 340 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

PALADINI, F. C. S. **Distribuição de tamanho de agregados em solo Podzólico vermelho escuro afetada por sistemas de culturas.** 1989, 89f. Dissertação (Mestrado em solos), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob Chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária.** 2003, 67 f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal), Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2003.

PEDROTTI, et al. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1-9, 2003

PILLAR, V.P. et al. **Campos Sulinos:** conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília, 2009, 403p.

PINHEIRO, A.; TEXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de Infiltração de água em solo sob diferentes usos e práticas de manejo agrícolas. **Revista Ambiente e Água**, 4:188-199, 2009.

PRADO, R.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum: Agronomy**, 25:45-52, 2003.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel. 2002. 541 p.

RAMOS, F. T. et al. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. **Revista Caatinga**, 23:112-120, 2010.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoque de C e N e frações orgânicas de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1609-1623, 2007.

RAUBER, L. P. **Atributos físicos, químicos e frações granulométricas da matéria orgânica de um solo em sistema de uso com fertilizantes orgânicos**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado em manejo do solo). Lages, 2011. 65 f.

REDIN, M. et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Revista Ciência Florestal**, 21:381-392, 2011.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência Ambiental**, 27:29-48, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

RICHART, A. et al. **Compactação do solo: causas e efeitos**. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina, 26:321-344, 2005.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e testes. **Ciência Rural**. 36:1931-1935, 2006.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariáceas**. Itajaí: Flora Ilustrada Catarinense, 1966. 62 p.

ROZANE, D. E. et al. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, 26:24-32, 2010.

SALTON, J. C. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:11-21, 2008.



SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:313-319, 1995.

SANDI, J. T. T. **Estoque de carbono no solo sob diferentes coberturas vegetais**, Chapecó. 97 f. 2009. Dissertação (Mestrado em ciências ambientais) – Universitária Comunitária da Região de Chapecó. 2009.

SANTA CATARINA. Capão Alto. Disponível em:  
<<http://www.sc.gov.br/conteudo/municipios/framesetmunicipios.htm>>. Acesso em 11 de abril de 2012.

SANTOS, P. G. et al. Classificação de terras segundo sua capacidade de uso e identificação de conflito de uso do solo em microbacia hidrográfica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 11:146-157, 2012.

SCHIAVO, J. A.; COLODRO, G. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Bragantia**, 71:406-412, 2012.

SENRA, A. F. et al. Resistência à penetração em “Latosolo Vermelho” sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. **Revista Ciências Técnicas Agropecuarias**, 16:30-36, 2007.

SILVA, I. C. Estudo da capacidade de infiltração de água diante de diferentes usos do solo no município de Itapororoca-PB. **Revista Geonorte**, 1:648-662, 2012.

SILVA, M. A. S. et al. 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**, 30:329-337, 2006.

SILVA JUNIOR, C. A. et al. Comportamento da cana de açúcar em duas safras e atributos físicos do solo, sob diferentes tipos de preparo. **Bioscience Journal**, 29: 1489-1500, 2013.

SIX, J. et al. Soil carbon matter, biota and aggregation in temperature and tropical soils – Effects of no tillage. **Agronomic Journal**, 22:755-775, 2002.

SOARES FILHO, B. S. et al. **Uso da terra, mudanças do uso da terra e florestas**: Estudo de baixo carbono para o Brasil (Relatório de Síntese Técnica) 2010.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 1113-1122, 2003.

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

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology**. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**, 2. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, E. M. L. C. **Estoque de carbono em pastagens com diferentes sistemas de uso e manejo**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em produção animal sustentável) - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP, 2010.

THOMÉ, N. **O Ciclo da Madeira**: história da devastação da floresta da Araucária e do desenvolvimento da indústria da madeira em Caçador e na região do contestado no século XX. Caçador: Universal, 1995. 210 p.

TORMENA, C. et al . Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Scientia Agrícola**, 59:795-801, 2002.

TRINDADE, E. F. S.; VALENTE, M. A.; MOURÃO-JÚNIOR, M. M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo da capoeira no nordeste paraense. **Revista Agroecossistemas**, 4:50-67, 2012.

UNGER, P. W. CASSEL D. K. Tillage implement disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. **Soil Tillage Research**, 19:363-382, 1991.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, L. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE. 1991. 124 p.

VELOSO, H. **Sistema Fitogeográfico**. In: Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 1991, p.9-38.

VEZZANI, F. M; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:743-755, 2009.

VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: **IAPAR**. Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, 1981, p.19-32.

VILELA, L. et al. Integração lavoura-pecuária. In. FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio em sociedade, agronegócios e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p.933-962.

VITORIA, E. L.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M. M. Correlação linear e espacial entre produtividade de capim-mombaça e atributos físicos solo em função do sistema de manejo. **Revista Agrotecnologia**, 2:30-43, 2011.

WENDLING, B et al. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, 28:256-265, 2012.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **American Society of Agronomy**, 28:337-551, 1936.

## ANEXOS

Anexo 1 - Valores médios e intervalos de confiança do carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono nas diferentes modalidades de uso e nas diferentes camadas.

Camada (cm)	FN	PP	ILP	CNP
COT (g kg <sup>-1</sup> )				
0-5	65,3 ± 5,8	36,9 ± 5,9	38,2 ± 2,9	38,7 ± 5,2
5-10	42,2 ± 4,0	28,5 ± 3,5	29,4 ± 3,8	29,7 ± 3,8
10,20	32,3 ± 5,7	29,9 ± 3,3	22,1 ± 3,5	24,2 ± 6,2
20-40	24,8 ± 3,8	22,8 ± 4,8	18,5 ± 4,3	22,8 ± 3,1
Estoque de Carbono (t ha <sup>-1</sup> )				
0-5	21,7 ± 3,1	15,9 ± 2,0	20,4 ± 1,5	20,0 ± 3,4
5-10	18,7 ± 2,3	14,7 ± 1,4	16,4 ± 2,0	15,9 ± 1,9
10,20	31,49 ± 6,0	30,57 ± 4,2	23,8 ± 3,8	26,83 ± 6,5
20-40	49,13 ± 6,8	49,98 ± 9,6	39,7 ± 9,0	49,78 ± 7,4
Soma	120,96 ± 11,3	111,07 ± 13,6	100,33 ± 8,4	112,47 ± 12,4

Fonte: Produção do próprio autor

Anexo 2 - Valores médios e intervalos de confiança do e diâmetro médio geométrico - DMG (mm) dos agregados do solo nas diferentes modalidades de uso e nas diferentes camadas.

Camada (cm)	FN	PP	ILP	CNP
DMG (mm)				
0-5	$5,70 \pm 0,44$	$5,81 \pm 0,27$	$5,45 \pm 0,23$	$5,54 \pm 0,38$
5-10	$5,25 \pm 0,83$	$5,63 \pm 0,27$	$5,41 \pm 0,24$	$5,57 \pm 0,22$
10-20	$5,18 \pm 0,96$	$5,00 \pm 0,89$	$4,55 \pm 0,78$	$5,39 \pm 0,41$
20-40	$4,43 \pm 0,91$	$4,06 \pm 0,83$	$3,00 \pm 0,46$	$4,35 \pm 0,32$

Fonte: Produção do próprio autor

Anexo 3 - Valores médios e intervalos de confiança de densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) e resistência à penetração mecânica (MPa), nas diferentes modalidades de uso do solo e nas diferentes camadas do solo.

Camada (cm)	FN	PP	ILP	CNP
Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ )				
0-5	$0,66 \pm 0,04$	$0,87 \pm 0,06$	$1,07 \pm 0,04$	$1,03 \pm 0,10$
5-10	$0,88 \pm 0,05$	$1,04 \pm 0,05$	$1,11 \pm 0,03$	$1,07 \pm 0,02$
10-20	$0,98 \pm 0,03$	$1,08 \pm 0,07$	$1,08 \pm 0,01$	$1,11 \pm 0,02$
20-40	$1,00 \pm 0,05$	$1,11 \pm 0,06$	$1,08 \pm 0,01$	$1,09 \pm 0,02$
Densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ )				
0-5	$2,34 \pm 0,06$	$2,37 \pm 0,09$	$2,35 \pm 0,07$	$2,40 \pm 0,09$
5-10	$2,44 \pm 0,04$	$2,39 \pm 0,11$	$2,38 \pm 0,08$	$2,50 \pm 0,09$
10-20	$2,52 \pm 0,90$	$2,44 \pm 0,10$	$2,43 \pm 0,08$	$2,48 \pm 0,15$
20-40	$2,59 \pm 0,05$	$2,50 \pm 0,11$	$2,52 \pm 0,08$	$2,57 \pm 0,12$
Resistência à penetração mecânica (MPa)				
0-5	$0,61 \pm 0,09$	$0,97 \pm 0,14$	$1,08 \pm 0,13$	$1,40 \pm 0,10$
5-10	$0,99 \pm 0,14$	$1,43 \pm 0,23$	$1,07 \pm 0,09$	$1,48 \pm 0,12$
10-20	$1,18 \pm 0,17$	$1,87 \pm 0,36$	$1,18 \pm 0,07$	$1,50 \pm 0,13$
20-40	$1,19 \pm 0,15$	$1,93 \pm 0,27$	$1,24 \pm 0,07$	$1,40 \pm 0,13$

Fonte: Produção do próprio autor

Anexo 4 - Valores médios e intervalos de confiança de porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e bioporos ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) nas diferentes modalidades de uso e nas diferentes camadas.

Camada (cm)	FN	PP	ILP	CNP
<b>Porosidade total (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>				
0-5	$0,72 \pm 0,02$	$0,63 \pm 0,02$	$0,54 \pm 0,02$	$0,54 \pm 0,05$
5-10	$0,64 \pm 0,02$	$0,56 \pm 0,02$	$0,53 \pm 0,02$	$0,53 \pm 0,02$
10-20	$0,61 \pm 0,02$	$0,56 \pm 0,04$	$0,55 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,03$
20-40	$0,61 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,03$	$0,57 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,03$
<b>Macroporosidade (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>				
0-5	$0,19 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$
5-10	$0,10 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,03$
10-20	$0,09 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$
20-40	$0,09 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,02$
<b>Microporosidade (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>				
0-5	$0,56 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,02$	$0,56 \pm 0,02$
5-10	$0,57 \pm 0,02$	$0,55 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,01$	$0,56 \pm 0,01$
10-20	$0,56 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,01$	$0,54 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,01$
20-40	$0,56 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,01$	$0,53 \pm 0,01$
<b>Bioporos (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>				
0-5	$0,11 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$
5-10	$0,06 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$
10-20	$0,05 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$
20-40	$0,05 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$

Fonte: Produção do próprio autor

Anexo 5 - Valores médios e intervalo de confiança da umidade gravimétrica do solo ( $\text{g g}^{-1}$ ), nas diferentes modalidades de uso do solo e nas diferentes camadas.

Camada (cm)	FN	PP	ILP	CN
Umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ )				
0-5	$0,61 \pm 0,05$	$0,41 \pm 0,04$	$0,32 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,04$
5-10	$0,53 \pm 0,04$	$0,40 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,03$
10-20	$0,49 \pm 0,03$	$0,40 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,01$
20-40	$0,50 \pm 0,04$	$0,38 \pm 0,04$	$0,33 \pm 0,01$	$0,38 \pm 0,01$

Fonte: Produção do próprio autor