

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água**



**Tese**

**QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM  
PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO PLANTIO  
DIRETO**

**Diony Alves Reis**

**Pelotas – RS, 2015**

**Diony Alves Reis**

**QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE  
UM PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO  
PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção de título de Doutor em Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Orientador(a): Dr<sup>a</sup> Cláudia Liane Rodrigues de Lima  
Coorientador: Dr. Adilson Luís Bamberg

Pelotas – RS, 2015

R375q Reis, Diony Alves

Qualidade físico-hídrica e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob diferentes tempos de implantação de plantios diretos. / Diony Alves Reis; Orientadora: Cláudia Liane Rodrigues de Lima. – Pelotas, 2015.

142f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas.

**Diony Alves Reis**

**QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE  
UM PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO  
PLANTIO DIRETO**

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 17/04/2015

Banca examinadora:

Professora Dr<sup>a</sup> Cláudia Liane Rodrigues de Lima, (Orientadora).  
Doutora em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

Dr. Adilson Luís Bamberg, (Coorientador).  
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeI)

Professor Dr. Ezequiel Cesar Carvalho Miola  
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Professor Dr. Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki  
Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Professora Dr<sup>a</sup> Maria Cândida Moitinho Nunes  
Doutora Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Professor Dr. Eloy Antonio Pauletto  
Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade de São Paulo (ESALQ/USP).

Dedico este trabalho à dona Maria Zenalva, minha mãe, pelo exemplo de mulher, que carinhosamente tem consagrado seus anos à criação dos filhos como exemplo de coragem, dignidade, perseverança, amor e paciência.

## **Agradecimentos**

Manifesto minha gratidão, em primeiro lugar, a quem criando, possibilitou o onde, o como e o quando;

Ademais, agradeço à professora Cláudia Liane Rodrigues de Lima e ao pesquisador Adilson Luís Bamberg pela orientação e ensinamentos prestados;

Aos professores, técnicos e estagiários do Departamento de Solos da Universidade Federal de Pelotas, além dos pesquisadores, técnicos e estagiários da Embrapa Clima Temperado, sobretudo ao Pablo Lacerda Ribeiro e Pagiel Moisés Kelling pela valiosa e estimada contribuição;

A todos os colegas e amigos do Departamento de Solos pelos momentos de estudos, descontração e amizade;

À Universidade Federal de Pelotas que, pelo Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” oportunizou a realização deste curso.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado, Estação Experimental Terras Baixas por ceder a área experimental e estrutura analítica que também possibilitou a realização deste trabalho.

À família de maneira geral e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, muitíssimo obrigado.

“Conheço muitos que não puderam quando deviam, porque não quiseram quando podiam.”

**François Rabelais**

## Resumo

REIS, Diony Alves. **Qualidade físico-hídrica e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do plantio direto**. 2015. 141f. Tese (Doutorado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS, 2015.

Os sistemas de manejo têm sido estudados a fim de identificar e quantificar seus impactos sobre a qualidade do solo. O sistema plantio direto (SPD) tem se evidenciado como sistema conservacionista, sobretudo pelo não revolvimento, manutenção da cobertura vegetal e acúmulo de matéria orgânica. Esses fatores, associados à rotação e/ou sucessão de culturas têm mitigado a degradação, promovendo melhorias à qualidade dos diferentes tipos de solo. Além disso, a degradação e a redução da capacidade produtiva dos solos de várzea do bioma Pampa, utilizados principalmente para a produção de arroz irrigado e/ou pecuária extensiva, têm despertado interesse de cientistas. Entretanto, devido à escassez de informações sobre como o tempo de implantação dos diferentes sistemas de manejo podem promover alterações nos atributos físicos, hídricos e da matéria orgânica nos solos de várzea, este trabalho objetivou avaliar em um Planossolo Háplico o efeito do tempo de implantação do SPD utilizando indicadores físicos, hídricos, da matéria orgânica e através de um índice de qualidade do solo. O estudo foi conduzido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, situada no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul (RS), sendo consideradas como tratamentos, áreas com 1 (SPD1), 3 (SPD3); 5 (SPD5) e 7 (SPD7) anos de implantação do SPD. Uma área de campo não cultivada (CN) por mais de 30 anos e ocupada com espécies espontâneas, adjacente às áreas sob SPD foi utilizada como referência. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,03; 0,03 a 0,06; 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Em amostras de solo com estrutura preservada foram determinadas: a curva de retenção de água (CRA); a porosidade total (Pt); a macroporosidade (Ma); a microporosidade (Mi); a resistência do solo à penetração (Rp); a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ); o índice de compressão (IC); o grau de compactação (GC); a densidade do solo (Ds); a umidade volumétrica ( $\theta$ ) na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ), no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) e a disponibilidade de água (AD). Nas amostras de solo com estrutura não preservada foram determinadas: as classes de agregados estáveis em água (Ci); o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP); os macroagregados; os microagregados; os teores de carbono orgânico total (COT), o carbono da fração leve livre (FLL), da fração leve oclusa (FLO), da fração pesada (FP); a proporção de COT em cada fração e estoques de carbono no solo (EstC). Além disso, foram quantificados os índices de labilidade (ILC), de estoque de carbono (IEC) e o de manejo do carbono (IMC). A diferença dos valores dos atributos medidos nas áreas sob diferentes tempos de implantação do SPD foi primeiramente utilizada para verificar o incremento (+) ou a redução (-) do atributo em relação ao CN ( $\Delta_{ref, \%}$ ). Em seguida, os tratamentos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% significância, bem como à análise de correlação de Pearson e a modelos

regressivos para avaliação das relações entre os atributos. Para a elaboração do índice de qualidade (IQ), diferentes parâmetros físicos e da matéria orgânica do solo foram primeiramente submetidos à análise fatorial (AF), a fim de identificar a estrutura de relação e dependência entre os atributos, que posteriormente, utilizando o procedimento dos desvios dos atributos medidos nas áreas sob SPD em relação ao CN, foi quantificado o índice de qualidade do solo (IQS). Constata-se melhoria na qualidade física e hídrica do Planossolo pelo maior tempo de implantação do SPD, pela redução da densidade, resistência do solo à penetração, microporosidade, pressão de preconsolidação, densidade na pressão de preconsolidação e graus de compactação e aumento dos estoques de carbono no solo, a FLL, a estabilidade e o diâmetro médio de agregados e o conteúdo de água na capacidade de campo aumentam, favorecendo a disponibilidade de água, o ILC e o IMC. Assim sendo, o SPD melhora a qualidade do solo, evidenciada pelo aumento do índice de qualidade do solo (IQS) com o maior tempo de implantação, caracterizando esse sistema de manejo como capaz de mitigar os efeitos pretéritos de outros sistemas, potencializando o uso dessas áreas.

**Palavras-chave:** Atributos físicos, conservação do solo; sustentabilidade; compactação; solos de várzea.

## Abstract

REIS, Diony Alves, **Soil physico-hydrical quality and organic matter fractions of a Albaqualf under different no-tillage deployment times.** 2015.141p. Thesis (Doctorate in Management and Conservation of Soil and Water) - Post Graduate Program in Management and Conservation of Soil and Water. Faculty of Agronomy "Eliseu Maciel", Federal University of Pelotas. Pelotas - RS, 2015.

Management systems have been studied to identify and quantify their impact on soil quality. The no-tillage system (SPD) has shown to be a conservationist system, especially because of non-revolving, maintenance of vegetation cover and accumulation of organic matter. These factors, associated with rotation and/or crop succession have mitigated degradation, promoting improvements to the quality of the different soil types. Besides, the degradation and the reduction of productive capacity of lowlands from the Pampa biome, mainly used for irrigated rice production and/or extensive cattle, have aroused interest of scientists. However, due to the lack of information about how the evolution time of different management systems can promote changes in physical attributes, water and organic matter in lowland soils, this study aimed to evaluate in an Albaqualf the effect of no-tillage deployment time (SPD) using physical indicators, water, organic matter and through a soil quality index. The study was conducted in the Lowland Experimental Station belonging to Embrapa Temperate Agriculture located in Capão do Leão, Rio Grande do Sul State (RS), Brazil, being considered as treatments areas with: 1 (SPD1), 3 (SPD3); 5 (SPD5) and 7 (SPD7) years of implementation of SPD. A grass land not cultivated (CN) for more than 30 years and occupied by wild species, adjacent to the areas under SPD was used as reference. Soil samples were collected in the layers from 0.00 to 0.03; 0.03 to 0.06; 0.06 to 0.10 and from 0.10 to 0.20 m. Soil samples with preserved structure were utilized to determine: soil water retention curve (CRA); total porosity (Pt); macroporosity (Ma); microporosity (Mi); penetration resistance (RP); preconsolidation pressure ( $\sigma_p$ ); compression index (IC); degree of compression (GC); bulk density (Ds), volumetric water content ( $\theta$ ) at field capacity ( $\theta_{CC}$ ) and permanent wilting point ( $\theta_{PMP}$ ) and water availability (AD). In samples with not preserved structure, the classes of water stable aggregates (Ci); mean weight diameter (DMP); macroaggregates; microaggregates; total organic carbon content (COT), carbon free light fraction (FLL), occluded light fraction (FLO), heavy fraction (FP); proportion of COT in each fraction and soil carbon stocks (EstC) were determined. Furthermore, the lability (ILC), carbon stocks (IEC) and the carbon management (IMC) indexes were quantified. The difference of the measured values of the attributes in different areas under the SPD deployment time was first used to verify the increase (+) or decrease (-) of the attribute in relation to the CN ( $\Delta_{ref}$ , %). Then, the treatments were subjected to analysis of variance and means compared by Duncan test at 5% significance and the Pearson correlation analysis and regressive models to assess the relationships between attributes. For the preparation of quality index (IQ), different physical and soil organic matter parameters were first submitted to factor analysis (AF) in order to identify the structure of relationship and dependence between attributes, which later, by using the procedure of deviations of the attributes measured in the areas under

SPD compared to the CN, was quantified the soil quality index (IQS). It is observed improvement in physical and hydric quality of the Albaqualf as function of higher SPD deployment time, by the reduction of bulk density, soil penetration resistance, microporosity, preconsolidation pressure, density in the preconsolidation pressure and degree of compaction and the increase of carbon stocks in the soil, the FLL, the stability and the mean weight diameter of aggregates and the water content at field capacity, favoring the water availability, the ILC and IMC. Therefore, the SPD improves soil quality as evidenced by the increase of soil quality index (IQS) with the largest deployment time, featuring this management system as able to mitigate the past effects of other systems, increasing the use of these areas.

**Keywords:** Physical attributes, soil conservation; sustainability; compaction; lowland soils.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Biomas Mata Atlântica e Pampa, Rio Grande do Sul, Brasil. Adaptado de IBGE (2004).....	22
Figura 2 – Imagem aérea e localização dos tratamentos na Estação Experimental de Terras Baixas – Embrapa Clima Temperado.....	33
Figura 3 – Porosidade total e macroporosidade de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes camadas e tempos (T) de implantação do sistema plantio direto. ....	41
Figura 4 – Microporosidade e Relação Mi/Ma de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes camadas e tempos (T) de implantação do sistema plantio direto. ....	43
Figura 5 – Resistência à penetração de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e um campo não cultivado (CN). ....	47
Figura 6 – Resistência à penetração de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto... ..	48
Figura 7 – Agregados estáveis em água em diferentes classes de distribuição de tamanho de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto. ....	49
Figura 8 – Estoque equivalente de carbono de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.....	57
Figura 9 – Proporção (%) do carbono orgânico total (COT) nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado. ....	58
Figura 10 – Imagem aérea e localização dos tratamentos na Estação Experimental de Terras Baixas – Embrapa Clima Temperado.....	72
Figura 11 – Curvas de compressão de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto... ..	77
Figura 12 – Densidade de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto.....	78

Figura 13 – Curvas de retenção de água de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> em diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.....	84
Figura 14 – Conteúdo de água na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> em diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto... ..	85
Figura 15 – Conteúdo de água disponível de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> em diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto. ....	86

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Sucessão cultural agrícola em um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD). .....	34
Tabela 2 – Porosidade total ( $P_t$ , $m^3 m^{-3}$ ), macroporosidade ( $M_a$ , $m^3 m^{-3}$ ), microporosidade ( $M_i$ , $m^3 m^{-3}$ ) e relação micro/macroporos ( $M_i/M_a$ , %) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta_{ref}$ , %). .....	39
Tabela 3 – Porosidade total ( $P_t$ ), macroporosidade ( $M_a$ ), erros-padrão e coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.....	40
Tabela 4 – Microporosidade ( $M_i$ ), relação micro/macroporos ( $M_i/M_a$ ), erros-padrão e coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.....	42
Tabela 5 – Correlações de Pearson de atributos de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto na camada 0,00 a 0,20m ( $n = 192$ ). .....	44
Tabela 6 – Resistência à penetração ( $R_p$ , MPa) e densidade ( $D_s$ , $Mg ha^{-1}$ ) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta_{ref}$ , %). .....	45
Tabela 7 – Resistência à penetração ( $R_p$ ), densidade ( $D_s$ ), erros-padrão e coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.....	46
Tabela 8 – Macroagregados (Macro, $g kg^{-1}$ ), microagregados (Micro, $g kg^{-1}$ ) e diâmetro médio ponderado (DMP, mm) dos agregados estáveis em água (DMP) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta_{ref}$ , %). .....	50
Tabela 9 – Macroagregados (Macro), microagregados (Micro), diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água, erros-padrão e	

coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.....	51
Tabela 10 – Carbono orgânico total (COT, g kg <sup>-1</sup> ), teor de carbono nas frações leve livre (FLL, g kg <sup>-1</sup> ), leve oclusa (FLO, g kg <sup>-1</sup> ) e pesada (FP, g kg <sup>-1</sup> ) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta_{ref}$ , %). .....	54
Tabela 11 – Carbono orgânico total (COT, g kg <sup>-1</sup> ), teor de carbono na fração leve livre (FLL, g kg <sup>-1</sup> ), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado. ....	55
Tabela 12 – Teor de carbono nas frações leve oclusa (FLO, g kg <sup>-1</sup> ), pesada (FP, g kg <sup>-1</sup> ), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado. ....	56
Tabela 13 – Índices (adimensionais) de estoque de carbono (IEC), labilidade do carbono (LC), índice de labilidade do carbono (ILC) e índice de manejo de carbono (IMC) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e em campo não cultivado. ....	60
Tabela 14 – Sucessão cultural agrícola em um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD) .....	73
Tabela 15 – Índice de compressão (IC, adimensional), pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ , kPa), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ , Mg m <sup>-3</sup> ), grau de compactação na pressão de preconsolidação (GC $\sigma_p$ , %) e a 1600 kPa (GC1600, %) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta_{ref}$ , %). ....	80
Tabela 16 – Índice de compressão (IC, adimensional), pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ , kPa), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado. ....	81
Tabela 17 – Densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ , Mg m <sup>-3</sup> ), grau de compactação na pressão de preconsolidação (GC $\sigma_p$ , %) e a 1600 kPa	

(GC1600, %), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).....	82
Tabela 18 – Correlação dos atributos de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. ....	83
Tabela 19 – Sucessão cultural agrícola em um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD) .....	96
Tabela 20 – Correlações dos atributos de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto na camada 0,00 a 0,20m (n = 192). ....	100
Tabela 21 – Medida de adequação da amostra (MAA) de atributos de um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio de direto na camada de 0,00 a 0,20 m .....	101
Tabela 22 – Autovalor, diferença, proporção e variância acumulada explicada pela análise fatorial usando a matriz de correlação parcial para a camada de 0,00 a 0,20 m de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. ....	102
Tabela 23 – Proporção de variância usando rotação varimax e estimativa de comunalidade para atributos da camada de 0,00 a 0,20 m de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.....	103
Tabela 24 – Rotação ortogonal <i>Varimax</i> dos fatores de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. ....	104
Tabela 25 – Valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para a área de campo não cultivado, valores das análises de solo das áreas com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD <sub>i</sub> ) e índice de qualidade para macroporosidade (Ma), resistência do solo à penetração (Rp) e grau de compactação na pressão de preconsolidação de um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.....	105
Tabela 26 – Índice de qualidade física do solo (IQS) para diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em um Planossolo Háplico <i>Eutrófico</i> . ....	107

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
2.1	O bioma Pampa no Rio Grande do Sul.....	22
2.2	Sistemas de manejo dos solos de várzea do Rio Grande do Sul.....	23
2.3	Qualidade do solo e seus indicadores.....	25
<b>3</b>	<b>ATRIBUTOS DA QUALIDADE FÍSICA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO .....</b>	<b>28</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	30
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.2.1	Área de estudo .....	33
3.2.2	Amostragem do solo.....	34
3.2.3	Análises físicas do solo .....	35
3.2.4	Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo .....	36
3.2.5	Procedimento estatístico .....	38
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
3.4	CONCLUSÕES.....	62
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
<b>4</b>	<b>COMPRESSIBILIDADE E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DE UM PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO PLANTIO DIRETO .....</b>	<b>68</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	70
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	71
4.2.1	Áreas de estudo.....	71
4.2.2	Amostragem e análises do solo.....	73
4.2.3	Procedimento estatístico .....	75
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	76
4.4	CONCLUSÕES.....	87
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
<b>5</b>	<b>ÍNDICE DE QUALIDADE FÍSICA DE UM PLANOSSOLO SOB</b>	

	<b>DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO ....</b>	<b>91</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	93
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	95
5.2.1	Área de estudo .....	95
5.2.2	Amostragem e análises físicas do solo.....	96
5.2.3	Seleção do conjunto mínimo de dados.....	97
5.2.4	Critério de Kaiser.....	97
5.2.5	Índice de qualidade do solo .....	98
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	99
5.4	CONCLUSÕES.....	108
5.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>Apêndices .....</b>	<b>115</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O bioma Pampa, ou campestre, em sua abrangência possui uma diversidade de elementos endêmicos, sobretudo pelo predomínio de campos nativos, matas ciliares, matas de encosta, formações arbustivas, butiazais, banhados, afloramentos rochosos, constituindo flora e fauna próprias. Embora o Pampa seja uma das áreas de campos temperados mais importantes do planeta, devido às suas particularidades, este ecossistema encontra-se entre os menos protegidos (Picoli e Schnadelbach, 2007).

No Brasil, o bioma Pampa evidencia-se principalmente na “Metade Sul” do Rio Grande do Sul (RS), ocupando cerca de 60% da área do Estado, caracterizando-se por vegetação campestre que predomina em relevos de planície e por vegetação densa, arbustiva e arbórea nas encostas e ao longo dos cursos de água, ocorrendo também uma grande quantidade de banhados, caracterizados como áreas de solos de várzea (Pillar et al., 2009).

Os solos de várzea apresentam condições variadas de deficiência de drenagem (hidromorfismo). No RS compreendem cerca de 20% da área total do Estado, apresentando relevo plano a suavemente ondulado, ocorrendo em cotas que variam de 0 a 200 m e abrangem cerca de 5.400.000 ha (Pinto et al., 2004). Nestas áreas a classe dos Planossolos é a mais abundante, sendo utilizada principalmente para o cultivo de arroz irrigado e pecuária extensiva.

A técnica da sistematização dos solos de várzea é amplamente utilizada para a produção de arroz irrigado, consistindo no nivelamento da superfície do solo num plano pré-definido, utilizando-se o solo das cotas mais elevadas (corte) para aterrar os solos de cotas inferiores (aterro) (Parfitt et al., 2014), acarretando em grande mobilização dos horizontes do solo, o que altera as condições naturais, afetando vários de seus atributos (Nunes et al., 2002). Além disso, a produtividade de cultivos é afetada pela exposição da subsuperfície do solo com menor concentração de nutrientes e de matéria orgânica (Preve e Martens, 1990).

Ademais, como observado por Reichert et al. (2008), a sistematização dos solos de várzea favorece a variabilidade espacial dos seus atributos, refletindo-se na produtividade deste solos, atribuída principalmente à variação

do pH em água, saturação por alumínio, manganês trocável e capacidade de troca de cátions resistência à penetração, areias grossa e fina e argila natural.

Somando-se às características anteriormente citadas, a ocorrência de áreas naturalmente contínuas de relevo plano, com baixa suscetibilidade à erosão, o que facilita a irrigação e o tráfego de máquinas, o cultivo do arroz e a pecuária têm sido priorizados nesses solos. Porém, em determinadas condições a infestação de plantas daninhas, sobretudo de arroz vermelho, induz os produtores ao uso de variedades resistentes aos herbicidas do grupo das *imidazolinonas* e em casos mais severos é comum a adoção de períodos de pousio e rotação de culturas.

A baixa rentabilidade do binômio arroz irrigado-pecuária de corte extensiva tem causado preocupações aos agricultores, órgãos de pesquisa e governamentais, promovendo a busca de alternativas economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis que possibilitem outros sistemas de produção ou outras culturas.

A utilização do sistema plantio direto (SPD), que se constitui num conjunto de tecnologias fundamentadas na cobertura permanente do solo, no revolvimento localizado apenas na linha de semeadura e na rotação e sucessão de culturas, fundamental para a conservação e melhorias da qualidade física, química e biológica do solo pelo aporte contínuo de resíduos orgânicos das culturas anteriores, tem se mostrado como alternativa potencialmente viável em termos econômicos, melhorando a estrutura e fertilidade destes solos.

Trabalhos nas mais diferentes partes do mundo têm evidenciado que o SPD não é apenas um sistema eficiente para a conservação do solo, mas que estas áreas desenvolvem características próprias, principalmente em relação à fertilidade do solo. Essas características decorrentes da redução do revolvimento do solo e do acúmulo progressivo de restos culturais, sobretudo da variedade de plantas adotadas na rotação ou sucessão de culturas, tanto em relação à quantidade quanto à qualidade do material vegetal remanescente, proporcionam modificações no solo, na dinâmica da água e dos organismos.

Entretanto, a literatura evidencia também que solos de terras altas sob SPD, muitas vezes, acabam por apresentar uma camada superficial compactada, principalmente devido ao tráfego de máquinas em condições

inadequadas de umidade e ao não revolvimento total quando no processo de semeadura, acarretando limitações ao desenvolvimento das plantas, aumentando a resistência do solo à penetração, reduzindo a capacidade de infiltração e armazenamento de água, estabelecendo um processo de degradação pela redução da qualidade física do solo.

Nesse sentido, considerando as opiniões divergentes e sob a hipótese de que o SPD é um sistema de manejo sustentável e conservacionista, que pode ser uma alternativa ao sistema de produção tradicional estabelecido nos solos de várzea do RS a partir da utilização de culturas de sequeiro, objetivou-se avaliar diversos indicadores de qualidade de um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do SPD e estabelecer um índice de qualidade para o efeito do tempo de implantação do sistema de manejo.

Para tanto, seguida desta introdução, o trabalho dispõe de uma revisão de literatura, contextualizando o tema e, posteriormente apresenta três artigos que discorrem sobre atributos da qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do SPD (Tópico 3), abordando o sistema poroso, o processo de agregação e estruturação, a resistência à penetração, os teores de carbono e as frações da matéria orgânica do solo, que culminaram na elaboração dos índices de estoque, de labilidade e de manejo do carbono no solo.

A suscetibilidade à compactação, a pressão de preconsolidação, a densidade na pressão de preconsolidação e os graus de compactação, relacionados ao teor de carbono orgânica total e à disponibilidade de água são discutidos no Tópico 4, caracterizando o comportamento físico-mecânico do solo devido o tempo de implantação do SPD sobre o comportamento compressivo e a dinâmica da água.

No Tópico 5 apresenta-se uma proposta de uso da Análise Fatorial de dados como ferramenta de análise estatística multivariada para a seleção de um conjunto mínimo de indicadores da qualidade do solo, altamente correlacionados e dependentes, para a posterior elaboração de um índice de qualidade física do solo, onde objetiva-se verificar melhorias na qualidade do solo de várzea com o maior tempo de implantação do SPD.



O bioma Pampa possui cobertura vegetal marcada pela presença de gramíneas das mais variadas espécies, abrangendo cerca de 176.496 km<sup>2</sup> (IBGE, 2004). Entretanto, devido ao processo de urbanização e atividades econômicas como a silvicultura, sobretudo pelos monocultivos de eucalipto, pinus e acácia-negra, que são espécies exóticas, a vegetação campestre original do Pampa encontra-se reduzida em 51% (~64.000 km<sup>2</sup>) (Hasenack et al., 2007).

A implantação dos monocultivos vem modificando a cultura, a economia e a paisagem tradicionais do bioma Pampa (Pereira, 2014). Além disso, devido à heterogeneidade geomorfológica e hidrológica, evidencia-se a necessidade de realização de estudos que identifiquem atividades econômicas que possam ser compatíveis com o bioma, a fim de preservar a sua diversidade biológica (Boldrini et al., 2010).

## **2.2 Sistemas de manejo dos solos de várzea do Rio Grande do Sul**

Os solos de várzea no Rio Grande do Sul (RS) correspondem a 5,4 milhões de hectares, equivalendo cerca de 20% da área total do Estado, sendo os Planossolos a classe que corresponde a 56% desses solos e 11% da área total do RS (Pinto et al., 2004). Os Planossolos apresentam como característica geral a presença de um tipo especial de horizonte B textural, com incremento de argila do horizonte A ou E para o horizonte B à uma pequena distância ( $\leq 7,5$  cm) caracterizando uma mudança textural abrupta, associado a cores acinzentadas ou escurecidas que refletem uma baixa permeabilidade, sendo por isso chamado de horizonte B plânico (Santos et al., 2013).

Devido à ocorrência frequente de argilas expansivas (do tipo 2:1) e de condições de drenagem deficiente, verifica-se que a consistência de camadas superficiais dos solos de várzea é geralmente plástica e/ou pegajosa. O que dificulta o manejo dos solos que são geralmente utilizados para pastagens e arroz irrigado nas partes mais planas, podendo ser cultivados com culturas de verão, como milho, soja e sorgo nas áreas com melhor drenagem (Pinto et al., 2004; Santos et al., 2013).

O RS responde pela produção de 68% dos grãos de arroz do País (CONAB, 2013), sendo o município de Uruguaiana o maior produtor nacional e, que ainda apresenta as maiores produtividades. Nesta região, o arroz tem sido

cultivado predominantemente no sistema de cultivo mínimo (SCM), com arações e gradagens realizadas antecipadamente a semeadura, visando descompactar e nivelar o solo, controlar plantas invasoras e acelerar a decomposição da palha residual do cultivo anterior, que é prejudicial à cultura, como afirmam Beutler et al. (2014).

No ano agrícola 2013/2014 foram cultivados 1.120.112 ha de arroz (IRGA, 2014a), dos quais 74,2% em sistema de cultivo mínimo, 15,4% em sistema convencional em linha, 0,3% em sistema convencional a lanço e 10,1% em sistema pré-germinado (IRGA, 2014b), que são sistemas de cultivo voltados principalmente para o controle do arroz vermelho (*Oryza sativa* L.), a principal responsável pela redução de até 20% na produtividade do arroz.

Agostinetto et al. (2001) citam que em lavouras com elevada infestação de arroz vermelho, o controle pela utilização de uma única tecnologia torna-se inviável, necessitando do uso conjunto de diversas técnicas que possibilitem o cultivo continuado na mesma área. Além disso, os autores acrescentam que os melhores resultados foram obtidos pelas tecnologias: uso de sementes pré-germinadas, preparo antecipado do solo combinado com semeadura direta, adoção da rotação de culturas e sistema de plantio direto (SPD).

Denardin et al. (2008) e Nunes et al. (2014) afirmam que a expressão “sistema plantio direto (SPD)” surgiu quando observou-se que o “plantio direto” somente seria viável, de modo contínuo e ininterrupto na região subtropical úmida brasileira, quando outros preceitos da agricultura conservacionista, além da mobilização de solo restrita à linha de semeadura e manutenção de resíduos culturais na superfície do solo fossem adotados. Ou seja, o “plantio direto” deveria ser entendido e praticado como “sistema de manejo” e não como forma alternativa de preparo de solo.

Assim, o SPD passou a ser conceituado como um complexo de preceitos da agricultura conservacionista destinado à exploração de sistemas agrícolas produtivos, baseado na mobilização de solo exclusivamente na linha ou cova de semeadura ou de plantio; manutenção de resíduos culturais na superfície do solo; diversificação de espécies via rotação, sucessão e, ou, consorciação de culturas; redução ou supressão do intervalo de tempo entre a colheita e a semeadura subsequente; manutenção da cobertura permanente de

solo; aporte de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo (Nunes et al., 2014).

Devido ao predomínio do “plantio direto” sem diversificação de espécies e do aporte insuficiente de material orgânico ao solo em detrimento do “sistema plantio direto” na região subtropical úmida do Brasil, é que limitações de ordem química, física e biológica têm sido observadas, evidenciando estados de degradação do solo (Nunes et al., 2014).

Logo, o SPD como forma de exploração de sistemas produtivos agrícolas consiste em reduzir a mobilização do solo, em todos os seus aspectos como extensão de superfície, profundidade de preparo e grau de fragmentação do volume de solo mobilizado. Nesse método, o solo é rompido apenas para se colocar as sementes, mudas ou partes vegetativas das plantas, ficando os resíduos de culturas anteriores na superfície do solo (Gilles et al., 2009), garantindo uma fonte de matéria orgânica aos microrganismos, protegendo o solo do impacto das gotas de chuva, favorecendo a agregação e aumentando os estoques de carbono devido à rotação ou sucessão de culturas.

Wohlenberg et al. (2004) afirmam que o SPD é mais eficiente que outros métodos de sistemas, porque mantém o C orgânico do solo, proporciona qualidade, sustentabilidade e capacidade de produção dos solos agrícolas. Práticas alternativas de manejo que promovam o acúmulo de biomassa vegetal, umidade e temperatura favoráveis à atividade biológica, além da agregação e estruturação do solo (Sombbrero e Benitio, 2010; A'Ivaro-Fuentes et al., 2012) devem ser consideradas prioritárias no processo de conservação e melhoria da qualidade do solo.

### **2.3 Qualidade do solo e seus indicadores**

A qualidade do solo tem sido definida como a capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde das plantas animais (Doran e Parkin, 1994) desempenhando funções ecológicas e ambientais relacionadas à sua capacidade de fornecer nutrientes às plantas, dar suporte ao crescimento e desenvolvimento de raízes e propiciar uma adequada estabilidade estrutural para resistir à erosão e reter água (Doran et al., 1996).

Ademais, a qualidade do solo tem sido avaliada pela utilização de diferentes indicadores. Segundo Sherwood e Uphoff, (2000), os indicadores de qualidade do solo devem ser práticos, fáceis de medir e as medidas obtidas devem ser reproduzíveis (Seybold et al., 1998). Além disso, os indicadores devem ser de fácil manuseio por cientistas, agricultores, extensionistas, ecologistas e instituições governamentais, numa ampla classe de situações ecológicas e socioeconômicas.

Na busca pelos melhores indicadores de qualidade do solo, Doran e Parkin (1994) e Larson e Pierce (1994) foram os pioneiros. Doran e Parkin (1994) propuseram um conjunto básico de indicadores de ordem biológica, física e química: textura, profundidade de solo e de raízes, densidade do solo, infiltração de água, capacidade de armazenamento e retenção de água, conteúdo de água, temperatura, teores de C e N orgânico total, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ), P, K, C e N da biomassa microbiana, N potencialmente mineralizável, respiração do solo, C na biomassa em relação ao C orgânico total e respiração microbiana em relação à biomassa. Enquanto Larson e Pierce (1994) propuseram a determinação de um Conjunto Mínimo de Dados (MDS) contendo, a disponibilidade de nutrientes, C orgânico total e lábil, textura, capacidade de água disponível para as plantas, estrutura, densidade ou resistência do solo à penetração de raízes, profundidade máxima de raízes, pH e condutividade elétrica.

Além disso, outros indicadores têm sido utilizados para a realização de inferências sobre a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo e condições de solo. Reis et al., (2014) avaliando diferentes sistemas de manejo utilizaram o fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica, obtendo o carbono da fração grosseira (CFG), o associado aos minerais (CAM) e o orgânico total (COT). Lima et al., (2012) utilizaram a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), o índice de compressão (IC), o grau de compactação (GC) para a avaliação da qualidade de um solo construído em área de mineração de carvão.

A proposta de Doran e Parkin (1994) é de que os indicadores sejam relacionados a funções do solo, como a habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água; regular e compartimentalizar o fluxo de elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes;

manter um habitat biológico adequado e responder ao manejo, resistindo a degradação. Além disso, os atributos utilizados recebem coeficientes de ponderação com base em três componentes da qualidade do solo: produtividade, qualidade ambiental e saúde humana e animal, procedendo-se então a elaboração do índice de qualidade do solo (IQS).

Índices de qualidade do solo (IQS) têm sido sugeridos para a avaliação dos efeitos de diferentes sistemas de manejo (Andrews e Carroll et al., 2001). Segundo Doran e Parkin, (1994), um IQS deve identificar um conjunto mínimo de atributos que possam elucidar processos do ecossistema; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas; ser acessível aos usuários, aplicável a condições de campo; sensível a variações de manejo e de clima e ao longo do tempo.

Ademais, o conceito adequado de um IQS deve ser sistêmico e não reducionista; dessa forma, os indicadores devem descrever os processos ecológicos do solo. Segundo Arshad e Coen, (1992) o IQS pode ser utilizado como parâmetro avaliativo da qualidade do solo devido à sensibilidade em detectar as diferenças intrínsecas do solo e dos sistemas de manejo ao longo do tempo, servindo como instrumento para o auxílio às tomadas de decisão quanto ao uso e manejo do solo.

### 3 ATRIBUTOS DA QUALIDADE FÍSICA E FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO

**Resumo** – Sistemas de manejo que preconizam o revolvimento e a sistematização dos solos de várzea do Rio Grande do Sul têm evidenciado redução da capacidade produtiva e da qualidade, favorecendo a degradação destes solos. Objetivou-se avaliar o sistema poroso, a densidade, a resistência do solo à penetração, a agregação, as frações da matéria orgânica e os estoques de carbono, os índices de labilidade, estoque e manejo do carbono em um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema de plantio direto (SPD). O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Terras Baixas, Embrapa Clima Temperado, no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,03; 0,03 a 0,06; 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m utilizando anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro por 3,0 cm de altura, as quais em laboratório foram utilizadas para determinar a porosidade total (Pt); a macroporosidade (Ma); a microporosidade (Mi); a resistência do solo à penetração (Rp) e a densidade do solo (Ds). Além disso, foram coletadas 16 amostras de solo com estrutura não preservada por tratamento, as quais, em laboratório, foram destorroadas manualmente em seus pontos de fraqueza e então secas ao ar para determinar as classes de agregados estáveis em água (Ci); o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP); os macroagregados; os microagregados; os teores de carbono orgânico total (COT), o carbono da fração leve livre (FLL), da fração leve oclusa (FLO), da fração pesada (FP); a proporção de COT em cada fração e estoques de carbono no solo (EstC). Além disso, os índices de labilidade (ILC), de estoque (IEC) e de manejo de carbono (IMC) também foram calculados. O maior tempo de implantação do sistema plantio direto (SPD) aumentou a porosidade total e os estoques de carbono no solo, diminuindo a microporosidade, a resistência do solo à penetração e a densidade. A partir do quinto ano de implantação do sistema plantio direto (SPD5), melhorias na qualidade estrutural puderam ser observadas, evidenciadas pela maior porcentagem de agregados estáveis em água nas classes de diâmetro de 9,51 a 4,76 e de 4,75 a 2,00 mm nas camadas de 0,00 a 0,03 e 0,03 a 0,06 m, promovendo o diâmetro médio ponderado dos agregados. O SPD na camada de 0,10 a 0,20 m não promoveu alterações à porosidade total, microporosidade, macroagregados, microagregados, diâmetro médio ponderado de agregados e nas classes de agregados estáveis em água, porém a labilidade (ILC), os estoques (IEC) e o índice de manejo do carbono (IMC) mostraram que 5 anos de implantação do SPD são suficientes para demonstrar melhorias da qualidade física do Planossolo.

**Palavras-Chave:** Degradação do solo, qualidade do solo, solos de várzea.

**Abstract** – Management systems which advocate the plowing and the land leveling of the Rio Grande lowland soils have shown reduction in productive capacity and quality, promoting the degradation of these soils. This work aimed to evaluate the porous system, bulk density, soil resistance to penetration, aggregation, fractions of organic matter and carbon stocks, the lability, stock and carbon management indexes in an Albaqualf under no-tillage system (SPD) in different deployment times. The study was conducted at the Experimental Station of Lowlands, Embrapa Temperate Climate, in the municipal Capão do Leão, Rio Grande do Sul. Soil samples with preserved structure were collected in the layers from 0.00 to 0.03; 0.03 to 0.06; 0.06 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m by using volumetric rings of 4.8 cm diameter by 3.0 cm height, which were used in the laboratory to determine the total porosity (Pt); macroporosity (Ma); microporosity (Mi); the soil penetration resistance (Rp) and the bulk density (Ds). In addition, 16 soil samples with not preserved structure were collected per treatment, which, in the laboratory, were manually disrupted in their weakness points and then air-dried to determine the stable aggregate classes in water (Ci); the mean weight diameter of water stable aggregates (DMP); the macroaggregates; microaggregates; the total organic carbon (COT), carbon free light fraction (FLL), the occluded light fraction (FLO), the heavy fraction (FP); the proportion of COT in each fraction and carbon stocks in soil (EstC). Furthermore, the lability (ILC), stock (IEC) and carbon management (IMC) indexes were also calculated. The longest deployment time of no-tillage system (SPD) increased total porosity and carbon stocks in the soil, reducing the microporosity, soil penetration resistance and density. From the fifth year of no-tillage system (SPD5), structural quality improvements could be observed, evidenced by the higher percentage of water stable aggregates in diameter classes from 9.51 to 4.76 and 4.75 to 2.00 mm in the layer 0.00 to 0.03 and 0.03 to 0.06 m, providing higher mean weight diameter. The SPD in the 0.10 to 0.20 m soil layer did not change the total porosity, microporosity, macroaggregates, microaggregates, mean weight diameter of aggregates and classes of stable aggregates in water, but the lability (ILC), stocks (IEC) and carbon management (IMC) indexes have shown that 5 years of SPD are enough to demonstrate improvements in the physical quality of Albaqualf.

**Keywords:** Land degradation, soil quality, lowland soils.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Existem 5,4 milhões de hectares (ha) de solos de várzea no Rio Grande do Sul, o que corresponde a 20% da área total do Estado. Três milhões de ha estão estruturados e aptos ao cultivo de arroz irrigado, porém somente um milhão é ocupado anualmente com a cultura. A parte restante da área vem sendo tradicionalmente ocupada com pecuária de corte extensiva ou mantida sob pousio, à medida que culturas de sequeiro, especialmente soja, têm se expandido nessas áreas (Pinto et al., 2004).

Apesar da evolução da área plantada com culturas de sequeiro nesta região, as quais preconizam a adoção do sistema plantio direto (SPD), ainda observa-se o emprego do preparo convencional (PC) e outros sistemas de manejo (IRGA, 2014b). Esta situação, além de limitar o potencial de produção agrícola, geralmente resulta na degradação do solo e custos elevados de preparo, evidenciando a necessidade de sistemas alternativos que garantam a sustentabilidade agrícola e ambiental (Gomes et al., 2006; Verneti Júnior et al., 2009).

O PC, nos solos de várzea do bioma Pampa, tem como característica principal a mobilização intensiva do solo, por meio de operações de aração e gradagem, com foco na incorporação dos resíduos vegetais e aplainamento do microrrelevo. Assim como nas áreas de terras altas, os solos de várzea podem apresentar problemas como a perda da qualidade física, pela redução da macroporosidade, dos teores de matéria orgânica e compactação (Bamberg et al., 2009; Lisboa et al., 2012).

A eliminação ou ausência da cobertura vegetal pelo uso do PC expõe a superfície do solo às intempéries climáticas, como a ação do impacto das gotas de chuva (Albuquerque et al., 2002), do vento e altas temperaturas, favorecendo a degradação das áreas. Além disso, a taxa de decomposição passa a superar a adição dos resíduos culturais, diminuindo os teores de matéria orgânica e estoques de carbono, fundamentais na agregação do solo (Tisdall e Oades, 1982). Na medida em que a ação microbiana tem sua atividade e respiração elevadas, proporciona aumento da liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, consumindo matéria orgânica do solo (MOS).

A degradação do solo em áreas de terras altas tem sido relatada como consequência da ação antrópica (Silva et al., 2005) e, considerando o fato de

que as práticas agrícolas adotadas atualmente possuem estreita relação com esse processo, é fundamental a utilização de alternativas mitigadoras da compactação e da erosão. Em contraste, um número reduzido de trabalhos têm objetivado avaliar a qualidade física de solos de várzea sob diferentes sistemas de manejo no Sul do Brasil.

Sistemas com mobilização reduzida ou localizada têm propiciado benefícios à qualidade física como aumento da estabilidade de agregados e dos teores de carbono orgânico nas camadas superficiais em Neossolo (Oliveira et al., 2012). Em Planossolos, também foi observada redução da densidade à medida que a porosidade total foi promovida (Lima et al., 2006). Ou seja, a qualidade do solo baseia-se nos aspectos físicos, químicos e biológicos e relaciona-se com a capacidade do solo em sustentar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, proporcionar melhorias ambientais relacionadas à água e o ar (Doran e Parkin, 1994; Reichert et al., 2003).

Além disso, a qualidade física destaca-se por influenciar aspectos importantes para identificar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo. A manutenção ou incremento da qualidade do solo, de forma a promover seu potencial é essencial para os sistemas de agrícolas (Mielniczuk et al., 2003), que podem ser avaliados através da utilização de índices de qualidade (Andrews e Carroll, 2001).

Índices têm sido utilizados para avaliar a capacidade do sistema de manejo em promover a qualidade do solo através da avaliação das frações físicas da MOS, utilizando-se o método do fracionamento densimétrico (Vieira et al., 2007). Especificamente, o método densimétrico baseia-se na separação das frações da matéria orgânica com base na diferença de densidade entre a fração leve (FL) e a fração pesada (FP), utilizando soluções com densidade variando de 1,0 a 2,4 g cm<sup>-3</sup> (Conceição et al., 2008).

A FL pode ser separada em FL livre, aquela que se localiza entre os agregados (FLL) e oclusa, aquela localizada dentro dos agregados (FLO). As três frações (FLL, FLO e FP) desempenham diferentes funções de acordo com sua localização na matriz do solo e permitem fazer inferências sobre a atuação dos mecanismos de estabilização da MOS e sobre a qualidade do solo.

Dentre os índices propostos, Blair et al. (1995) sugeriram o Índice de Manejo de Carbono (IMC), capaz de sintetizar aspectos qualitativos (labilidade ou suscetibilidade à alteração pelo sistema de manejo e microrganismos) e quantitativos (estoque de carbono) da MOS, comparados a uma condição de referência, geralmente uma área de vegetação nativa, a qual se considera um IMC = 100%.

Portanto, um solo com qualidade física ideal para a produção agrícola é aquele que permite a infiltração, o armazenamento e disponibilidade de água às plantas, abastecimento de córregos e camadas subsuperficiais, resiste à degradação, permite as trocas de calor e gases com a atmosfera e raízes de plantas, possibilitando o crescimento vegetativo e sendo avaliada utilizando indicadores como a porosidade total, a distribuição e tamanho de poros, a distribuição do tamanho das partículas, a densidade, a estabilidade dos agregados (Singer e Ewing, 2000; Reichert et al., 2003;) as frações, os estoques e o índices de manejo de carbono (Tomazi et al., 2011).

Nesse sentido, Andruschkewitsch et al. (2014) observaram que três anos de implantação do SPD promoveu a macroagregação de um Chernossolo e um Luvisolo na camada de 0,00 a 0,05 m. Quando comparado com sistema de cultivo mínimo e preparo convencional, concluíram que os diferentes sistemas de manejo do solo interagem com a quantidade de resíduos orgânicos gerando um estado de equilíbrio em termos de macroagregação. Nas mais variadas partes do mundo, em diferentes tipos de solo, os sistemas de manejo têm sido avaliados no sentido de identificar as práticas que promovem ou reduzem a qualidade do solo.

Dessa forma, este trabalho testa a hipótese de que o maior tempo de implantação do SPD, baseado nos princípios de não revolvimento; aporte contínuo em quantidade e qualidade de resíduos orgânicos e sucessão de culturas pode promover porosidade total, a macroporosidade, os teores de carbono nas frações leve livre, oclusa, pesada, favorecendo a estabilidade de agregados, o diâmetro médio ponderado do agregados, reduzindo a resistência do solo à penetração e a densidade.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tempo de implantação do SPD sobre da qualidade de um Planossolo Háplico do bioma Pampa no Sul do Brasil.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Terras Baixas, pertencente à Embrapa Clima Temperado, situada no município Capão do Leão, Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas da estação experimental são 31°49'04,13" de latitude Sul e 52°27'53,77" de longitude Oeste, sendo o croqui da área apresentado na Figura 2.



**Figura 2** – Imagem aérea e localização dos tratamentos na Estação Experimental de Terras Baixas – Embrapa Clima Temperado.

O clima da região é do tipo *Cfa*, onde *C*: clima mesotérmico quente, com média do mês mais frio entre 3 e 18 °C; *f*: precipitação pluvial média mensal não inferior a 60 mm, sempre úmido; e *a*: temperatura do mês mais quente superior a 22 °C, conforme a classificação de Köppen.

O solo foi classificado como Planossolo Háplico *Eutrófico* típico, de textura franca (460 g kg<sup>-1</sup> de areia, 370 g kg<sup>-1</sup> de silte, e 170 g kg<sup>-1</sup> de argila) até a camada de 0,20 m (Cunha e Costa, 2013). As áreas experimentais historicamente eram manejadas sob preparo convencional, entretanto, antes da implantação do SPD foi realizada a subsolagem e a correção da acidez, (CQFS, 2004), mediante incorporação superficial de calcário dolomítico com grade de discos, homogeneizando as áreas experimentais.

Após a implantação do SPD, foram estabelecidas diferentes plantas de cobertura (Tabela 1) que receberam 300 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante mineral (N-P-K): 2-20-20 para leguminosas de verão e 300 kg ha<sup>-1</sup> de 5-20-20 na base e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N de cobertura para gramíneas de verão e de inverno. Plantas de cobertura (azevém) de inverno receberam 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, enquanto as plantas espontâneas não receberam adubação.

**Tabela 1** – Sucessão cultural agrícola em um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD).

Trat*	Ano agrícola							
	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13
SPD1	...	...	...	...	...	...	Mi	Tr + Mi
SPD3	...	...	...	...	Mi	Az + Es + Sj	Tr + Sj	Tr + Sj
SPD5	...	...	Mi	Az + Es + Sj	Tr + Sg	Az + Es + Sj	Tr + Sj	Az + Es + Sj
SPD7	Mi + Az + Tb	Sj + Tr	Mi	Tr + Gs	Tr + Mi	Az + Es + Sg	Az + Es + Sj	Az + Es + Sj

\*Tratamentos: áreas com um (SPD1), três (SPD3), cinco (SPD5) e sete (SPD7) anos de implantação do sistema plantio direto (SPD). Mi: Milho; Tr: Trigo; Az: Azevém; Es: Espontâneas; Sj: Soja; Sg: Sorgo; Tb: Trevo branco; Gs: Girassol.

O estudo compreende a comparação de áreas com: 1 ano (SPD1); 3 anos (SPD3); 5 anos (SPD5); 7 anos de implantação do sistema plantio direto (SPD7), tendo como referência uma área de campo não cultivado por mais de 30 anos e ocupado com espécies espontâneas (CN), não pastejado e em local adjacente às demais áreas sob SPD, não constituindo, portanto, um delineamento experimental.

### 3.2.2 Amostragem do solo

A amostragem do solo foi realizada nos meses de Agosto e Outubro de 2013 nas camadas de 0,00 a 0,03; de 0,03 a 0,06; de 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. A escolha dessas camadas foi determinada em função da suscetibilidade às alterações físico-hídricas decorrentes do sistema de manejo, dos sistemas radiculares das culturas adotadas ao longo do tempo e da proximidade (~7,5 cm) (Santos et al., 2013) do horizonte B plânico do Planossolo.

O solo com estrutura preservada foi coletado em anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro por 3,0 cm de altura, totalizando 240 amostras (3 anéis por camada x 4 camadas de solo x 4 repetições x 5 tratamentos). Nestas amostras,

em laboratório, foi determinada a porosidade total (Pt); a macroporosidade (Ma); a microporosidade (Mi); a relação Mi/Ma; a resistência à penetração (Rp) e a densidade do solo (Ds).

Além disso, 80 amostras com estrutura não preservada foram coletadas (1 amostra x 4 camadas de solo x 4 repetições x 5 tratamentos) e em laboratório, foram destorroadas manualmente em seus pontos de fraqueza e secas ao ar, para determinação das classes de agregados estáveis em água (Ci); dos macroagregados; dos microagregados e do diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP); do carbono orgânico total (COT) e dos teores de carbono nas frações leve e livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP), obtendo-se por conseguinte a labilidade do carbono (LC) e o índice de manejo de carbono (IMC).

### **3.2.3 Análises físicas do solo**

Amostras com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade durante 48 horas para a determinação da porosidade total do solo (Pt,  $m^3 m^{-3}$ ), da macroporosidade (Ma), da microporosidade (Mi) pelo método da mesa de tensão, utilizando uma sucção de coluna de água de 60 cm (Embrapa, 1997). Nas mesmas amostras, após a saturação e equilíbrio a 10 kPa em câmara de pressão de Richards (Klute, 1986) foi determinada a Rp, a partir de um conteúdo volumétrico de água médio de todos os tratamentos, da camada de 0,00 a 0,20 m de  $0,34 cm^3 cm^{-3}$ , utilizando-se um penetrômetro eletrônico de bancada (MA 933), dotado de variador eletrônico de velocidade e sistema de registro de dados, conforme Tormena et al. (2007).

Em cada amostra realizou-se três repetições do ensaio, distribuídas de forma equidistante na superfície do cilindro e executadas a uma velocidade de penetração de  $20 mm min^{-1}$ . Após a determinação da Rp, as amostras foram secas em estufa a  $105^{\circ}C$ , até estabelecimento de massa constante, obtendo-se a Ds (Embrapa, 1997).

Para determinação das classes de agregados estáveis em água (Ci), dos macroagregados, microagregados e diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP) foram utilizadas amostras com estrutura não preservada conforme metodologia de Kemper e Rosenau (1986),

modificado por Palmeira et al. (1999) com a utilização do aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936).

Os agregados foram classificados em seis diferentes classes de tamanho: C1 = 9,51 a 4,76 mm; C2 = 4,75 a 2,00 mm; C3 = 1,99 a 1,00 mm; C4 = 0,99 a 0,50 mm; C5 = 0,45 a 0,25 mm e C6 < 0,25 mm, sendo avaliado também o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP). Os macroagregados e microagregados foram quantificados segundo Tisdall e Oades (1982), considerando o diâmetro de agregados de 0,25 mm como limite entre essas duas classes.

### **3.2.4 Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo**

Agregados passados em malha de 9,51 mm foram utilizados no fracionamento densimétrico da matéria orgânica (Conceição et al., 2008), consistindo de agitação manual leve de 10 g de solo em 80 mL de solução de politungstato de sódio (PTS), com densidade de 2,00 g cm<sup>-3</sup> em tubo de centrífuga. Após a centrifugação (2.000 g por 1 h), o sobrenadante, contendo a fração leve livre (FLL) foi filtrado (filtro de fibra de vidro 0,45 µm, previamente pesado).

A solução de PTS foi devolvida sobre o material restante no tubo, que foi submetido à dispersão por sonicação com energia de 314 J m L<sup>-1</sup>. O cálculo para a obtenção da energia de dispersão com ultrassom necessária para obtenção de 99% do teor de argila foi elaborado a partir de um modelo exponencial, onde os níveis de energia correspondiam às coordenadas do eixo das abscissas enquanto o teor de argila correspondia às coordenadas do eixo das ordenadas, conforme Conceição et al. (2008).

Após a dispersão, o material foi centrifugado e filtrado novamente para a obtenção da fração leve oclusa (FLO). A fração restante no tubo de centrífuga correspondeu à fração pesada (FP). As FLL e FLO foram secas em estufa a 50°C e moídas em gral para posterior determinação dos teores de carbono. Os teores de carbono orgânico total (COT) do solo e das frações FLL e FLO foram determinados por combustão seca, via analisador elementar, Perkin Elmer sendo a FP obtida por diferença entre as outras frações.

Os estoques de COT foram calculados pela massa equivalente, segundo Sisti et al. (2004), utilizando-se a densidade média do solo em cada camada e

tratamento, tendo o solo sob campo não cultivado (CN) como referência, utilizando-se a Equação 1.

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[ M_{tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n MS_i \right) \right] C_{tn} \quad 1$$

Onde  $C_s$ , corresponde ao estoque de C corrigido em função da massa de solo da área de referência ( $Mg\ C\ ha^{-1}$ );  $\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$  é a soma do carbono orgânico total ( $Mg\ ha^{-1}$ ) da camada superficial à penúltima camada ( $n - 1$ ) do tratamento avaliado;  $M_{tn}$ , massa do solo da última camada amostrada no tratamento ( $Mg\ ha^{-1}$ );  $\sum_{i=1}^n M_{Ti}$  é a soma da massa de solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ) na camada superficial (1) até a camada mais profunda ( $n$ ) no tratamento avaliado;  $\sum_{i=1}^n MS_i$  somatório da massa total do solo amostrado na área de referência ( $Mg\ ha^{-1}$ ) e  $C_{tn}$ , teor de C do solo na última camada amostrada ( $Mg\ C\ Mg^{-1}$  de solo).

Antes da correção pela massa de solo, os estoques de C de cada camada, em todas as áreas estudadas, foram calculados pela Equação 2 (Veldkamp, 1994):

$$EstC = \frac{(COT \times Ds \times e)}{10} \quad 2$$

Em que EstC é o estoque de COT total em determinada profundidade ( $Mg\ ha^{-1}$ ); COT, é o teor de C orgânico total na profundidade amostrada ( $g\ kg^{-1}$ ); Ds, é a densidade do solo da profundidade avaliada ( $Mg\ m^{-3}$ ) e e, representa a espessura da camada considerada (cm). Além disso, foi estimada a participação relativa (Pr) do COT em cada fração utilizando-se a Equação 3, conforme Rosa et al. (2011).

$$Pr = \left[ \left( \frac{\text{Estoque da fração}}{\text{Estoque de COT}} \right) 100 \right] \quad 3$$

A labilidade do carbono (LC) foi calculada como sendo a relação entre a fração de carbono lábil e a fração de carbono não lábil, de acordo com Equação 4:

$$LC = \frac{C\ lábil}{C\ não\ lábil} \quad 4$$

Onde, C lábil é o estoque de carbono da fração leve (FLL + FLO) e C não lábil é o estoque de carbono da fração pesada (FP).

O índice de manejo de carbono (IMC) foi calculado conforme a equação 5, o índice de estoque de carbono (IEC) e o índice de labilidade do carbono

(ILC), foram calculados para a camada de 0,00 a 0,20 m, considerando como referência o solo sob campo não manejado ou pastejado por mais de 30 anos, com IMC = 100%, conforme Blair et al. (1995).

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILC} \times 100 \quad 5$$

Considerando IEC como o estoque de C do tratamento dividido pelo estoque de C da referência; enquanto ILC é a labilidade do carbono no tratamento considerado, dividido pela labilidade do carbono da referência Blair et al., 1995).

### 3.2.5 Procedimento estatístico

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ( $W$ ) ( $n \leq 200$ ) (Razalli e Wah, 2011). Valores discrepantes (*outliers*) foram identificados e excluídos através das medidas do limite inferior (LI) e do limite superior (LS), considerando o primeiro quartil (Q1), o terceiro quartil (Q3) e 1,5 amplitude interquartílica.

Os tratamentos foram comparados através da diferença percentual do valor do parâmetro no tratamento, evidenciado seu incremento (+) ou diminuição (-) em relação ao CN ( $\Delta_{\text{ref}}$ , %) e, excluindo-se o CN, os tratamentos foram submetidos à análise de variância (Anova), as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ). Além disso, por meio de modelos regressivos e do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), ao nível de significância  $p < 0,05$ , verificaram-se as relações entre as variáveis, utilizando-se o software SAS (Statistical Analyses System Institute, 1999).

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral o maior tempo de implantação do SPD promoveu os valores de Pt e Ma reduzindo a diferença percentual (-) destes parâmetros em relação ao CN. Evidenciando que o maior tempo de implantação do SPD promove melhorias à estrutura do solo, sobretudo pelo incremento de Pt e Ma. Valores de Pt obtidos em SPD1 e SPD3 foram ~8% menores que o CN na camada de 0,00 a 0,03 m; ~7 e ~4% menores na camada de 0,03 a 0,06, ~7 e ~11% menores na camada de 0,06 a 0,10 e ~2% na camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 2).

**Tabela 2** – Porosidade total (Pt, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), macroporosidade (Ma, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), microporosidade (Mi, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e relação micro/macroporos (Mi/MA, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta$ ref, %).

Trat*	Pt	$\Delta$ ref	Ma	$\Delta$ ref	Mi	$\Delta$ ref	Mi/Ma	$\Delta$ ref
0,00 a 0,03 m								
SPD1	0,42	-8,7	0,01	-86,9	0,40	+8,1	0,29	+510,6
SPD3	0,42	-8,7	0,03	-67,3	0,39	+5,4	0,15	+212,8
SPD5	0,43	-6,5	0,04	-53,3	0,39	+5,4	0,10	+110,6
SPD7	0,45	-2,2	0,07	-27,1	0,38	+2,7	0,06	+29,8
CN	0,46		0,09		0,37		0,05	
0,03 a 0,06 m								
SPD1	0,38	-7,3	0,02	-77,5	0,36	+9,1	0,19	+268,6
SPD3	0,39	-4,9	0,03	-59,8	0,36	+9,1	0,12	+125,5
SPD5	0,40	-2,4	0,04	-53,9	0,36	+9,1	0,10	+88,2
SPD7	0,41	0,0	0,06	-27,5	0,35	+6,1	0,06	+19,6
CN	0,41		0,09		0,33		0,05	
0,06 a 0,10 m								
SPD1	0,39	-7,1	0,02	-80,2	0,37	+12,1	0,24	+387,8
SPD3	0,37	-11,9	0,02	-77,2	0,35	+6,1	0,21	+318,4
SPD5	0,39	-7,1	0,02	-74,3	0,37	+12,1	0,18	+267,3
SPD7	0,41	-2,4	0,07	-13,9	0,34	+3,0	0,04	0,0
CN	0,42		0,08		0,33		0,04	
0,10 a 0,20 m								
SPD1	0,37	-2,6	0,02	-63,6	0,35	+9,4	0,22	+259,0
SPD3	0,37	-2,6	0,02	-59,1	0,35	+9,4	0,17	+185,2
SPD5	0,37	-2,6	0,03	-51,5	0,34	+6,3	0,14	+121,3
SPD7	0,37	-2,6	0,04	-28,8	0,33	+3,1	0,09	+54,1
CN	0,38		0,06		0,32		0,06	

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

A Ma em SPD1 e SPD3 foi ~86 e ~67% menor (-) que no CN na camada de 0,00 a 0,03 m, ~77 e ~59% menor na camada de 0,03 a 0,06; ~80 e ~77% menor na camada de 0,06 a 0,10 e ~63 e 59% na camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 2) ratificando efeito positivo do não revolvimento do solo, associado à ação radicular na promoção dos poros do solo. Ademais, a Mi em SPD1 foi ~8%, ~9%, ~12% e ~9% maior (+) que o CN nas respectivas camadas avaliadas e a diferença de Mi entre SPD1 e SDP7 foi de 5,4%, evidenciando promoção da Mi pelo SPC na camada de 0,00 a 0,03 m, bem como nas demais camadas (Tabela 2).

A relação Mi/Ma em SPD1 foi ~510, ~268, ~387 e ~259% maior (+) que o CN nas respectivas camadas, reduzindo a magnitude destes valores com o

tempo de implantação do SPD. Ademais, a diferença na relação Mi/Ma entre SPD1 e SPD7 foi de ~481%, o que pode ser atribuído aos 0,06 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> de Ma observados com 6 anos de implantação do SPD, proporcionando a redução da relação Mi/Ma em ~481% (Tabela 2).

Valores médios e erros-padrão da Porosidade total (Pt) e macroporosidade (Ma) seguidos do coeficiente de variação (CV) observados nos tratamentos e camadas avaliadas são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), erros-padrão e coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Trat*	Pt (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	CV (%)	Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	CV (%)
	0,00 a 0,03 m			
SPD1	0,42 ± 0,01 b	8,05	0,01 ± 0,00 d	17,96
SPD3	0,42 ± 0,01 ab	4,96	0,03 ± 0,00 c	28,66
SPD5	0,43 ± 0,01 ab	7,80	0,04 ± 0,00 b	21,61
SPD7	0,45 ± 0,01 a	6,24	0,06 ± 0,00 a	21,31
CN	0,46 ± 0,01	5,39	0,09 ± 0,01	31,26
0,03 a 0,06 m				
SPD1	0,38 ± 0,01 b	4,62	0,02 ± 0,00 c	17,06
SPD3	0,39 ± 0,01 ab	4,95	0,03 ± 0,00 b	19,89
SPD5	0,40 ± 0,01 ab	10,52	0,04 ± 0,00 b	21,84
SPD7	0,41 ± 0,01 a	4,24	0,06 ± 0,00 a	26,46
CN	0,41 ± 0,01	5,11	0,08 ± 0,01	37,42
0,06 a 0,10 m				
SPD1	0,39 ± 0,01 ab	7,50	0,02 ± 0,00 b	26,33
SPD3	0,37 ± 0,01 b	10,01	0,02 ± 0,00 b	45,09
SPD5	0,39 ± 0,01 ab	7,50	0,02 ± 0,00 b	28,94
SPD7	0,41 ± 0,01 a	7,96	0,07 ± 0,00 a	21,64
CN	0,42 ± 0,01	7,90	0,08 ± 0,01	41,96
0,10 a 0,20 m				
SPD1	0,37 ± 0,01 a	8,46	0,02 ± 0,00 a	62,00
SPD3	0,37 ± 0,01 a	5,38	0,02 ± 0,00 a	23,49
SPD5	0,37 ± 0,01 a	6,30	0,03 ± 0,00 a	28,17
SPD7	0,37 ± 0,01 a	10,30	0,04 ± 0,00 a	27,57
CN	0,38 ± 0,01	4,72	0,05 ± 0,00	20,49

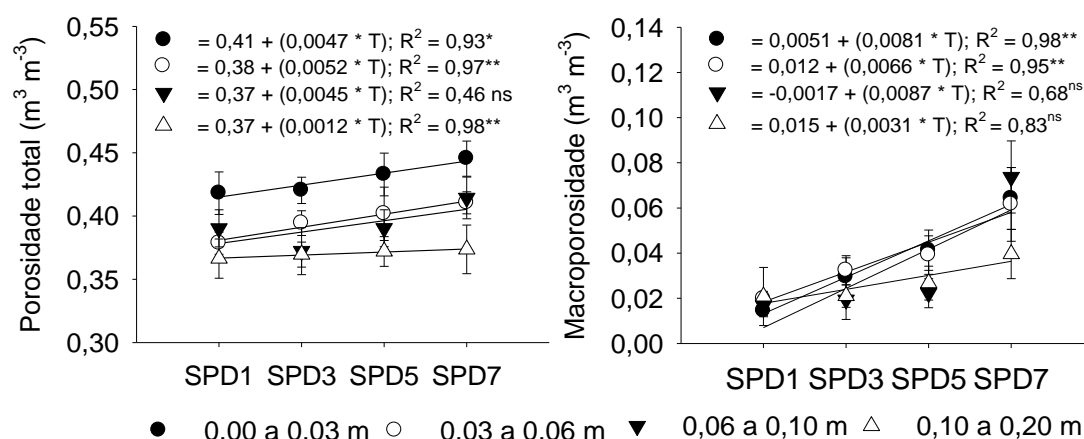
\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Estes resultados evidenciam que reduções no preparo do solo resultam em progressiva mudança no sistema poroso ao longo do tempo, sobretudo pela promoção da Pt e Ma, conduzindo a um estado de equilíbrio com Mi e Mi/Ma

favorecendo a estrutura do solo. Entretanto, pequenas mudanças iniciais no tempo podem ser imperceptíveis, como pode ser observado em Pt e Ma nas diferentes camadas através dos tratamentos SPD1 e SPD3 (Tabela 3).

Pauletto et al. (2005) avaliando um solo de várzea (Gleissolo Háplico) também verificaram experimentalmente que três anos de adoção do sistema plantio direto representa pouco tempo para que os efeitos da mudança possam ser observados no sistema poroso. Além disso, afirmam que após três meses de preparo do solo, não são observadas mudanças na Ma devido à acomodação do solo. E embora tenham a mesma unidade de medida, Pt e Ma apresentam magnitude de valores diferentes, como observado na Figura 3. Porém, a tendência de aumento dos atributos com o maior tempo de implantação do SPD é evidente, sendo verificada significância da relação nas camadas superficiais.



**Figura 3** – Porosidade total e macroporosidade de um Planossolo Háplico Eutrófico sob diferentes camadas e tempos (T) de implantação do sistema plantio direto.

Barras verticais indicam os desvios em relação à média.

ns: não significativo; \*, \*\*: significativo a 5% e 1% respectivamente.

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

Médias e erros-padrão da microporosidade (Mi) e relação micro/macroporoso (Mi/Ma) seguidas do coeficiente de variação (CV) observadas nos tratamentos e camadas avaliadas são apresentadas na Tabela 4. As diferenças estatísticas de Mi entre os tratamentos foram observadas somente na camada 0,06 a 0,10 m, enquanto diferenças estatísticas para Mi/Ma foram observadas em todas as camadas avaliadas (Tabela 4).

**Tabela 4** – Microporosidade (Mi), relação micro/macroporos (Mi/MA), erros-padrão e coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Trat*	Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	CV (%)	Mi/Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	CV (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
	0,00 a 0,03 m			
SPD1	0,40 ± 0,01 a	8,43	0,29 ± 0,01 a	16,86
SPD3	0,39 ± 0,01 a	7,14	0,15 ± 0,02 b	39,32
SPD5	0,39 ± 0,01 a	7,60	0,10 ± 0,01 c	23,18
SPD7	0,38 ± 0,01 a	7,26	0,06 ± 0,00 d	20,55
CN	0,37 ± 0,01	10,64	0,05 ± 0,01	48,17
0,03 a 0,06 m				
SPD1	0,36 ± 0,01 a	5,24	0,19 ± 0,01 a	21,05
SPD3	0,36 ± 0,01 a	4,52	0,12 ± 0,01 b	16,99
SPD5	0,36 ± 0,01 a	9,62	0,10 ± 0,00 b	17,60
SPD7	0,35 ± 0,00 a	3,88	0,06 ± 0,01 c	31,73
CN	0,33 ± 0,01	8,94	0,05 ± 0,01	69,02
0,06 a 0,10 m				
SPD1	0,37 ± 0,01 a	7,52	0,24 ± 0,02 a	30,99
SPD3	0,35 ± 0,01 ab	8,81	0,21 ± 0,02 ab	31,54
SPD5	0,37 ± 0,01 a	7,34	0,18 ± 0,02 b	34,34
SPD7	0,34 ± 0,01 b	6,88	0,04 ± 0,00 c	31,00
CN	0,33 ± 0,00	3,80	0,04 ± 0,01	48,60
0,10 a 0,20 m				
SPD1	0,35 ± 0,01 a	11,20	0,22 ± 0,03 a	44,61
SPD3	0,35 ± 0,01 a	6,02	0,17 ± 0,01 ab	23,12
SPD5	0,34 ± 0,01 a	8,10	0,14 ± 0,01 bc	25,58
SPD7	0,33 ± 0,01 a	12,95	0,09 ± 0,01 c	43,99
CN	0,32 ± 0,01	6,32	0,06 ± 0,01	21,35

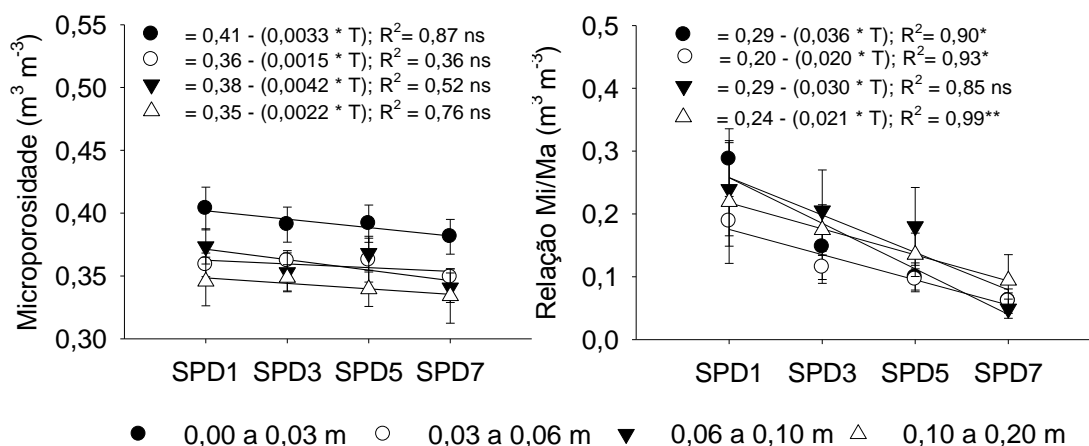
\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Pauletto et al. (2005) observaram valores de Mi em um solo de várzea variando de 0,29 a 0,39 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, enquanto os obtidos nesse estudo variaram de 0,32 a 0,40 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Similarmente, estes autores verificaram que a relação Mi/Ma variou 0,07:0,01 a 0,13:0,01, enquanto neste trabalho a relação observada variou de 0,04:0,01 à 0,28:0,01 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, constituindo uma amplitude expressivamente maior, sobretudo devido ao número de camadas avaliadas em contraste com as avaliadas por Pauletto et al. (2005), (0,00 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m).

Os dados atestam que as camadas superficiais são as que sofrem efeito imediato dos sistemas de manejo, alterando, principalmente o sistema poroso,

evidenciando, sobretudo, reduções da Mi e da Mi/Ma com o maior tempo de implantação do SPD (Figura 4).



**Figura 4** – Microporosidade e Relação Mi/Ma de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes camadas e tempos (T) de implantação do sistema plantio direto.

Barras verticais indicam os desvios em relação à média.

ns: não significativo; \*, \*\*: significativo a 5% e 1% respectivamente.

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

A relação Mi/Ma obtida nos tratamentos indica redução com o maior tempo de implantação do SPD (Figura 4), sobretudo pelo incremento dos valores de Ma. Entretanto, mesmo em condições próximas às naturais do bioma Pampa, como as verificadas do CN (Tabela 4), os valores sugerem inadequação para o desenvolvimento de culturas de sequeiro, haja vista que o valor de Mi/Ma considerado limitante ao desenvolvimento das plantas agrícola é de 0,02:0,01 (Kiehl, 1979; Brady e Weil, 2002), o que denota incongruência, considerando o estabelecimento e desenvolvimento das plantas utilizadas (Tabela 1) ao longo dos anos nestas áreas.

Valores de Ma ( $r = 0,40$ ;  $p < 0,01$ ) e Mi ( $r = 0,80$ ;  $p < 0,01$ ) estiveram positivamente correlacionados com Pt, (Tabela 5) e embora seja observada reduções nos valores de Mi com o maior tempo de implantação do SPD (Figura 4), a relação inversa somente se verifica entre Pt e Mi/Ma ( $r = -0,17$ ;  $p < 0,01$ ), atestando que incrementos de Ma reduzem substancialmente os valores de Mi/Ma ( $r = -0,83$ ;  $p < 0,01$ ). Ademais, Mi/Ma ( $r = -0,17$ ;  $p < 0,01$ ), Rp ( $r = -0,50$ ;  $p < 0,01$ ) e Ds ( $r = -0,39$ ;  $p < 0,01$ ) estiveram negativamente correlacionados à

Pt, evidenciando que o maior tempo de implantação do SPD reduz a relação Mi/Ma (Figura 4), a Rp e a Ds à medida que a Pt é promovida.

**Tabela 5** – Correlações de Pearson de atributos de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto na camada 0,00 a 0,20m (n = 192).

	Ma	Mi	Mi/Ma	Rp	Ds
Pt*	0,40**	0,80**	-0,17**	-0,50**	-0,39**
Ma		-0,15**	-0,83**	-0,40**	-0,47**
Mi			0,30**	-0,29**	-0,16**
Mi/Ma				0,32**	0,37**
Rp					0,45**

\*Pt: Porosidade total ( $m^3m^{-3}$ ), Ma: Microporosidade ( $m^3m^{-3}$ ), Mi: Microporosidade ( $m^3m^{-3}$ ), Mi/Ma: Relação micro/macroporoso ( $m^3m^{-3}$ ), Rp: Resistência à penetração (MPa) e Ds: Densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ ). ns: Não significativa; \*: Significativa ao nível de 5%; \*\*: Significativa ao nível de 1%.

Trabalhos como o de Palm et al. (2014) e Verhulst et al. (2010) têm ressaltado a divergência de informações sobre os efeitos do SPD e SPC em diferentes camadas e atributos do solo, sobretudo alterando o volume de poros e Ds, que conforme Verhulst et al. (2010), são variáveis que se relacionam de forma proporcionalmente inversa, sendo a forma, o tamanho e a continuidade dos poros determinadas pelo manejo, tráfego, crescimento radicular e fauna edáfica.

Médias de Resistência do solo à penetração (Rp) e Densidade do solo (Ds) considerando o aumento (+) ou a diminuição (-) em porcentagem em relação ao CN, são apresentadas na Tabela 6. Em cada camada observa-se que os valores médios de Rp e Ds diminuíram com o maior tempo de implantação do SPD, entretanto, aumentaram com a profundidade do solo. Nesse sentido, o valor de Rp observado em SPD1 foi ~53%, ~71%, ~100% e ~113% maior que o CN nas respectivas camadas avaliadas, bem como o SPD7, que foi ~9%, ~15%, ~29% e ~47% maior que a referência (CN), ou seja, a Rp diminui substancialmente com o maior tempo de implantação do SPD, apresentando valores próximos aos observados no CN.

Valores de Ds em SPD1 foram ~20%, ~13%, ~12% e ~10% maiores que o CN nas respectivas camadas avaliadas, enquanto os valores de SPD7 foram ~5%, ~3%, ~5% maiores que o CN, não havendo diferenças percentual entre o SPD7 e o CN na camada de 0,10 a 0,20m, o que atesta melhoria da qualidade

do solo pelas reduções de Rp e Ds, devida principalmente pela melhoria do sistema poroso do solo ao longo do tempo (Tabela 6).

**Tabela 6** – Resistência à penetração (Rp, MPa) e densidade (Ds, Mg ha<sup>-1</sup>) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta_{ref}$ , %).

Trat*	Rp	$\Delta_{ref}$	Ds	$\Delta_{ref}$
	0,00 a 0,03 m			
SPD1	1,12	+53,4	1,62	+20,0
SPD3	0,90	+23,3	1,61	+19,3
SPD5	0,84	+15,1	1,56	+15,6
SPD7	0,80	+9,6	1,42	+5,2
CN	0,73		1,35	
0,03 a 0,06 m				
SPD1	1,44	+71,4	1,74	+13,7
SPD3	1,12	+33,3	1,70	+11,1
SPD5	1,02	+21,4	1,64	+7,2
SPD7	0,97	+15,5	1,59	+3,9
CN	0,84		1,53	
0,06 a 0,10 m				
SPD1	1,78	+100,0	1,75	+12,9
SPD3	1,35	+51,7	1,72	+11,0
SPD5	1,30	+46,1	1,65	+6,5
SPD7	1,15	+29,2	1,63	+5,2
CN	0,89		1,55	
0,10 a 0,20 m				
SPD1	2,20	+113,6	1,76	+10,7
SPD3	1,72	+67,0	1,71	+7,5
SPD5	1,56	+51,5	1,65	+3,8
SPD7	1,52	+47,6	1,59	0,0
CN	1,03		1,59	

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Diferenças estatísticas entre Rp e Ds, seguidas dos seus respectivos erros-padrão e coeficiente de variação (CV) observadas entre os tratamentos e camadas avaliadas são apresentadas na Tabela 7. Valores de Rp variaram de 0,73 a 2,20 MPa, sendo SPD1 o tratamento de maior Rp, diferindo do SPD7 em todas as camadas, e caracterizando-se em média com 1,5 MPa a mais que o SPD7. Além disso, valores de Ds observados variaram de 1,35 a 1,76 Mg ha<sup>-1</sup>, evidenciando diferença entre SPD1 e SPD7, demonstrando que o tempo de 5 anos de implantação do SPD é insuficiente para mitigar os efeitos de sistemas

de preparo que promovem a Ds na camada 0,00 a 0,03 m, e sugerindo o tempo de 7 anos como suficiente para reverter os efeitos da promoção da Ds.

**Tabela 7** – Resistência à penetração (Rp), densidade (Ds), erros-padrão e coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Trat*	Rp (MPa)	CV (%)	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	
			CV(%)	
0,00 a 0,03 m				
SPD1	1,12 ± 0,11 a	33,51	1,62 ± 0,03 a	7,20
SPD3	0,90 ± 0,12 ab	47,45	1,61 ± 0,02 a	3,80
SPD5	0,84 ± 0,05 b	20,71	1,56 ± 0,03 a	6,35
SPD7	0,80 ± 0,05 b	20,74	1,42 ± 0,04 b	8,99
CN	0,73 ± 0,04	20,21	1,35 ± 0,02	5,71
0,03 a 0,06 m				
SPD1	1,44 ± 0,10 a	25,02	1,74 ± 0,02 a	3,48
SPD3	1,12 ± 0,06 b	18,66	1,7 ± 0,03 ab	6,21
SPD5	1,02 ± 0,07 b	22,19	1,64 ± 0,02 bc	5,07
SPD7	0,97 ± 0,04 b	15,93	1,59 ± 0,04 c	7,66
CN	0,84 ± 0,06	26,21	1,53 ± 0,02	5,49
0,06 a 0,10 m				
SPD1	1,78 ± 0,14 a	26,79	1,75 ± 0,02 a	3,74
SPD3	1,35 ± 0,06 b	16,54	1,72 ± 0,03 a	5,08
SPD5	1,3 ± 0,08 b	20,56	1,65 ± 0,02 b	4,11
SPD7	1,15 ± 0,08 b	25,41	1,63 ± 0,02 b	5,19
CN	0,89 ± 0,04	14,28	1,55 ± 0,03	5,70
0,10 a 0,20 m				
SPD1	2,20 ± 0,09 a	13,38	1,76 ± 0,01 a	2,79
SPD3	1,72 ± 0,11 b	21,77	1,71 ± 0,03 ab	5,98
SPD5	1,56 ± 0,08 b	18,36	1,65 ± 0,03 bc	5,47
SPD7	1,52 ± 0,10 b	23,58	1,59 ± 0,04 c	7,94
CN	1,03 ± 0,04	15,00	1,59 ± 0,02	3,93

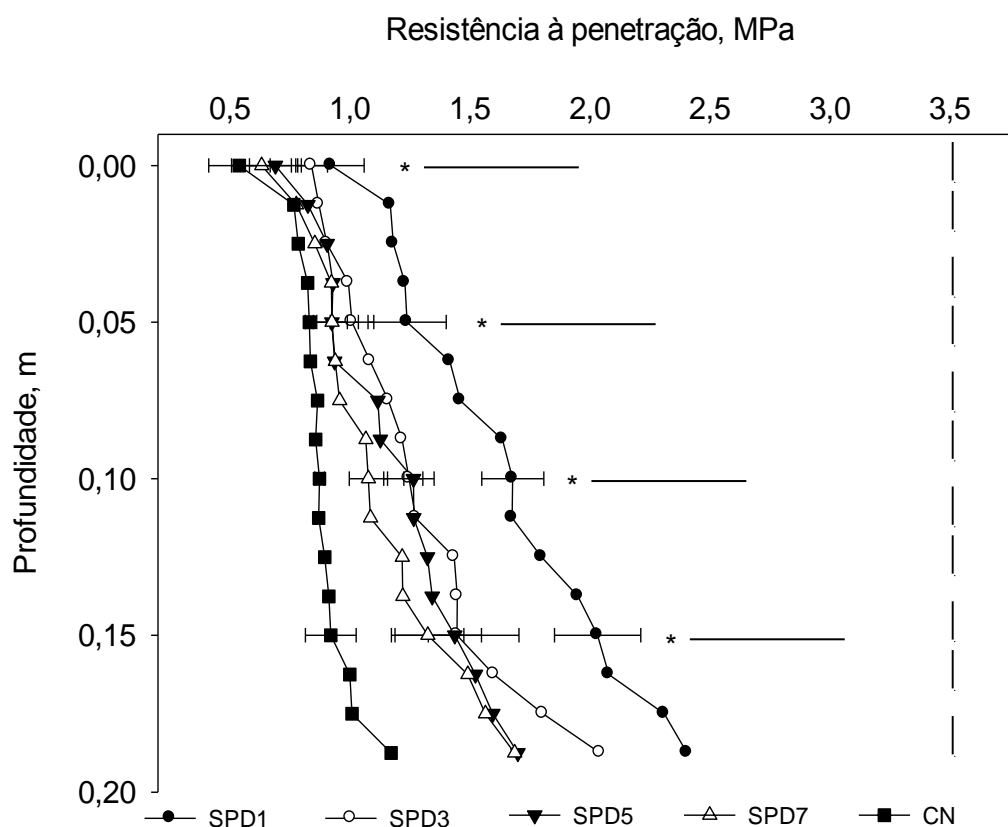
\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Schwen et al. (2011), López-Garrido et al. (2014) e Moraes et al. (2014) têm ressaltado incremento de Ds em solo sob SPD contrastando com solo sob PC. Schwen et al. (2011) que avaliaram por dois anos consecutivos o efeito de diferentes sistemas de manejo em um Chernossolo, obtiveram valores médios de Pt de 0,46 e 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, significativamente diferentes entre SPD e PC respectivamente, bem como valores maiores de Ds sob SPD (1,44 Mg m<sup>-3</sup>) em contraste com PC (1,34 Mg m<sup>-3</sup>), atribuindo esse fato ao adensamento natural promovido por um período de 12 anos, sem revolvimento do solo sob SPD.

Os dados observados por Schwen et al. (2011) contrastam com os verificados nesse estudo à medida que  $R_p$  diminui com o maior tempo de implantação do SPD. Além disso, como a  $R_p$  tem relação inversa com a  $P_t$ ,  $M_a$  e  $M_i$  (Tabela 5), que têm papel fundamental no processo de infiltração e retenção de água (Moraes et al. 2014), fazendo com que as forças de coesão sejam reduzidas, bem como entre partículas e agregados resultando em redução da  $R_p$  (Ros et al., 2011) com o incremento do conteúdo volumétrico de água no solo.

Nenhuma das áreas avaliadas apresentou valores de  $R_p$  próximos do considerado crítico ao desenvolvimento de plantas de (3,5 MPa), como sugerido por Moraes et al., (2014) para solos sob SPD (Figura 5).



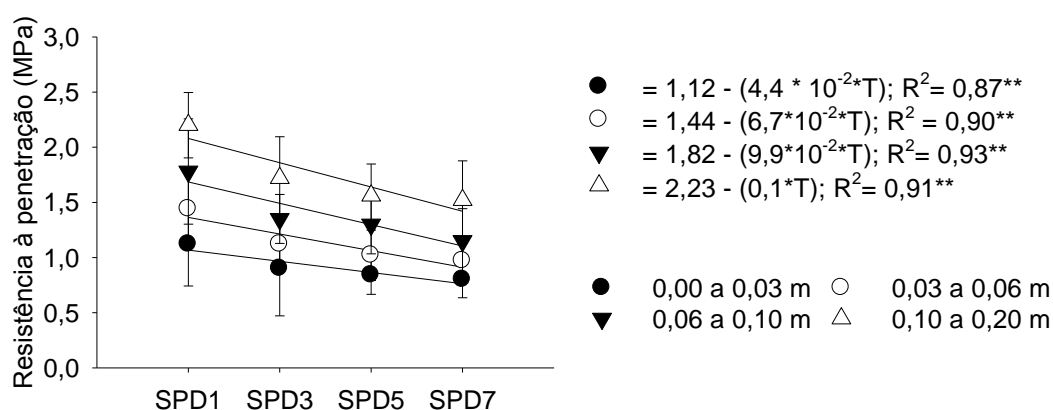
**Figura 5** – Resistência à penetração de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e um campo não cultivado (CN).

A linha tracejada na vertical indica o valor limitante ao desenvolvimento das plantas sob SPD (Moraes et al., 2014), enquanto linhas na horizontal representam os desvios em relação à média e (\*) evidencia diferença significativa entre as médias pelo teste DMS a 5% de probabilidade de erro.

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

As áreas sob SPD evidenciaram Rp maior que o CN, comprovando que a manutenção dos resíduos orgânicos sobre a superfície do solo favorece a fauna edáfica que age degradando e incorporando os resíduos vegetais, aumentando o conteúdo de matéria orgânica no solo. Havendo, dessa forma, promoção da estruturação e estabilização dos agregados de maiores diâmetros (Tisdal e Oades, 1982), promovendo a Pt e reduzindo a Ds, contrastando com os resultados de Schwen et al. (2011) e com a sua afirmativa que o adensamento natural dos solo sob SPD pode ser caracterizado como compactação e restritivo ao desenvolvimento das plantas.

Evidencia-se na Figura 6 o efeito do tempo de implantação do SPD sobre a Rp.



**Figura 6** – Resistência à penetração de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto.

Barras verticais indicam os desvios em relação à média.

ns: não significativo; \*, \*\*: significativo a 5% e 1% respectivamente.

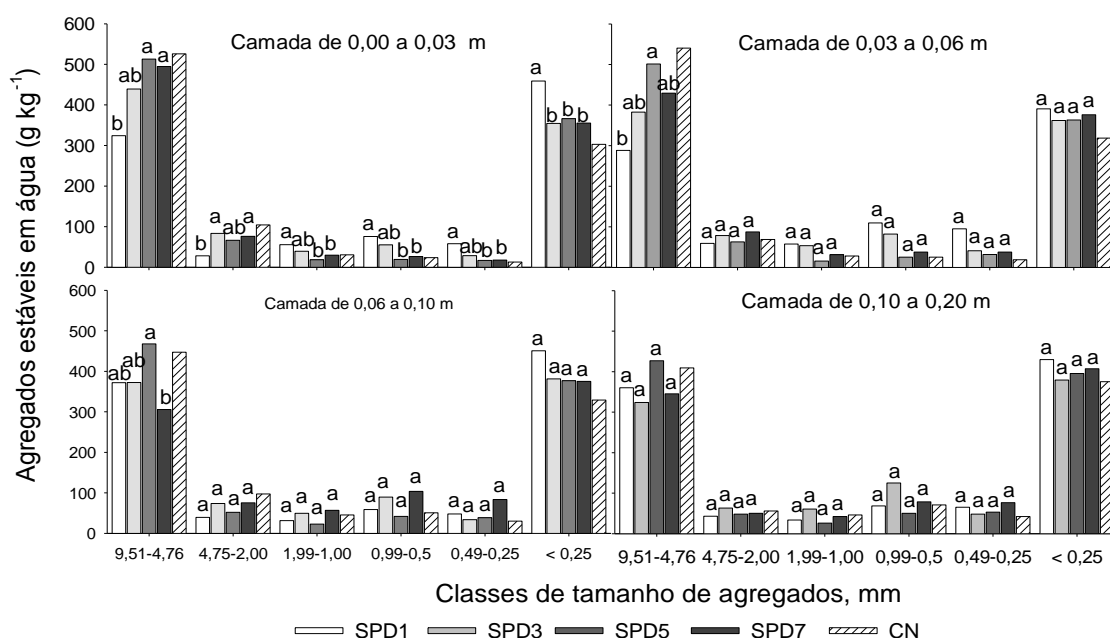
SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

As relações lineares nas diferentes camadas avaliadas evidenciam pela significância ( $p < 0,01$ ) ao efeito do maior tempo de implantação do SPD na redução da Rp (Figura 6) sustentando a afirmação de que a compactação é resultado do aumento de massa por unidade de volume, assim, valores de Rp e Ds podem ser elevados à medida que Pt diminui linearmente (Beutler et al., 2005). Todavia, o aumento de massa por unidade de volume é obtido pela desfragmentação de agregados maiores em menores; redução da matéria orgânica, que exposta às intempéries climáticas deixa de atuar como agente cimentante e estabilizante dos agregados quando no processo de revolvimento

do solo, favorecendo a desagregação, aumento da Ds, Rp e compactação do solo.

Verifica-se proximidade dos valores de Pt, Mi, Rp e Ds entre o tratamento SPD7 e CN, atribuídos à mudança do sistema de manejo do solo, à ação mecânica radicular das espécies de cobertura utilizadas ao longo do tempo, à sucessão de culturas e seus resíduos. O aporte de resíduos orgânicos decompostos ou em decomposição das diferentes espécies de plantas de cobertura promove a atividade biológica e a sua diversificação, melhorando a qualidade física do solo sob SPD (Aziz et al., 2013).

As classes de agregados são apresentadas na Figura 7.



**Figura 7** – Agregados estáveis em água em diferentes classes de distribuição de tamanho de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto.

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Na classe de maior diâmetro (9,51-4,76 mm) nas camadas de 0,00 a 0,03 e 0,03 a 0,06 m não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre SPD3, SPD5 e SPD7, entretanto o SPD1 apresentou a menor quantidade de agregados nesta classe, distinguindo-se estatisticamente dos demais tratamentos. Em contraste, na classe de menor diâmetro (< 0,25 mm), as maiores quantidades de agregados foram observadas pelo SPD1, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos somente na camada de 0,00 a 0,03 m

(Figura 7). A expressão do SPD1 nas menores classes evidencia que o efeito do preparo solo, realizado por alagamento e formação da lama, destrói os agregados de maior tamanho, favorecendo a presença de microagregados, corroborando com Lima et al. (2003) que avaliando diferentes sistemas de manejo em um Planossolo observaram comportamento similar aos desse estudo, evidenciando que o manejo convencional e alagamento reduzem a estabilidade dos agregados.

Os macroagregados, microagregados e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) em relação ao aumento (+) ou diminuição (-) comparados com o CN são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8** – Macroagregados (Macro, g kg<sup>-1</sup>), microagregados (Micro, g kg<sup>-1</sup>) e diâmetro médio ponderado (DMP, mm) dos agregados estáveis em água (DMP) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta$ ref, %).

Trat*	Macro	$\Delta$ ref	Micro	$\Delta$ ref	DMP	$\Delta$ ref
0,00 a 0,03 m						
SPD1	542	-22,2	459	+51,5	2,6	-38,1
SPD3	645	-7,5	355	+17,2	3,6	-14,3
SPD5	634	-9,0	366	+20,8	3,9	-7,1
SPD7	645	-7,5	355	+17,2	3,9	-7,1
CN	697		303		4,20	
0,03 a 0,06 m						
SPD1	609	-10,6	391	+22,6	2,5	-40,3
SPD3	638	-6,3	362	+13,5	3,2	-23,6
SPD5	636	-6,6	363	+13,8	3,9	-6,9
SPD7	624	-8,4	376	+17,9	3,5	-16,5
CN	681		319		4,19	
0,06 a 0,10 m						
SPD1	549	-18,2	451	+37,1	2,9	-21,6
SPD3	619	-7,7	381	+15,8	3,1	-16,2
SPD5	623	-7,2	377	+14,6	3,1	-16,2
SPD7	625	-6,9	375	+14,0	3,3	-10,8
CN	671		329		3,70	
0,10 a 0,20 m						
SPD1	570	-8,8	430	+14,7	2,9	-12,1
SPD3	621	-0,6	379	+1,1	2,7	-18,2
SPD5	605	-3,2	395	+5,3	3,3	0,0
SPD7	593	-5,1	407	+8,5	2,8	-15,2
CN	625		375		3,30	

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

A Macro foi promovida com o maior tempo de implantação do SPD, sendo observado em SPD1 ~22%, ~10%, ~18% e ~8% menos Macro que no CN nas respectivas camadas avaliadas. Em contraste, a quantidade de Micro diminuiu com os anos de implantação do SPD, sendo também observado em SPD1 valores de Micro na ordem de ~51%, ~22%, ~37% e ~14% maiores que o CN. Além disso, valores de DMP aumentaram com o maior tempo de implantação do SPD, sendo observada uma redução de ~38%, ~40%, ~21% e ~12% no DMP em SPD1 quando comparado com CN (Tabela 8).

Diferenças estatísticas para Macro, Micro e DMP, seguidos do erro padrão e coeficiente de variação (CV) são apresentadas na Tabela 9.

**Tabela 9** – Macroagregados (Macro), microagregados (Micro), diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água, erros-padrão e coeficiente de variação (CV) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Trat*	Macro (g kg <sup>-1</sup> )	CV (%)	Micro (g kg <sup>-1</sup> )	CV (%)	DMP, mm	CV (%)
0,00 a 0,03 m						
SPD1	524 ± 1,23 b	8,11	459 ± 1,52 a	11,51	2,6 ± 0,05 b	5,96
SPD3	645 ± 1,48 a	7,93	355 ± 1,48 b	14,44	3,6 ± 0,16 a	15,96
SPD5	634 ± 1,06 a	5,8	366 ± 1,06 b	10,04	3,9 ± 0,09 a	7,80
SPD7	645 ± 1,11 a	5,97	355 ± 1,11 b	10,83	3,9 ± 0,13 a	11,19
CN	697 ± 1,13	5,61	303 ± 1,13	12,93	4,2 ± 0,04	3,67
0,03 a 0,06 m						
SPD1	609 ± 4,07 a	23,12	391 ± 4,07 a	36,07	2,5 ± 0,15 b	20,81
SPD3	638 ± 1,37 a	7,45	362 ± 1,37 a	13,13	3,2 ± 0,15 ab	16,00
SPD5	636 ± 1,06 a	5,75	363 ± 1,06 a	10,06	3,8 ± 0,13 a	11,17
SPD7	624 ± 1,42 a	7,91	376 ± 1,42 a	13,11	3,5 ± 0,11 a	11,19
CN	681 ± 0,81	4,12	319 ± 0,81	8,81	4,2 ± 0,03	2,81
0,06 a 0,10 m						
SPD1	549 ± 1,05 a	6,6	451 ± 1,05 a	8,05	2,9 ± 0,12 a	13,60
SPD3	619 ± 2,14 a	11,97	381 ± 2,14 a	19,42	3,1 ± 0,16 a	17,77
SPD5	623 ± 1,11 a	6,76	377 ± 1,11 a	8,86	3,1 ± 0,14 a	15,94
SPD7	625 ± 3,94 a	22,01	375 ± 3,94 a	35,99	3,3 ± 0,10 a	10,94
CN	671 ± 1,37	7,07	329 ± 1,37	14,43	3,7 ± 0,12	11,15
0,10 a 0,20 m						
SPD1	570 ± 0,73 a	4,4	430 ± 0,73 a	5,84	2,9 ± 0,05 a	5,79
SPD3	621 ± 1,69 a	9,41	379 ± 1,69 a	15,41	2,7 ± 0,13 a	16,38
SPD5	605 ± 1,41 a	8,08	395 ± 1,41 a	12,36	3,3 ± 0,18 a	19,01
SPD7	593 ± 1,01 a	5,95	407 ± 1,01 a	8,59	2,8 ± 0,08 a	9,51
CN	625 ± 1,60	8,89	375 ± 1,60	14,8	3,3 ± 0,12	13,91

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Diferenças estatísticas em Macro, Micro e DMP foram evidenciadas na camada de 0,00 a 0,03 m e em se tratando do DMP, de maneira geral o SPD1 apresentou os menores diâmetros de agregados na camada de 0,00 a 0,03 e 0,03 a 0,06 m (Tabela 8). Karlen et al. (2013) avaliando diferentes solos cultivados continuamente com milho sob SPD, observaram  $483 \text{ g kg}^{-1}$  de macro, contrastando com solo manejado com arado de aiveca ( $298 \text{ g kg}^{-1}$ ) e escarificador ( $383 \text{ g kg}^{-1}$ ) na camada de 0,00 a 0,05 m, enquanto na camada de 0,05 a 0,15 m observaram  $489 \text{ g kg}^{-1}$  de macro sob SPD;  $352 \text{ g kg}^{-1}$  de macro sob arado de aiveca e  $443 \text{ g kg}^{-1}$  sob solo escarificado. Os autores concluíram que operações de preparo ao longo do tempo, afetam negativamente vários indicadores de qualidade do solo, especialmente àqueles associados à redução dos teores de carbono orgânico total ou suas frações, que são fundamentais no processo de agregação.

De forma complementar, Palm et al. (2014) ressaltam que à medida que o conteúdo de matéria orgânica aumenta em solos de terras altas sob SPD, a estabilidade e agregação são promovidas em função do aporte de resíduos orgânicos, que associados à ação biológica, especialmente de fungos micorrízicos, atuam como agentes ligantes das partículas minerais nas camadas superficiais.

Valores elevados de macro em SPD3, SPD5 e SPD7, distinguindo-se dos valores em SPD1, na camada de 0,00 a 0,03 m, sustentam a afirmação de que um processo de estruturação do solo ocorre à medida que o tempo de implantação do SPD aumenta, evidenciando que a estruturação fornece as bases para avaliação de sistemas agrícolas e da sustentabilidade (Verhulst et al., 2010).

O maior tempo de implantação do SPD promoveu aumento no DMP. Resultados de DMP obtidos por Silva et al. (2008) em um Latossolo sob diferentes tempos de implantação de SPD foram similares aos encontrados neste trabalho. Entretanto, conforme Silva et al. (2008), o SPD com 8 anos é suficiente para promover melhorias na qualidade física, diferindo dos resultados ora encontrados, que sugerem um tempo de 5 anos de implantação de SPD para se verificar melhorias estruturais em um solo de várzea, principalmente pela eliminação do preparo do solo e o não alagamento para o cultivo do arroz.

Ademais, Wendling et al. (2005) destacam que devido ao maior aporte de resíduos orgânicos, verifica-se correlação positiva do carbono orgânico total com a estabilidade de agregados. Bayer et al. (2003) afirmam que o SPD proporciona um ambiente menos oxidativo da matéria orgânica, o que favorece manutenção do carbono, agregação e estruturação do solo.

Lima et al. (2008) sugerem um DMP de 2,49 mm como crítico em Planossolo. Sendo assim, o SPD1 foi o tratamento que atingiu valores mais próximos daquele considerado crítico nas camadas superficiais (Tabela 8). Nenhum dos tratamentos resultou em valores de DMP restritivo ao crescimento das plantas e diferenças estatísticas não foram evidenciadas nas camadas de 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, sugerindo que os efeitos do SPD limitaram-se às camadas superficiais.

Jin et al. (2011) avaliando macro e microagregados nas camadas de 0,00 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,30 m em um Argiloso sob SPD e PC, observaram ~17; ~20 e 22% mais macroagregados em SPD do que em PC. Em contraste, observaram ~34; ~38 e ~26% mais microagregados nas respectivas camadas em PC que em SPD e concluíram que o SPD de 11 anos, associado aos resíduos culturais, influenciou positivamente atributos do solo, além de aumentar significativamente a estabilidade de macroagregados com diâmetro médio > 2 mm, corroborando com os resultados obtidos.

Similarmente, Kahlon et al. (2013) observaram que um Luvisolo sob SPD apresentou maior estabilidade e diâmetro de agregados e concluíram que este sistema, em contraste com o preparado do solo com arado e em sistema de camalhões, promove melhorias à qualidade física, sobretudo pelas alterações promovidas pelo sistema radicular e atividade fúngica (Rasse et al., 2005; Lichter et al., 2008).

Teores médios de carbono orgânico total (COT), fração leve livre (FLL), fração leve oclusa (FLO) e fração pesada (FP) observados nas áreas sob diferentes tempos de implantação do SPD, considerando o incremento (+) ou a redução (-) comparados com os valores obtidos no CN ( $\Delta_{ref}$ , %) são apresentados na Tabela 10, o que de maneira geral, nas diferentes camadas avaliadas, incrementos no conteúdo de COT, FLL, FLO e FP são observados conforme o aumento do tempo de implantação do SDP.

**Tabela 10** – Carbono orgânico total (COT, g kg<sup>-1</sup>), teor de carbono nas frações leve livre (FLL, g kg<sup>-1</sup>), leve oclusa (FLO, g kg<sup>-1</sup>) e pesada (FP, g kg<sup>-1</sup>) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta$ ref, %).

Trat*	COT	$\Delta$ ref	FLL	$\Delta$ ref	FLO	$\Delta$ ref	FP	$\Delta$ ref
0,00 a 0,03 m								
SPD1	4,81	-71,6	0,74	+0,74	0,45	-40,0	3,61	-69,9
SPD3	4,94	-70,8	1,00	+1,00	0,45	-40,0	3,48	-71,0
SPD5	8,61	-49,2	3,61	+3,61	0,49	-34,7	4,51	-62,4
SPD7	13,85	-18,2	6,53	+6,53	0,60	-20,0	6,71	-44,0
CN	16,94		4,20		0,75		11,99	
0,03 a 0,06 m								
SPD1	4,41	-72,7	0,53	+0,53	0,40	-56,0	3,48	-75,6
SPD3	4,64	-71,3	0,81	+0,81	0,40	-56,0	3,42	-76,0
SPD5	7,45	-53,8	3,07	+3,07	0,42	-53,8	3,97	-72,1
SPD7	8,39	-48,0	3,93	+3,93	0,45	-50,5	4,00	-71,9
CN	16,14		0,99		0,91		14,25	
0,06 a 0,10 m								
SPD1	4,27	-60,5	0,68	+0,68	0,32	-57,3	3,27	-66,0
SPD3	4,30	-60,2	0,69	+0,69	0,32	-57,3	3,28	-65,9
SPD5	7,07	-34,6	2,62	+2,62	0,39	-48,0	4,05	-57,9
SPD7	10,67	-1,3	3,31	+3,31	0,42	-44,0	6,94	-27,9
CN	10,81		0,44		0,75		9,62	
0,10 a 0,20 m								
SPD1	4,00	-45,7	0,49	+0,49	0,26	-45,8	3,24	-49,5
SPD3	3,94	-46,5	0,46	+0,46	0,28	-41,7	3,19	-50,2
SPD5	6,90	-6,3	0,61	+0,61	0,31	-35,4	5,98	-6,7
SPD7	7,12	-3,3	0,60	+0,60	0,41	-14,6	6,11	-4,7
CN	7,36		0,48		0,48		6,41	

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Observa-se que o conteúdo de COT no SPD1 foi ~71%, ~72%, ~60% ~45% menor que CN, enquanto houve um acúmulo de FLL em SPD7 de ~6%, ~3%, 3% e 0,6% a mais que o CN nas respectivas camadas avaliadas. As áreas de SPD1 e SPD3 evidenciaram redução de ~40% nos teores de FLO em comparação com o CN na camada de 0,00 a 0,03; sendo também observada redução de ~56, ~57% e ~43% nos teores de FLO nas camadas de 0,03 a 0,06, 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Similarmente, reduções de FP em SPD1 foram de ~69%, ~75%, ~66% e ~49%; enquanto em SPD7 os valores foram ~44%, ~71%, ~27% e ~4% menores que a área de referencia (Tabela 10).

Diferenças estatísticas nos teores de COT, FLL, FLO, FP e erro padrão (Ep) nas camadas e áreas sob SPD avaliadas são apresentadas nas Tabelas

11 e 12. As diferenças observadas nos teores das frações da matéria orgânica justificam-se pelas espécies de plantas utilizadas (Tabela 1) e ao maior tempo de implantação do SPD, que contribuem de forma diferenciada para o aporte de Carbono no solo.

**Tabela 11** – Carbono orgânico total (COT, g kg<sup>-1</sup>), teor de carbono na fração leve livre (FLL, g kg<sup>-1</sup>), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Trat*	COT		FLL	
		CV (%)		CV (%)
0,00 - 0,03 m				
SPD1	4,81 ± 0,05 c	1,69	0,74 ± 0,10 c	23,26
SPD3	4,94 ± 0,01 c	0,35	1,00 ± 0,07 c	12,19
SPD5	8,61 ± 0,11 b	2,26	3,61 ± 0,57 b	27,28
SPD7	13,85 ± 0,68 a	8,53	6,53 ± 0,01 a	0,16
CN	16,94 ± 0,49	5,05	4,20 ± 0,17	7,12
0,03 - 0,06 m				
SPD1	4,41 ± 0,02 d	0,88	0,53 ± 0,03 b	8,53
SPD3	4,64 ± 0,00 c	0,15	0,81 ± 0,15 b	31,94
SPD5	7,45 ± 0,07 b	1,57	3,07 ± 0,55 a	31,29
SPD7	8,39 ± 0,02 a	0,46	3,93 ± 0,12 a	5,08
CN	16,14 ± 0,07	0,72	0,99 ± 0,14	24,45
0,06 - 0,10 m				
SPD1	4,27 ± 0,04 c	1,82	0,68 ± 0,11 b	27,12
SPD3	4,3 ± 0,21 c	8,40	0,69 ± 0,02 b	5,66
SPD5	7,07 ± 0,02 b	0,55	2,62 ± 0,78 ab	51,82
SPD7	10,67 ± 0,02 a	0,36	3,31 ± 0,15 a	8,02
CN	10,81 ± 2,45	39,22	0,44 ± 0,01	2,39
0,10 - 0,20				
SPD1	4,00 ± 0,13 b	5,84	0,49 ± 0,02 a	7,56
SPD3	3,94 ± 0,00 b	0,20	0,46 ± 0,04 a	14,70
SPD5	6,90 ± 0,02 a	0,56	0,61 ± 0,02 a	4,53
SPD7	7,12 ± 0,02 a	0,55	0,60 ± 0,04 a	10,75
CN	7,36 ± 0,34	8,07	0,48 ± 0,11	40,46

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

De maneira geral, o COT aumentou com o tempo de implantação do SPD, devido à sucessão de culturas utilizadas ao longo do tempo. Em contraste, houve diminuição do COT com o aumento da profundidade (Tabela 11), o que pode se devido à diferença metabólica das plantas quanto ao processo de decomposição e à capacidade em explorar regiões mais

profundas, promovendo alterações naturais conforme a capacidade de cada espécie. Além disso, maiores valores de COT foram observados em SPD7, similarmente ao CN, em todas as camadas avaliadas.

Diferenças estatísticas foram evidenciadas na FLL, sobretudo em SPD7 em todas as camadas avaliadas, sobrepondo-se aos valores observados no CN (Tabela 11), sugerindo que os resíduos orgânicos oriundos das diversas plantas utilizadas ao longo do tempo, se acumulam e permanecem na superfície do solo por mais tempo, mantendo-se disponíveis à atividade microbiológica que consequentemente influenciam os teores de FLO e FP no solo (Tabela 12).

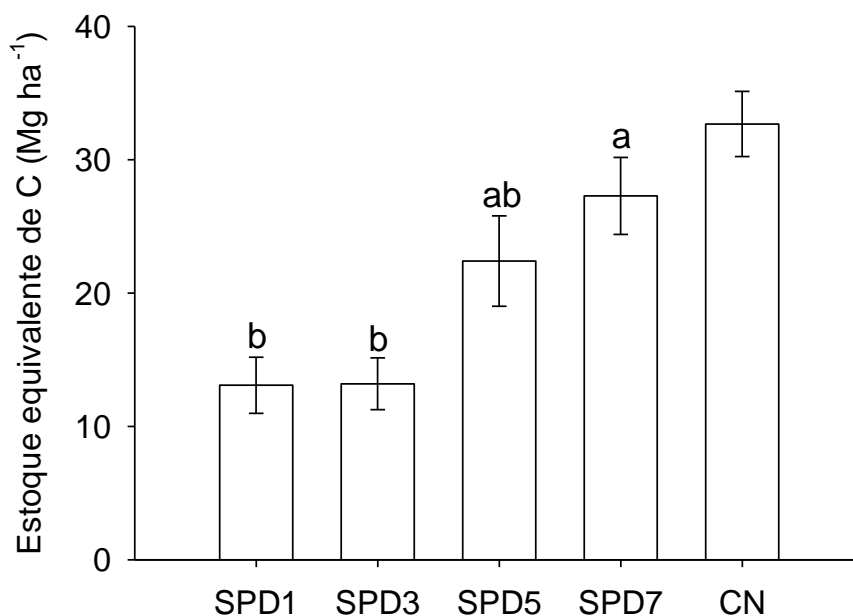
**Tabela 12** – Teor de carbono nas frações leve oclusa (FLO, g kg<sup>-1</sup>), pesada (FP, g kg<sup>-1</sup>), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Trat*	FLO	CV (%)		FP	CV (%)
		0,00 - 0,03 m			
SPD1	0,45 ± 0,01 b	3,24	3,61 ± 0,04 b	2,16	
SPD3	0,45 ± 0,02 b	6,30	3,48 ± 0,08 b	3,84	
SPD5	0,49 ± 0,02 ab	5,47	4,51 ± 0,47 b	18,14	
SPD7	0,60 ± 0,04 a	12,91	6,71 ± 0,72 a	18,59	
CN	0,75 ± 0,02	4,40	11,99 ± 0,30	4,37	
0,03 - 0,06 m					
SPD1	0,40 ± 0,02 a	7,35	3,48 ± 0,07 a	3,25	
SPD3	0,40 ± 0,01 a	2,87	3,42 ± 0,14 a	7,02	
SPD5	0,42 ± 0,03 a	11,07	3,97 ± 0,59 a	25,96	
SPD7	0,45 ± 0,03 a	10,50	4,00 ± 0,11 a	4,76	
CN	0,91 ± 0,06	12,17	14,25 ± 0,14	1,74	
0,06 - 0,10 m					
SPD1	0,32 ± 0,02 a	12,43	3,27 ± 0,09 b	4,51	
SPD3	0,32 ± 0,02 a	9,93	3,28 ± 0,17 b	8,82	
SPD5	0,39 ± 0,06 a	25,79	4,05 ± 0,82 b	35,05	
SPD7	0,42 ± 0,00 a	0,24	6,94 ± 0,13 a	3,25	
CN	0,75 ± 0,00	1,11	9,62 ± 2,44	43,87	
0,10 - 0,20 m					
SPD1	0,26 ± 0,00 a	0,62	3,24 ± 0,11 b	6,10	
SPD3	0,28 ± 0,01 a	3,55	3,19 ± 0,04 b	2,20	
SPD5	0,31 ± 0,06 a	31,11	5,98 ± 0,06 a	1,83	
SPD7	0,41 ± 0,03 a	13,56	6,11 ± 0,05 a	1,32	
CN	0,48 ± 0,11	39,01	6,41 ± 0,34	9,16	

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Em SPD, ao término do ciclo de vida, os fragmentos orgânicos que são mantidos no perfil do solo (FLL) entram em processo de decomposição, incorporando matéria orgânica à matriz do solo (FLO e FP), reduzindo a Rp e a Ds de forma cumulativa, já que não há revolvimento do solo como em SPC, que eleve à oxidação ou ataque microbiano da matéria orgânica, favorecendo dessa forma, aumento dos estoques de C (Figura 8), agregação, DMP e Pt.



**Figura 8** – Estoque equivalente de carbono de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Barras verticais indicam os desvios em relação à média.

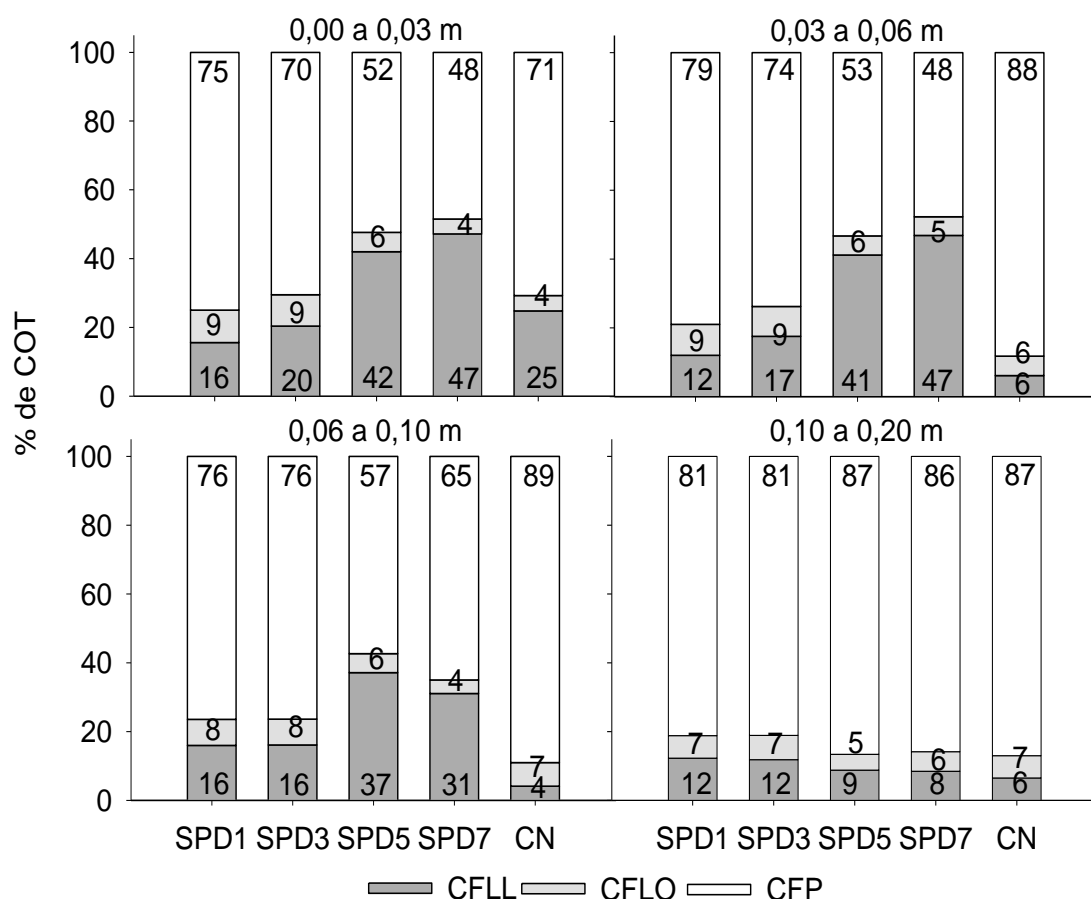
SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Maiores teores de C estiveram associados à FP, corroborando com os resultados obtidos por Rosa et al. (2011) em um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. Entretanto, as quantidades observadas nas frações apresentaram ordem de importância (FP>FLL>FLO), contrastante em relação à encontrada pelos autores (FP>FLO>FLL), devido à provável subestimação dos valores de FLO (Tomazi et al., 2011). Ademais, a quantidade de FLL e FLO pode variar com o tipo de solução utilizada (Conceição et al., 2007) e a energia

de dispersão do solo (Christensen, 1992; Roscoe e Machado, 2002), influenciando os valores destas frações.

Segundo Roscoe et al. (2006) o maior teor de uma fração em relação às outras, deve-se também aos diferentes graus de estabilidade da MOS, além dos mecanismos de recalcitrância química (FLL), proteção física ou oclusão (FLO) no interior dos agregados, contribuindo dessa forma para a manutenção da matéria orgânica. Na FP os três mecanismos: recalcitrância, oclusão e interação da MOS, com os minerais do solo, podem atuar conjuntamente na manutenção do C (Nascimento et al., 2009), justificando os resultados observados na FP.

A proporção dos estoques de C em cada fração em relação ao COT é apresentada na Figura 9.



**Figura 9** – Proporção (%) do carbono orgânico total (COT) nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) de um Planossolo Háplico Eutrófico sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

A FLL apesar de ter sido mais expressiva do que a FLO em todos os tratamentos e camadas, em média representou 21% do COT. Enquanto a FP, na média dos tratamentos, representou 72% do estoque de COT, sendo a mais importante para a manutenção dos estoques de carbono, similarmente ao observado por Rosa et al. (2011) em um Planossolo Háplico.

A FLO representou a menor proporção do COT entre os tempos de implantação do SPD, tendo sua maior participação nas camadas de 0,00 a 0,03 e 0,03 a 0,06 m, variando de 4 a 9% e apresentando proporção média de 6% do COT. Segundo Tomazi et al. (2011), um fator que pode subestimar os valores de FLO é a passagem dos agregados em malha de 2,00 mm, que liberaria fragmentos orgânicos do interior dos agregados (FLO) superestimando a FLL, o que pode explicar, em parte, os resultados encontrados neste estudo, haja visto que as amostras utilizadas neste trabalho não foram passadas em malha de 2,00 mm, o que permite inferir que a FLL e FLO apresentam elevada suscetibilidade às alterações do manejo do solo.

A maior participação da FLL nas diferentes camadas avaliadas evidencia a importância do SPD, associado à sucessão de culturas como fonte de matéria orgânica, principalmente a não decomposta (palhada), que é um recurso importante para o desenvolvimento dos microrganismos e proteção do solo. A proporção de FLL encontrada no SPD5 (44%) e SPD7 (66%), na camada de 0,00 a 0,03 m, é atribuída principalmente à sucessão de culturas adotadas ao longo do tempo de implantação do SPD (Tabela 1).

Esses resultados diferem de Nascimento et al. (2009), que encontraram proporções similares entre FLL e FLO (17 e 18 %), em um Gleissolo com cultivo de arroz irrigado. Esses autores concluíram que a proteção física foi pouco expressiva para a manutenção da MOS. Porém, no que se refere à soma dos estoques de COT corrigidos nas diferentes camadas (0,00 a 0,20m) em função da massa de solo da área de referência (CN), observa-se aumento progressivo devido ao maior tempo de implantação do SPD.

De modo geral, diferenças estatísticas foram observadas em IEC, LC, ILC e IMC nas diferentes camadas avaliadas, excluindo-se a camada 0,06 a 0,10 m (Tabela 13). Além disso, maiores valores para os diferentes parâmetros foram verificados em SPD7 nas camadas de 0,00 a 0,03 e 0,03 a 0,06 m

contrastando com o SPD1, que apresentou os menores valores nestas camadas.

A razão entre o estoque de C em cada tempo de implantação do SPD com o solo da referência (CN) evidencia que a quantidade de carbono é promovida ao longo do tempo em todas as camadas de solo avaliadas. Entretanto, esse aumento nos estoques (IEC), não representa permanência do carbono no solo. Valores de LC e ILC sustentam a afirmação de que a FLL e a FLO são mais suscetíveis às alterações provocadas pelo manejo, pela ação dos microrganismos do que C presente na FP (Christensen, 2001; Vieira et al., 2007), ou seja, a labilidade do C nessas nas FLL e FLO é favorecida.

**Tabela 13** – Índices (adimensionais) de estoque de carbono (IEC), labilidade do carbono (LC), índice de labilidade do carbono (ILC) e índice de manejo de carbono (IMC) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e em campo não cultivado.

Trat*	IEC	LC	ILC	IMC
SPD1	0,34 c	0,33 b	0,80 c	27,2 c
SPD3	0,35 c	0,42 b	1,01 bc	35,3 c
SPD5	0,59 b	0,95 ab	2,31 ab	136,2 b
SPD7	0,86 a	1,08 a	2,62 a	225,1 a
CN	--	0,41	--	--
0,03 a 0,06 m				
SPD1	0,31 c	0,27 b	2,07 c	64,1 b
SPD3	0,32 c	0,36 b	2,76 bc	88,3 b
SPD5	0,49 b	0,94 ab	7,24 ab	354,7 a
SPD7	0,54 a	1,10 a	8,46 a	456,7 a
CN	--	0,13	--	--
0,06 a 0,10 m				
SPD1	0,48 a	0,31 a	2,21 a	106,1 a
SPD3	0,47 a	0,31 a	2,21 a	103,1 a
SPD5	0,75 a	0,85 a	6,06 a	454,5 a
SPD7	1,10 a	0,54 a	3,84 a	422,4 a
CN	--	0,14	--	--
0,10 a 0,20 m				
SPD1	0,60 a	0,23 a	1,55 a	93,3 a
SPD3	0,58 b	0,23 a	1,55 a	89,9 a
SPD5	0,98 a	0,15 b	1,00 a	98,0 a
SPD7	0,97 a	0,16 b	1,06 a	102,7 a
CN	--	0,15	--	--

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

O aumento do C lábil é um fator chave para manutenção da qualidade do solo, pois esta é a fração mais dinâmica do C no solo (Christensen, 1992) e por isso é uma importante fonte de energia para o sistema solo-planta, favorecendo a continuidade de processos químicos, físicos e biológicos e promovendo as interações entre os componentes do solo.

Os três índices avaliados (IEC, ILC, IMC) foram maiores em SPD7, nas camadas de 0,00 a 0,03 e 0,03 a 0,06 m, demonstrando que áreas de solos de várzea manejadas sob PC têm a sua qualidade recuperada a partir de 5 anos de implantação do SPD, entretanto ressalta-se que a eficiência de um sistema de manejo na recuperação da qualidade do solo depende de quanto o processo de degradação afetou as relações entre seus componentes (Mello, 2006).

Valores de IMC verificados em SPD1 foram menores que os observados no CN nas camadas de 0,00 a 0,03; 0,03 a 0,06 e 0,10 a 0,20 m e foram significativamente menores que os observados em SPD7 nas camadas de 0,00 a 0,03; 0,03 a 0,06 m. Como o IMC mede as alterações nos estoques de C considerando os aspectos da labilidade do C do solo (Nicoloso, 2005). Valores de IMC inferiores a 100 indicam práticas prejudiciais à manutenção da matéria orgânica e à qualidade do solo (Blair et al., 1995).

Esses resultados são corroborados pelos observados por De Bona (2005), em estudo da dinâmica da MOS em sistemas irrigados por aspersão sob SPD e preparo convencional, no município de Eldorado do Sul (RS), e por Nicoloso (2005), em estudos de dinâmica da MOS em áreas de integração lavoura-pecuária sob SPD, no município de Jarí (RS), em que os autores observaram maiores alterações no ILC decorrente do manejo adotado, comparativamente ao IEC e LC.

Verifica-se efeito positivo do maior tempo de implantação do SPD no aumento do carbono no solo, através dos valores de IMC que superam a área de referência (CN) (Tabela 5), mostrando que o SPD5 e SPD7 caracterizam-se como eficientes na manutenção dos estoques de carbono. Rossi et al., (2012) avaliando estoques de carbono, labilidade e IMC em diferentes camadas de um Latossolo concluíram que o cultivo da soja em SPD, apresentou efeito positivo, favorecendo o acúmulo de carbono orgânico no solo e, conseqüentemente dos estoques de carbono na camada de 0 a 0,60 m.

O efeito agregante da matéria orgânica se dá pelas diferenças de cargas expostas nos seus componentes e os componentes mineralógicos do solo, sobretudo em relação à fração coloidal que atraem e são atraídas, promovendo assim um ambiente menos disperso e favorecendo a agregação.

### **3.4 CONCLUSÕES**

- O maior tempo de implantação do sistema plantio direto em Planossolo Háplico, associado à sucessão de culturas reduz a densidade, a resistência do solo à penetração e a relação micro/macroporos, à medida que a porosidade total, a estabilidade de agregados e o diâmetro médio ponderado dos agregados aumentam;
- Maior agregação do solo sob SPD é evidente nas camadas superficiais do solo (0,00 a 0,10 m);
- Aumento nos estoques de carbono orgânico total, nos teores de carbono das frações leve livre, leve oclusa e pesada estiveram associados positivamente ao maior tempo de implantação do sistema plantio direto na camada de 0,00 a 0,20 m;
- Os índices de estoque, de labilidade e de manejo do carbono do Planossolo Háplico são promovidos pelo sistema plantio direto, favorecendo a qualidade do solo;
- Cinco anos de implantação do sistema plantio direto são suficientes para serem observadas melhorias à qualidade em termos de agregação e estruturação do solo.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6:136-141, 2002.
- ANDREWS, S.S.; CARROLL, C.R. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management. **Ecological Applications** 11: 1573–1585, 2001.
- ANDRUSCHKEWITSCH, R.; KOCH, H.J.; LUDWIG, B.. Effect of long-term tillage treatments on the temporal dynamics of water-stable aggregates and on macro-aggregate turnover at three German sites. **Geoderma**. 217–218: 57–64, 2014.
- AZIZ, I.; MAHMOOD,T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**, 131:28–35, 2013.
- BAMBERG, A.L.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S; TIMM, L.C.; Pinto, L.F.S.; LIMA, A.C.R.; SILVA, T.R. Densidade de um planossolo sob sistemas de cultivo avaliada por meio da tomografia computadorizada de raios gama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1079-1086, 2009.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S.C. Diminuição da humificação da matéria orgânica de um cambissolo húmico em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 27:537-544, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:843-849, 2005.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, 46(7): 1459-1460, 1995.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 13. ed. New Jersey :Prentice Hall / Upper Saddle River, 2002. 960p.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, 20:1-90, 1992.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 10. ed. – Porto Alegre, 400p, 2004.
- CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L. MIELNICZUK, J. Eficiência do politungstato de sódio no fracionamento físico densimétrico da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 1301-1310, 2007.
- CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:541-549, 2008.
- CUNHA, N.G. da; COSTA, F.A. da. **Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado**. Circular técnica nº 152. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Pelotas, RS, 2013.
- DE BONA, F.D. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional**. Porto

Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 154p. Dissertação Mestrado.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In Doran, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; et al. eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**, 2.ed. Embrapa Solos, p.212, 1997.

GOMES, A da S.; SILVA, C.A.S.; PARFITT, J.M.B.; PAULETTO, E.A.; PINTO, L.F.S. **Caracterização de Indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 40p. (Documentos, 169), 2006.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Porto Alegre, 2014. Disponível

em:<[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140225133041sistema\\_cultivo\\_13\\_14\\_i.i.SPdF](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140225133041sistema_cultivo_13_14_i.i.SPdF)> Acesso em: 09 out. 2014b.

JIN, H.; HONGWEN, L.; RASAILY, R.G.; QINGJIE, W.; GUOHUA, C.; YANBO, S.; XIAODONG, Q.; LIJIN, L. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. **Soil and Tillage Research**, 113:48–54, 2011.

KAHLON, M.S.; LAL, R.; ANN-VARUGHESE, M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil and Tillage Research**, 126:151–158, 2013.

KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A.; KOVAR, J.L.; COLVIN, T.S. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. **Soil and Tillage Research**, 133:54–64, 2013.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. *Methods of Soil Analysis*. 2. ed. Madison, Wisconsin - USA: American Society of Agronomy. **Soil Science Society of America**, p.425-441, 1986.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLUTE, A., ed. *Methods of Soil Analysis*. 2. ed. Madison, Wisconsin - USA: American Society of Agronomy. **Soil Science Society of America**, p.425-441, 1986.

LICHTER, K.; GOVAERTS, B.; SIX, J.; SAYRE, K.D.; DECKERS, J.; DENDOOVEN, L. Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in a permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico. **Plant Soil**, 305:237-252, 2008.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:199-205, 2003.

LIMA, C.L.R.; PILLON, C.N.; SUZUKI, L.E.A.S.; CRUZ, L.E.C. Atributos físicos de um Planossolo Háptico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1849-1855, 2008.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; HARTWIG, M.P.; PASSIANOTO, C.C. Compactação de um planossolo em função de sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, 12:179-182, 2006.

LISBOA, B.B.; VARGAS, L.K.; DA SILVEIRA, A.O.; MARTINS, A.F.; SELBACH, P.A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:33-43, 2012.

LÓPEZ-GARRIDO, R.; MADEJÓN, E.; LEÓN-CAMACHO, M.; GIRÓN, I.; MORENO, F.; MURILLO, J.M. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: A case study. **Soil and Tillage Research**, 140:40–47, 2014.

MELLO, N. A. de. **Efeito de sistemas de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo**. 2006. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L.; G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2003. v.3. p.209-248.

MORAES, M.T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R. da. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38: 288–298, 2014.

NASCIMENTO, P.C.; BAYER, C.; NETTO, L.F.S.; VIAN, A.C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V.C.M. & MARCOLIN, E. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1821-1827, 2009

NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 150p. Dissertação Mestrado.

OLIVEIRA, F.P. de; BUARQUE, D.C.; VIERO, A.C.; MERTEN, G.H.; CASSOL, E.A.; MINELLA, J.P.G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16:337-346, 2012.

PALM, C.; BLANCO-CANQUI, H.; DECLERCK, F.; GATERE, L.; GRACE, P. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 187: 87–105, 2014.

PALMEIRA, P. R. T., PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA C. F. A.; GOMES, A. da S.; SILVA, J. B. da. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, 23: 189-195, 1999.

PAULETTO, E.A; BORGES, J.R.; SOUSA, R.O.; PINTO, L.F.S.; SILVA, J.B.; LEITZKE, V.W. Avaliação da densidade e da porosidade de um Gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Revista Brasileira Agrociência**, 11(2): 207-210, 2005.

RASSE, D.P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, 269: 341-356, 2005.

RAZALLI, N.M.; WAH, Y.B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, 2:21-33, 2011.

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

ROS, V.V.; SOUZA, C.M.A.; VITORINO, A.C.T.; RAFULL, L.Z.L. Oxisol resistance to penetration in no-till system after sowing. **Engenharia Agrícola**, 31:1104-1114, 2011.

ROSA, C.M. da; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; PILLON, C.N.; LEAL, O. dos A. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1769-1776, 2011.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86p.

ROSCOE, R.; MADARI, B.E.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo na obtenção de compartimentos mensuráveis para uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica**. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M. & SALTON, J.C., ed. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.107-132.

SCHWEN, A.; BODNER, G.; SCHOLL, P.; BUCHAN, G.D.; LOISKANDL, W. Temporal dynamics of soil hydraulic properties and the water-conducting porosity under different tillage. **Soil and Tillage Research**. 113:89–98, 2011.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; LIMA, J.M.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.F. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40:1223-1230, 2005.

SILVA, O.S.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ARATANI, R.G.; ANDRIOLI, F.F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, 13:191-204, 2008.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M.E. (Ed.) **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, p.271-298, 2000.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 76:39–58, 2004.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, SAS/STAT, Procedure guide for personal computers; version 9, Cary: SAS Institute, 1999.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soil. **European Journal of Soil Science**, 33:141-163, 1982.

TOMAZI, M.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.. O uso de amostras peneiradas a dois milímetros subestima a proteção física da matéria orgânica no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1323-1329, 2011.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:211-219, 2007.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, 58: 175-180, 1994.

VERHULST, N.; GOVAERTS, B., VERACHTERT, E., CASTELLANOS-NAVARRETE, A., MEZZALAMA, M., Wall, P., DECKERS, J., SAYRE, K.D. **Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems?** In: LAL, R., STEWART, B.A. (Eds.), *Advances in Soil*

Science: Food Security and Soil Quality. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 137–208, 2010.

VERNETTI JR. F. de J.; GOMES, A. da S.; SCHUCH, L.O.B. Sucessão de culturas em solos de várzea implantadas nos sistemas plantio direto e convencional. **Revista Agrociência**, 15:37-42, 2009.

VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z. L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil Tillage and Research**, 96:195-204, 2007.

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

WOHLENBERG, E.V., REICHERT, J.M., REINERT, D.J., BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:891–900, 2004.

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

#### 4 COMPRESSIBILIDADE E DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DE UM PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO PLANTIO DIRETO

**Resumo** – Os solos de várzea no Rio Grande do Sul (RS) têm sido amplamente utilizados para o cultivo do arroz irrigado por submersão devido a sua permeabilidade muito baixa, promovida pela presença de horizonte subsuperficial praticamente impermeável. Estes solos têm sido cultivados sob revolvimento intensivo, levando à degradação destas áreas e redução da produtividade. Entretanto, a introdução de culturas alternativas ao arroz tem modificado o panorama tradicional da agricultura nesses solos, evidenciando a necessidade de avaliações sobre o impacto dessas mudanças nas características físicas e químicas destes solos. Assim sendo, este trabalho objetivou avaliar os parâmetros compressivos, a disponibilidade de água e o conteúdo de carbono orgânico total em um Planossolo Háplico manejado pelo sistema plantio direto (SPD) com diferentes tempos de implantação. A avaliação foi realizada em área experimental situada em Capão do Leão, Rio Grande do Sul (RS), sendo consideradas como tratamentos as áreas com: 1 (SPD1), 3 (SPD3); 5 (SPD5) e 7 (SPD7) anos de implantação do SPD. Uma área de campo (CN) não cultivada por mais de 30 anos e ocupada com espécies espontâneas, adjacente às áreas sob SPD foi utilizada como referência. Amostras com estrutura preservada e não preservada foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,03; 0,03 a 0,06; 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. As amostras com estrutura preservadas foram utilizadas para determinação do índice de compressão, pressão de preconsolidação, densidade na pressão de preconsolidação, grau de compactação e curva de retenção de água no solo. Amostras com estrutura não preservada foram utilizadas para a determinação do conteúdo de água nas maiores tensões da curva de retenção de água em WP4c e dos teores de carbono orgânico total. O maior tempo de implantação do SPD reduziu a densidade, a pressão de preconsolidação, a densidade na pressão de preconsolidação e o grau de compactação, aumentando o índice de compressão, o conteúdo de água na capacidade de campo, possibilitando aumento da água disponível, sobretudo pela maior quantidade de carbono orgânico total. Conclui-se, que o SPD, quando acompanhado de um sistema eficiente de drenagem, promove melhorias à qualidade estrutural do solo, possibilitando a introdução de culturas de sequeiro como alternativa para a diversificação de culturas em solos de várzea.

**Palavras-chave:** Compactação, pressão de preconsolidação, carbono orgânico, várzea.

**Abstract** – The paddy soils in Rio Grande do Sul (RS) have been widely used for the cultivation of irrigated rice because of its very low permeability, promoted by the presence of subsurface horizon practically impermeable. These soils have been cultivated under intensive tillage, leading to degradation of these areas and decrease of productivity. However, the introduction of alternative crops to rice has modified the traditional view of agriculture in these soils, suggesting the need for evaluations of the impact of these changes on physical and chemical characteristics of these soils. Therefore, this study aimed to evaluate the compressive parameters, available water and the total organic carbon content in an Albaqualf under no-tillage system (SPD) with different deployment times. The evaluation was conducted in the experimental area located in Capão do Leão, Rio Grande do Sul State (RS), Brazil, being considered as treatments the areas with: 1 (SPD1), 3 (SPD3); 5 (SPD5) and 7 (SPD7) years of SPD implementation. An area with grasses (CN) not cultivated over 30 years and occupied by spontaneous species, adjacent to the areas under NT was used as reference. Samples with preserved and not preserved structure were collected in layers from 0.00 to 0.03; 0.03 to 0.06; 0.06 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m. The samples with preserved structure were used for determination of the compression index, preconsolidation pressure, density of the preconsolidation pressure, degree of compaction and water retention curve in the soil. Samples with not preserved structure were used for determining the water content in the greatest tensions of the water retention curve by using the WP4c and to determinate the total organic carbon content. The biggest SPD deployment time reduced the density, preconsolidation pressure, density in the preconsolidation pressure and the degree of compaction, increasing the compression index, the water content at field capacity, allowing increase of the available water, particularly due to the greater amount of total organic carbon. It is concluded that the SPD, when accompanied by an efficient drainage system, promotes improvements to the structural soil quality, enabling the introduction of rainfed crops as an alternative for diversification of crops in paddy soils.

**Keywords:** Compaction, preconsolidation pressure, organic carbon, paddy soil.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Os solos de várzea no Rio Grande do Sul (RS) correspondem a 5,4 milhões de hectares, cerca de 20% da área do Estado, sendo a classes dos Planossolos a mais representativa, correspondendo a 56% desses solos e 11% da área total do RS. Os Planossolos apresentam um horizonte B plânico, com cores acinzentadas ou escurecidas, indicativas de baixa permeabilidade, com incremento de argila em relação ao horizonte A ou E, caracterizando mudança textural abrupta (Pinto et al., 2004).

O relevo predominantemente plano desses solos garante uma baixa suscetibilidade à erosão bem como o uso de máquinas e irrigação, uma vez que as perdas de água por percolação profunda são desprezíveis, favorecendo assim o cultivo de arroz irrigado, especialmente após a sistematização das áreas. Segundo Parfitt et al. (2014) a sistematização é a adequação da superfície do solo, envolvendo intenso tráfego de máquinas agrícolas para remover o solo (corte) e depositá-lo em outro local de cota inferior (aterro), criando uma área plana ou curva, com gradiente de declividade uniforme ou sem declive.

No Rio Grande do Sul, diferentes sistemas de manejo do solo têm sido adotados (IRGA, 2014), com o objetivo principal de viabilizar o cultivo de arroz e controle de invasoras, alterando as condições naturais do solo reduzindo os teores de carbono (Rosa et al., 2011), o volume total de poros, a dinâmica da água favorecendo o aumento da densidade e compactação (Lima et al., 2006).

A compactação do solo tem sido avaliada por meio da curva de compressão uniaxial, obtendo-se a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), que expressa a máxima pressão exercida; o índice de compressão (IC), representando a suscetibilidade do solo à compactação; e o grau de compactação (GC), que relaciona a densidade atual ( $D_s$ ) e a densidade de referência ( $D_{sref}$ ) quando o solo é submetido a uma determinada pressão (Alakuku et al., 2003; Veiga et al., 2007; Reichert et al., 2009), reduzindo assim a capacidade de retenção de água e espaço poroso do solo.

O estudo da retenção e disponibilidade de água do solo às plantas é fundamental para o manejo racional da irrigação (Gubiani et al., 2013) e para a avaliação da qualidade do solo e conseqüentemente para o planejamento agrícola. O volume de água disponível (AD) às plantas tem sido realizado

através da diferença entre a quantidade de água retida na capacidade de campo (0,01 MPa), para solos de textura arenosa, daquela que é retida ao potencial matricial ( $\Psi_m$ ) de 1,50 MPa, denominado de ponto de murcha permanente (Cancela et al., 2006), sendo obtido à partir da curva de retenção de água no solo (CRA).

A curva de retenção de água (CRA) tem sido utilizada para descrever a dinâmica da água, representando graficamente a relação entre a energia de retenção de água ( $\Psi_m$ , em escala logarítmica) e o conteúdo de água correspondente, o qual é dependente das características intrínsecas de cada solo, resultando da ação conjunta de atributos como granulometria, estrutura, mineralogia e matéria orgânica (Beutler et al., 2002).

Nesse sentido, práticas conservacionistas de manejo, como o sistema plantio direto (SPD) contrastando com sistemas que preconizam o preparo intensivo e continuado do solo, como o preparo convencional, tem se destacado por promover o incremento de biomassa vegetal, a atividade biológica e a agregação que, por sua vez, reduz a compactação promovendo o aumento do volume de poros, o movimento e a retenção de água.

Assim sendo, a fim de quantificar os parâmetros compressivos e hídricos sob a hipótese de que o maior tempo de implantação do SPD minimiza a compactação e promove a disponibilidade de água, este trabalho tem como objetivo avaliar a pressão de preconsolidação, o índice de compressão, o grau de compactação e a disponibilidade de água de um Planossolo Háptico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 Áreas de estudo**

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Terras Baixas, pertencente à Embrapa Clima Temperado, situada no município Capão do Leão, Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas da estação experimental são 31°49'04.13" de latitude Sul e 52°27'53.77" de longitude Oeste, o croqui da área apresentado na Figura 10.

O clima da região é do tipo *Cfa*, onde *C*: clima mesotérmico quente, com média do mês mais frio entre 3 e 18 °C; *f*: precipitação pluvial média mensal

não inferior a 60 mm, sempre úmido; e a: temperatura do mês mais quente superior a 22 °C, conforme a classificação de Köppen.



**Figura 10** – Imagem aérea e localização dos tratamentos na Estação Experimental de Terras Baixas – Embrapa Clima Temperado.

O solo foi classificado como Planossolo Háplico *Eutrófico* típico, de textura franca (460 g kg<sup>-1</sup> de areia, 370 g kg<sup>-1</sup> de silte, e 170 g kg<sup>-1</sup> de argila) até a camada de 0,20 m (Cunha e Costa, 2013). As áreas experimentais historicamente eram manejadas sob sistema convencional de preparo, entretanto, antes da implantação do SPD foi realizada a subsolagem e a correção da acidez (Tedesco et al., 2004) mediante incorporação superficial de calcário dolomítico com grade de discos, a fim de homogeneizar as áreas experimentais.

Foram estabelecidas diferentes plantas de cobertura (Tabela 14) que receberam 300 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante mineral (N-P-K): 2-20-20 para leguminosas de verão e 300 kg ha<sup>-1</sup> de 5-20-20 na base e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N de cobertura para gramíneas de verão e de inverno. Plantas de cobertura (azevém) de inverno receberam 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, enquanto as plantas espontâneas não receberam adubação.

**Tabela 14** – Sucessão cultural agrícola em um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD)

Trat*	Ano agrícola							
	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13
SPD1	...	...	...	...	...	...	Mi	Tr + Mi
SPD3	...	...	...	...	Mi	Az + Es + Sj	Tr + Sj	Tr + Sj
SPD5	...	...	Mi	Az + Es + Sj	Tr + Sg	Az + Es + Sj	Tr + Sj	Az + Es + Sj
SPD7	Mi + Az + Tb	Sj + Tr	Mi	Tr + Gs	Tr + Mi	Az + Es + Sg	Az + Es + Sj	Az + Es + Sj

\*Áreas com um (SPD1), três (SPD3), cinco (SPD5) e sete (SPD7) anos de implantação do sistema de plantio direto (SPD). Mi: Milho; Tr: Trigo; Az: Azevém; Es: Espontâneas; Sj: Soja; Sg: Sorgo; Tb: Trevo branco; Gs: Girassol.

O estudo compreende a comparação de áreas com: 1 ano (SPD1); 3 anos (SPD3); 5 anos (SPD5); 7 anos de implantação do sistema plantio direto (SPD7), tendo como referência uma área de campo não cultivado por mais de 30 anos e ocupada com espécies espontâneas (CN) não pastejado, em local adjacente às demais áreas sob SPD.

#### 4.2.2 Amostragem e análises do solo

A amostragem do solo foi realizada nos meses de Agosto e Outubro de 2013 nas camadas de 0,00 a 0,03; de 0,03 a 0,06; de 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. A escolha dessas camadas foi determinada em função da suscetibilidade às alterações físico-hídricas decorrentes do sistema de manejo e dos sistemas radiculares das culturas adotadas ao longo do tempo, além da proximidade (~0,30 m) do horizonte B plânico do Planossolo.

O solo com estrutura preservada foi coletado em anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro por 3,0 cm de altura, totalizando 240 amostras (3 anéis por camada x 4 camadas de solo x 4 repetições x 5 tratamentos). Estas amostras, em laboratório, foram saturadas por capilaridade durante 48 h e pesadas ( $\Psi_m = 0$  MPa), aplicando-se em seguida sucções de 0,0009807 e 0,005884 MPa em coluna de água, 0,01, 0,102 e 0,304 MPa em câmara de pressão de Richards (Klute, 1986) e a partir de amostras com estrutura não preservada (porção de terra fina seca ao ar), utilizou-se o equipamento WP4c (Dewpoint Potential Meter) para determinação do conteúdo de água retido em  $\Psi_m > 0,304$  MPa, procedendo-se à elaboração da curva de retenção de água no solo (CRA) pela

combinação de três métodos (Schelle et al., 2013) utilizando o *software* MathCad (D'jakonov, 2001).

O processo de umedecimento das amostras com estrutura não preservada para a leitura do  $\Psi_m$  utilizando o WP4c foi determinado previamente pela obtenção dos conteúdos de água através da relação volume de água destilada (0,00; 0,01; 0,02; 0,03 e 0,04 mL) x 4 g de solo, obtendo-se os conteúdos 0,00; 0,04; 0,08; 0,12 e 0,16 mL de água destilada adicionados a cada 4 g de solo. Como cada amostra de solo foi inserida em um recipiente metálico de amostragem (40 mm de diâmetro e 11,5 mm de altura), a massa de solo (4 g) foi definida de tal forma que o nível de solo ficasse abaixo da metade deste recipiente, evitando erro de leitura.

O WP4c consiste em um aparelho que realiza leituras rápidas (em torno de 5 a 10 min), do  $\Psi_m$  de água de uma amostra de solo deformada, a partir do equilíbrio entre a fase vapor da água e a fase líquida presente na amostra, onde estará hermeticamente fechada, medindo-se então a pressão de vapor do ar (Costa et al., 2008).

Após a leitura do  $\Psi_m$  (MPa) no WP4c, as amostras foram pesadas, secas em estufa por um período mínimo de 24h à 105 °C, sendo determinado o conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ,  $m^3 m^{-3}$ ) (Embrapa,1997), ajustando-se os dados experimentais da CRA pelo modelo de van Genuchten (1980), segundo Equação 6:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n]^m} \quad 6$$

Onde  $\theta$  ( $m^3 m^{-3}$ ) é o valor da umidade volumétrica no potencial matricial  $\Psi_m$ ;  $\theta_r$  ( $m^3 m^{-3}$ ) é o valor da umidade residual,  $\theta_s$  ( $m^3 m^{-3}$ ) é o valor da umidade do solo na saturação;  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são parâmetros empíricos, adimensionais que dependem da forma da curva de retenção, considerando também a relação de dependência entre os parâmetros  $m$  e  $n$  ( $m=1-1/n$ ) conforme Mualem (1976). Valores iniciais dos parâmetros da equação de van Genuchten  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ , e  $n$  foram utilizados como sugerido por Carsel e Parrish (1988), considerando a textura do solo (Franca).

O conteúdo de água na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) foi considerado como sendo os valores ajustados de conteúdo de água volumétrico em equilíbrio a  $\Psi_m = 0,0102$  e 1,5 MPa,

respectivamente. A água disponível (AD) foi calculada pela diferença do conteúdo de água volumétrico entre  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$ .

Para determinação dos parâmetros compressivos, as amostras com estrutura preservada foram saturadas com água por capilaridade, durante 48 horas e, posteriormente, equilibradas no potencial de 0,01 MPa em câmaras pressão de Richards (Klute, 1986). Após o equilíbrio, cada amostra foi pesada e submetida ao ensaio de compressão uniaxial, em consolidômetro automático Modelo CNTA-IHM/BR (Maschetto Automação Agrícola), sendo aplicadas as pressões sucessivas e estáticas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa (Silva et al., 2007).

As curvas de compressão uniaxial do solo foram obtidas relacionando o logaritmo da pressão aplicada (eixo das abscissas) *versus* a densidade do solo (eixo das ordenadas) para a obtenção da  $\sigma_p$  e IC (Dias Junior e Pierce, 1995).

Para eliminar o efeito da compactação inicial do solo, os valores foram normalizados, dividindo-se a densidade ao final da aplicação de cada carga ( $D_s$ ) pela densidade inicial do solo ( $D_{si}$ ), conforme Kondo e Dias Junior (1999).

O grau de compactação do solo foi calculado pela relação:

$$GC = \left( \frac{D_s}{D_{sref}} \right) \times 100 \quad 7$$

Onde  $D_s$  é a densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e  $D_{sref}$  é a densidade do solo avaliada na  $\sigma_p$  ( $GC\sigma_p$ ) e a 1600 kPa ( $GC1600$ ), conforme Reichert et al. (2009).

Além disto, foram coletadas 16 amostras de solo com estrutura não preservada por tratamento, totalizando 80 amostras (1 amostra x 4 camadas de solo x 4 repetições x 5 tratamentos), as quais, em laboratório, foram destorroadas manualmente em seus pontos de fraqueza e secas ao ar, para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT) por combustão seca, via analisador elementar, Perkin Elmer.

#### 4.2.3 Procedimento estatístico

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ( $W$ ) ( $n \leq 200$ ) (Razalli e Wah, 2011). Valores discrepantes (*outliers*) foram identificados e excluídos através das medidas do limite inferior (LI) e do limite

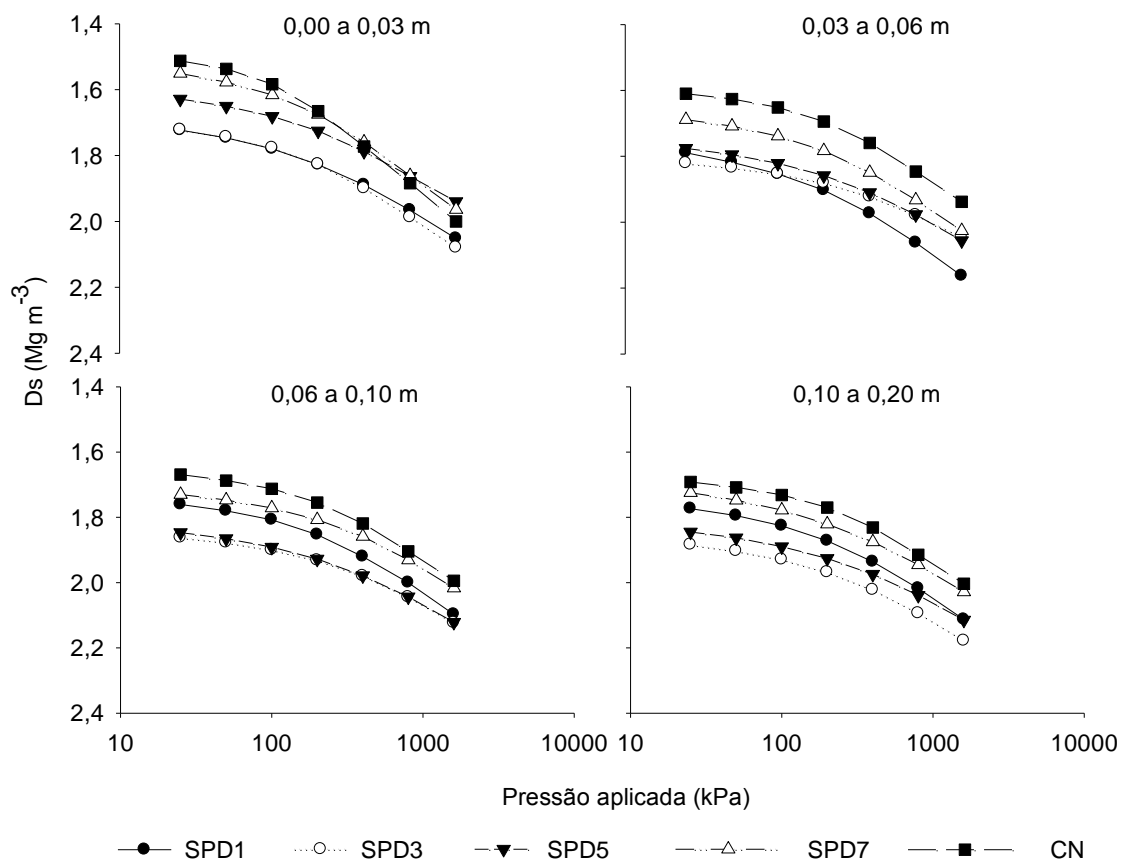
superior (LS), considerando o primeiro quartil (Q1), o terceiro quartil (Q3) e 1,5 amplitude interquartílica.

Os tratamentos foram comparados através da diferença percentual do valor do parâmetro no tratamento, evidenciado seu incremento (+) ou diminuição (-) em relação ao CN ( $\Delta_{ref}$ , %) e, excluindo-se o CN, os tratamentos foram submetidos à análise de variância (Anova), as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ). Além disso, por meio de modelos regressivos e do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), ao nível de significância  $p < 0,05$ , verificaram-se as relações entre as variáveis, utilizando-se o software SAS (Statistical Analyses System Institute, 1999).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo sob SPD1 apresentou, de maneira geral, maiores valores de  $D_s$ , seguido do SPD3 nas camadas de 0,00 a 0,03; 0,03 a 0,06 e 0,6 a 0,10 m, diferindo na camada de 0,10 a 0,20 m, onde o SPD3 apresentou maior  $D_s$  (Figura 11). Justificam-se esses resultados, sobretudo pelo processo desencadeado após o revolvimento do solo. As práticas de aração e a gradagem promovem a destruição dos agregados de maiores diâmetros, favorecendo a formação de diâmetros menores, aumentando a unidade de massa de solo por unidade de volume, reduzindo os espaços porosos e, conseqüentemente aumentando a densidade, proporcionando compactação ou seu incremento.

Valores elevados de  $D_s$  sugerem menor volume total de poros e conseqüentemente maior suscetibilidade à compactação (IC). Conforme Suzuki et al. (2008), quanto maior o estado de compactação, menor será a deformação do solo após a aplicação de uma carga, pois este pode estar próximo de sua densidade máxima e também menor será sua susceptibilidade à compactação. Além disso, Reichert et al. (2009) sugerem o valor de  $1,84 \text{ Mg m}^{-3}$  como valor crítico ao crescimento de plantas, para solos com teor de argila de aproximadamente 20%, assim sendo, somente na camada de 0,00 a 0,03 os tratamentos não apresentaram restrição, sendo crítico ao crescimento de plantas o SPD1 e SPD3 nas demais camadas de solo avaliadas. O que evidencia efeito das pressões exercidas e compactação em solo sob PC.

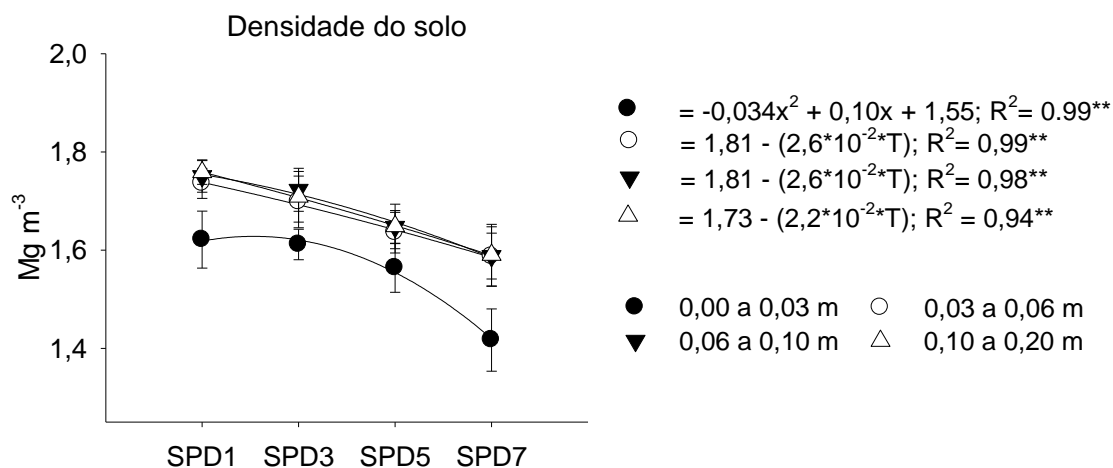


**Figura 11** – Curvas de compressão de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto. SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Observa-se redução dos valores de  $D_s$  com o maior tempo de implantação do SPD (Figura 12), sobretudo na camada de 0,00 a 0,03 m, podendo ser atribuída ao aumento da suscetibilidade à compactação, que por sua vez, advém da promoção da agregação do solo, quando manejado sob SPD com cinco anos de implantação ou mais. Ademais, as adições de matéria orgânica no solo ocorrem principalmente via C fotossintetizado pelas plantas, que na forma de resíduo da parte aérea ou raízes, ou via exudados radiculares, que conseqüentemente reduzem a  $D_s$ , aumentando o IC conforme a ordem  $CN > SPD7 > SPD5 > SPD3 = SPD1$  na camada de 0,00 a 0,03 m à medida que o SPD foi se consolidando.

Lavelle et al. (2006) ressaltam que os resíduos orgânicos são primeiramente fragmentados e incorporados ao solo pela macro e mesofauna e em seguida são transformados pelas enzimas extracelulares dos

microrganismos (Sollins et al., 1996). O movimento da macro e mesofauna nas diferentes camadas do solo também promove a redução da densidade do solo, à medida que estes organismos abrem canais e galerias em busca de alimento ou armazenamento dos mesmos em diferentes profundidades, promovendo a incorporação de C da matéria orgânica do solo, a aeração e reduzindo a Ds.



**Figura 12** – Densidade de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto.

Barras verticais indicam os desvios em relação à média.

ns: não significativo; \*, \*\*: significativo a 5% e 1% respectivamente.

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

Trabalhos como o de Pedrotti et al. (2001), que avaliaram um Planossolo com um ano arroz sob PC, seguido de dois anos com pousio; com cultivo contínuo de arroz, sob PC; cultivo de arroz com rotação de culturas, sob PC: arroz x soja x milho; sucessão de culturas: azevém no inverno x arroz no verão em SPD; sucessão de culturas: um ano soja no PC x arroz no SPD e uma testemunha, representando o solo nas condições naturais, observaram nos horizontes A, AB e B, valores de Ds de  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$  (camada de 0,00 a 0,20 m);  $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$  (camada de 0,20 a 0,29m) e  $1,66 \text{ Mg m}^{-3}$  (camada de 0,29 a 0,65 m) respectivamente e concluíram que o sistema azevém x arroz em SPD apresentou os menores valores de Ds ( $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ ) na camada de 0,00 a 0,10 m, contrastando com a referência ( $1,63 \text{ Mg m}^{-3}$ ).

Os dados observados por Pedrotti et al. (2001) evidenciam Ds elevada nos Planossolos, sobretudo devido ao gradiente textural no horizonte B, característico desses solos. Entretanto, como também observado por Lima et al. (2006) que verificaram em Planossolo, valores de Ds na camada de 0,00 a

0,10 m variando de 1,60 a 1,65 Mg m<sup>-3</sup> e sugeriram o valor de 1,56 Mg m<sup>-3</sup> como crítico ao crescimento da cultura do arroz sob SPD, contrastando com 1,84 Mg m<sup>-3</sup> proposto por Reichert et al. (2009), considerando o teor de argila, os valor médio observado neste trabalho, 1,62 Mg m<sup>-3</sup> evidencia incapacidade produtiva conforme Lima et al. (2006), porém encontra-se em estado propício ao desenvolvimento da cultura, conforme Reichert et al. (2009), que demonstraram que a densidade crítica (Dsc, Mg m<sup>-3</sup>) pode ser estimada em função da fração argila do solo (A, kg kg<sup>-1</sup>) através de uma equação linear  $Dsc = aA + b$ , com  $a = -0,78 \text{ kg m}^{-3}$  e  $b = 1838 \text{ kg m}^{-3}$  ( $r^2 = 0,92$ ,  $p < 0,0001$ ), que foi utilizada neste trabalho.

Médias de IC,  $\sigma_p$ ,  $Ds\sigma_p$ ,  $GC\sigma_p$  e  $GC1600$  observadas nas áreas sob diferentes tempos de implantação do SPD, considerando o incremento (+) ou a redução (-) comparadas com as obtidas no CN ( $\Delta_{ref}$ , %) são apresentados na Tabela 15.

A suscetibilidade à compactação (IC) aumentou com o maior tempo de implantação do SPD. Valores de IC observados em SPD7 foram ~10% menores que o CN na camada de 0,00 a 0,03, ao passo que SPD5, SPD3 e SPD1 foram ~26%, ~26% e ~18% menores nesta camada. Na camada de 0,03 a 0,06 m, a suscetibilidade à compactação entre SPD7 e CN foi a mesma, evidenciando melhoria do estado físico do solo com o maior tempo de implantação do SPD, enquanto o SPD5, SPD3 e SPD1 evidenciaram valores de ~16%, ~12% e ~6% menores que a referência, similarmente às 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20m (Tabela 15).

Valores de  $\sigma_p$  diminuíram entre os tratamentos, porém aumentaram com a profundidade do solo. A  $\sigma_p$  observada em SPD1 foi ~72% maior que a verificada na área de referência, enquanto o valor observado em SPD7 foi ~33% maior, sugerindo o histórico de pressões elevadas no SPD1. Além disso, a redução da  $\sigma_p$  entre os tratamentos dentro de cada camada sugere que a compactação pode ser mitigada com o passar do tempo (Tabela 15).

Valores de  $Ds\sigma_p$  em SPD1 foi ~16%, ~11%, ~3% maior que o CN nas respectivas camadas avaliadas (Tabela 15), constatando compactação do solo quando sob PC, mas que pode ser mitigada com o SPD à partir de 5 anos de implantação. Além disso, Incremento no  $GC\sigma_p$  na camada de 0,00 a 0,03 m foi maior no SPD5 (+1,4) em relação ao CN (Tabela 15), similar à camada de 0,03

a 0,06 m (+0,2), enquanto na camada de 0,10 a 0,20 m o SPD7 apresentou-se com GC<sub>op</sub> ~1% maior que o CN, evidenciando melhorias das condições físicas do solo, bem como observado nos valores de GC1600.

**Tabela 15** – Índice de compressão (IC, adimensional), pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ , kPa), densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{s\sigma_p}$ , Mg m<sup>-3</sup>), grau de compactação na pressão de preconsolidação (GC<sub>op</sub>, %) e a 1600 kPa (GC1600, %) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em comparação com um campo não cultivado ( $\Delta_{ref}$ , %).

Trat*	IC	$\Delta_{ref}$	$\sigma_p$	$\Delta_{ref}$	$D_{s\sigma_p}$	$\Delta_{ref}$	GC <sub>op</sub>	$\Delta_{ref}$	GC1600	$\Delta_{ref}$
0,00 a 0,03 m										
SPD1	0,31	-18,42	221,7	+72,8	1,80	+16,9	90,44	-0,6	78,42	+6,7
SPD3	0,28	-26,32	215,7	+68,1	1,82	+18,2	90,50	-0,6	79,10	+7,6
SPD5	0,28	-26,32	195,3	+52,2	1,68	+9,1	92,32	+1,4	81,42	+10,7
SPD7	0,34	-10,53	171,0	+33,3	1,61	+4,5	89,98	-1,1	76,37	+3,9
CN	0,38		128,3		1,54		91,01		73,52	
0,03 a 0,06 m										
SPD1	0,29	-6,5	237,0	+32,3	1,85	+11,4	86,42	-4,8	75,30	-2,8
SPD3	0,27	-12,9	251,3	+40,2	1,90	+14,5	91,94	+1,3	82,30	+6,2
SPD5	0,26	-16,1	198,5	+10,8	1,82	+9,6	90,95	+0,2	78,75	+1,7
SPD7	0,31	0,0	182,2	+1,7	1,74	+4,8	88,74	-2,2	74,44	-3,9
CN	0,31		179,2		1,66		90,74		77,47	
0,06 a 0,10 m										
SPD1	0,31	+3,3	247,6	+62,3	1,85	+7,6	88,38	-5,4	76,84	-0,7
SPD3	0,26	-13,3	255,0	+67,1	1,91	+11,0	88,62	-5,1	81,33	+5,1
SPD5	0,26	-13,3	224,8	+47,3	1,91	+11,0	91,48	-2,1	82,47	+6,6
SPD7	0,28	-6,7	225,8	+48,0	1,79	+4,1	91,22	-2,4	80,53	+4,1
CN	0,30		152,6		1,72		93,43		77,39	
0,10 a 0,20 m										
SPD1	0,30	0,0	261,8	+47,0	1,81	+3,4	90,09	-0,1	77,40	-1,9
SPD3	0,28	-6,7	252,5	+41,8	1,94	+10,9	90,92	+0,9	81,63	+3,4
SPD5	0,25	-16,7	221,2	+24,2	1,90	+8,6	90,45	+0,3	81,85	+3,7
SPD7	0,28	-6,7	207,4	+16,5	1,78	+1,7	91,01	+1,0	79,68	+1,0
CN	0,30		178,1		1,75		90,14		78,91	

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias de IC,  $\sigma_p$  seguidas do erro padrão e coeficiente de variação (CV, %) nas camadas e áreas sob SPD avaliadas são apresentadas na Tabela 16. Maiores valores de IC nas camadas de 0,00 a 0,06 m para SPD7 similar ao CN, comparando-se aos menores valores de  $\sigma_p$ , revela que o maior tempo de implantação do SPD reduziu o processo de compactação promovido no passado. Vogelmann et al. (2011) constataram que passadas com uma pá

carregadora na velocidade de 1 km h<sup>-1</sup>, com intensidade de tráfego de 24,67 Mg km ha<sup>-1</sup>, na camada de 0,00 a 0,10 m em um Argissolo aumentou os valores de  $\sigma_p$ , reduzindo os valores em IC, similarmemente a esse trabalho. Em contraste, menores valores de IC sugerem valores elevados de  $\sigma_p$ , sobretudo pelo histórico de pressões exercidas, reduzindo assim a suscetibilidade do solo à compactação apresentando relação inversa com a  $\sigma_p$ .

**Tabela 16** – Índice de compressão (IC, adimensional), pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ , kPa), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

Trat*	IC	CV	$\sigma_p$		CV
			0,00 a 0,03 m		
SPD1	0,31 ± 0,01 ab	13,61	221,7 ± 14,77 a	23,08	
SPD3	0,28 ± 0,01 b	15,69	215,7 ± 11,54 a	18,53	
SPD5	0,28 ± 0,02 b	19,01	195,3 ± 11,78 ab	20,88	
SPD7	0,34 ± 0,03 a	28,76	171,0 ± 11,62 b	23,54	
CN	0,38 ± 0,02	19,64	128,3 ± 14,81	39,96	
0,03 a 0,06 m					
SPD1	0,29 ± 0,01 ab	16,62	237,0 ± 10,78 ab	15,75	
SPD3	0,27 ± 0,01 bc	14,63	251,3 ± 12,84 a	17,70	
SPD5	0,26 ± 0,01 c	15,07	198,5 ± 19,64 bc	34,27	
SPD7	0,31 ± 0,01 a	13,61	182,2 ± 12,40 c	23,58	
CN	0,31 ± 0,01	13,74	179,2 ± 7,85	15,19	
0,06 a 0,10 m					
SPD1	0,31 ± 0,01 a	14,09	247,6 ± 16,81 a	23,51	
SPD3	0,26 ± 0,01 b	11,50	255,0 ± 12,96 a	17,61	
SPD5	0,26 ± 0,01 b	17,52	224,8 ± 7,10 a	10,94	
SPD7	0,28 ± 0,01 ab	15,00	225,8 ± 14,08 a	21,59	
CN	0,30 ± 0,02	18,86	152,6 ± 9,14	20,75	
0,10 a 0,20 m					
SPD1	0,30 ± 0,01 a	13,68	261,8 ± 14,62 a	19,35	
SPD3	0,28 ± 0,01 ab	15,74	252,5 ± 15,64 ab	21,45	
SPD5	0,25 ± 0,01 b	17,68	221,2 ± 8,24 bc	12,90	
SPD7	0,28 ± 0,01 ab	16,91	207,4 ± 7,63 c	12,74	
CN	0,30 ± 0,01	10,84	178,1 ± 12,94	25,17	

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Médias de  $D_{\sigma_p}$ ,  $G_{C\sigma_p}$  e  $G_{C1600}$  seguidas do erro padrão e coeficiente de variação (CV, %) nas camadas e áreas sob SPD avaliadas são apresentadas na Tabela 17.

**Tabela 17** – Densidade na pressão de preconsolidação ( $D_{sop}$ ,  $Mg\ m^{-3}$ ), grau de compactação na pressão de preconsolidação ( $GC_{op}$ , %) e a 1600 kPa ( $GC_{1600}$ , %), erros-padrão e coeficiente de variação (CV, %) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).

Trat*	$D_{sop}$	CV	$GC_{op}$	CV	$GC_{1600}$	CV
	0,00 a 0,03 m					
SPD1	1,80 ± 0,03 a	5,49	90,44 ± 1,41 a	5,41	78,42 ± 1,44 a	6,34
SPD3	1,82 ± 0,05 a	9,38	90,50 ± 1,30 a	4,96	79,10 ± 2,38 a	10,44
SPD5	1,68 ± 0,04 b	7,32	92,32 ± 0,98 a	3,67	81,42 ± 1,09 a	4,65
SPD7	1,61 ± 0,03 b	7,17	89,98 ± 1,25 a	4,81	76,37 ± 1,47 a	6,67
CN	1,54 ± 0,03	7,10	91,01 ± 0,96	3,66	73,52 ± 1,51	7,10
0,03 a 0,06 m						
SPD1	1,85 ± 0,07 a	13,22	86,42 ± 2,64 b	10,57	75,30 ± 2,90 b	13,36
SPD3	1,90 ± 0,04 a	6,77	91,94 ± 1,05 a	3,97	82,30 ± 1,13 a	4,76
SPD5	1,82 ± 0,05 a	9,64	90,95 ± 0,98 ab	3,72	78,75 ± 1,22 ab	5,36
SPD7	1,74 ± 0,04 a	7,07	88,74 ± 1,63 ab	6,37	74,44 ± 2,47 b	11,51
CN	1,66 ± 0,02	4,00	90,74 ± 1,48	5,66	77,47 ± 1,65	7,40
0,06 a 0,10 m						
SPD1	1,85 ± 0,05 ab	8,71	88,38 ± 1,29 a	5,06	76,84 ± 1,56 b	7,06
SPD3	1,91 ± 0,03 a	5,29	88,62 ± 2,46 a	9,62	81,33 ± 2,16 ab	9,19
SPD5	1,91 ± 0,04 a	6,43	91,48 ± 0,75 a	2,83	82,47 ± 0,93 a	3,90
SPD7	1,79 ± 0,02 b	4,32	91,22 ± 1,16 a	4,40	80,53 ± 1,34 ab	5,77
CN	1,72 ± 0,04	8,44	93,43 ± 1,51	5,58	77,39 ± 1,65	7,38
0,10 a 0,20 m						
SPD1	1,81 ± 0,02 bc	4,42	90,09 ± 1,44 a	5,52	77,40 ± 1,58 b	7,07
SPD3	1,94 ± 0,04 a	6,89	90,92 ± 0,81 a	3,08	81,63 ± 1,00 a	4,26
SPD5	1,90 ± 0,04 ab	7,82	90,45 ± 1,16 a	4,46	81,85 ± 1,32 a	5,57
SPD7	1,78 ± 0,04 c	6,87	91,01 ± 1,18 a	4,49	79,68 ± 1,54 ab	6,68
CN	1,75 ± 0,03	5,87	90,14 ± 1,27	4,89	78,91 ± 1,09	4,77

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada parâmetro e camada de solo avaliada não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Menores valores de  $D_{sop}$ , que expressam a máxima pressão exercida ao solo, como observado na camada de 0,00 a 0,3 m (1,61  $Mg\ m^{-3}$  para o SPD7) (Tabela 17), sugerem cautela quanto ao manejo a fim de evitar pressões que adicionem compactação irreversível ao solo. Nesse sentido, diferenças entre os tratamentos nesta camada evidenciam recuperação da qualidade do solo pelo aumento do tempo de implantação do SPD. Além disso, valores de  $D_{sop}$  variaram de 1,61 a 1,94, sendo a média geral 1,82  $Mg\ m^{-3}$ , valor muito próximo do considerado crítico (1,84  $Mg\ m^{-3}$ ) ao desenvolvimento de plantas, conforme Reichert et al. (2009).

Valores de GC $\sigma$ p entre os tratamentos foram diferentes na camada de 0,03 a 0,06 m, enquanto no GC1600, as diferenças foram observadas nas camadas de 0,03 a 0,06, 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m (Tabela 17) sugerindo que a compactação do solo sob PC não ocorre somente nas camadas superficiais, e que pode ser revertida com o maior tempo de implantação do SPD. Ademais, as diferenças em GC1600 na camada de 0,06 a 0,20 m sugerem efeito das cargas aplicadas ao solo que não puderam ser observadas pela variável GC $\sigma$ p. Por outro lado, valores de D $\sigma$ p que evidenciam o limite crítico de Ds na qual o solo encontra-se consolidado, são suficientes para descartar as diferenças observadas em GC1600, já que neste nível de compactação, o solo apresentaria um estado completamente maciço, onde as plantas não se desenvolveriam.

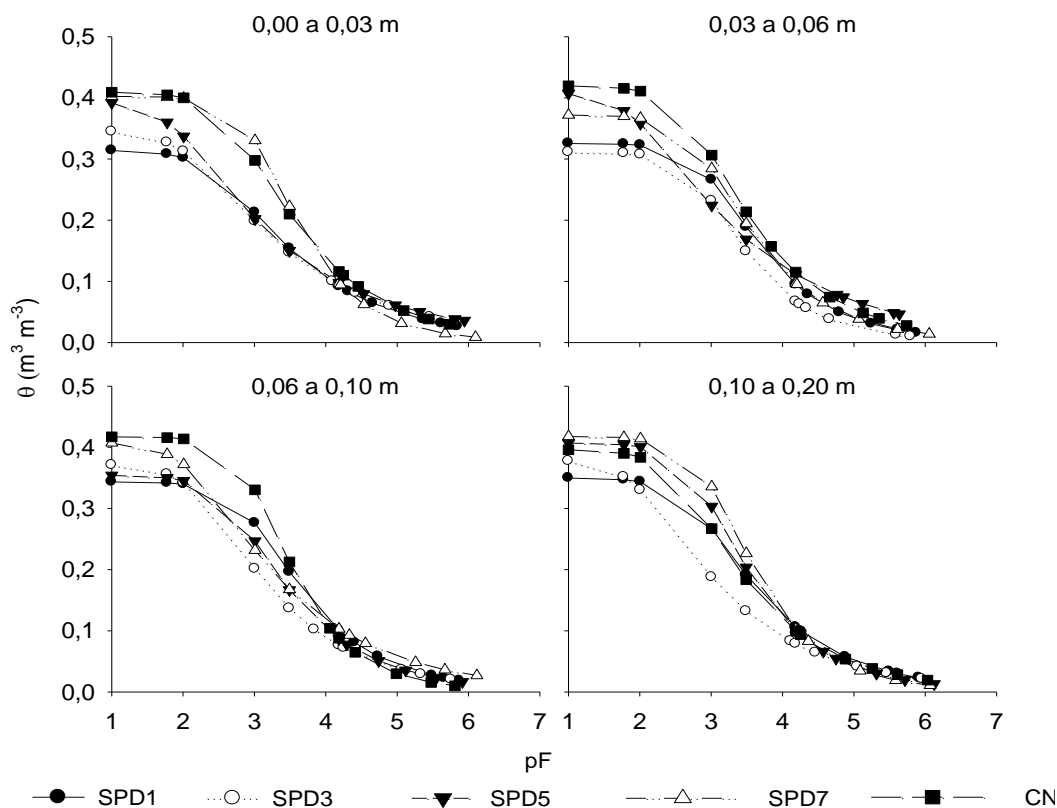
O aporte de resíduos orgânicos e o não revolvimento promovem fauna do solo, que fragmenta e degrada estes resíduos incorporando-os à matriz do solo, acumulando a MOS (Lavelle et al., 2006), que por sua vez promovem os valores de IC. Assim, correlação negativa entre IC e Ds ( $r = -0,23$ ;  $p < 0,0001$ ) com o aumento do tempo de implantação do SPD foi observada (Tabela 18), o que pode ser atribuídas à ação mecânica radicular das plantas ao penetrarem camadas mais profundas, reduzindo a Ds, associada à quantidade e diversidade de espécies (Tabela 14) que exploram camadas, se desenvolvem e se decompõem de forma diferente.

**Tabela 18** – Correlação dos atributos de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.

Atributos*	IC	$\sigma$ p	D $\sigma$ p	GC $\sigma$ p	GC1600	Ds
COT	0,08ns	-0,47**	-0,38**	0,09ns	-0,03ns	-0,60**
IC		-0,05ns	-0,11ns	-0,14*	-0,22**	-0,23*
$\sigma$ p			0,46**	-0,12ns	0,13ns	0,37**
D $\sigma$ p				-0,13ns	0,13ns	0,46**
GC $\sigma$ p					0,73**	-0,02ns
GC1600						0,11ns

n= 192; \*COT: carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ); IC: Índice de compressão (adimensional);  $\sigma$ p: pressão de preconsolidação (kPa); D $\sigma$ p: Densidade do solo na pressão de preconsolidação; GC $\sigma$ p: grau de compactação na pressão de preconsolidação (%); GC1.600: Grau de compactação na pressão de 1.600 kPa (%) e Ds: Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ). ns: Não significativa; \*: Significativa ao nível de 5%; \*\*: Significativa ao nível de 1%.

As curvas de retenção de água no solo (CRA) são apresentadas na Figura 14.



**Figura 13** – Curvas de retenção de água de um Planossolo Háplico *Eutrófico* em diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado.

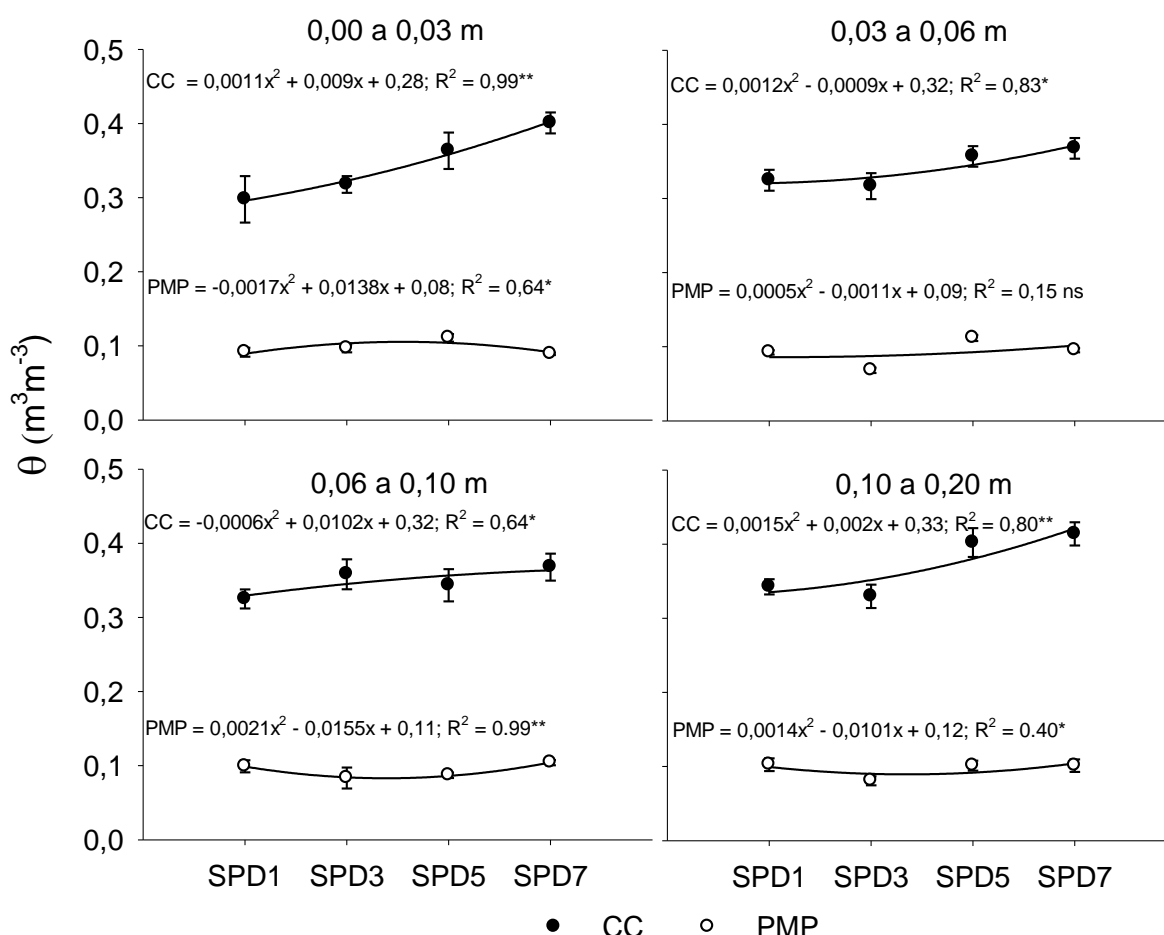
SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD; CN: Campo não cultivado.

O maior conteúdo volumétrico de água em SPD7, imediatamente próximo do observado em CN nas camadas avaliadas, atesta que os sistemas de manejo modificam a dinâmica e a capacidade do solo em armazenar água (Figura 13). Além disso, o maior conteúdo de água na camada de 0,10 a 0,20 m no SPD7 pode ser atribuído à ação mecânica dos diferentes sistemas radiculares das plantas utilizadas ao longo do tempo, que ao penetrarem camadas mais profundas do perfil de solo promovem o aporte de matéria orgânica humificada e maior conteúdo de água.

Machado et al. (2008) avaliando um Latossolo Vermelho sob floresta estacional; pousio com *Brachiaria decumbens*, manejada com três a quatro roçadas anuais com trator e roçadeira; e uma área de cultivo, com culturas anuais sob PC por meio de aração na camada de 0,00 a 0,25 m de

profundidade e gradagem leve, observaram que a intensificação do uso do solo resultou em maiores valores de Ds, redução dos teores de C orgânico, o que explicam as mudanças negativas na curva de retenção de água, comprometendo a qualidade física e hídrica do solo, corroborando os resultados obtidos neste estudo. Além disso, Pinto et al. (2004), afirmam que o alagamento nos Planossolos é devido à elevada relação  $M_i/M_a$ , que associada ao gradiente textural do horizonte B plânico, dificulta a drenagem desses solos. Porém, conforme os dados apresentados na Figura 12 verifica-se que o maior tempo de implantação do SPD diminui a Ds à medida que o IC é promovido (Tabela 16).

O conteúdo de água na capacidade de (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) são apresentados na Figura 14.

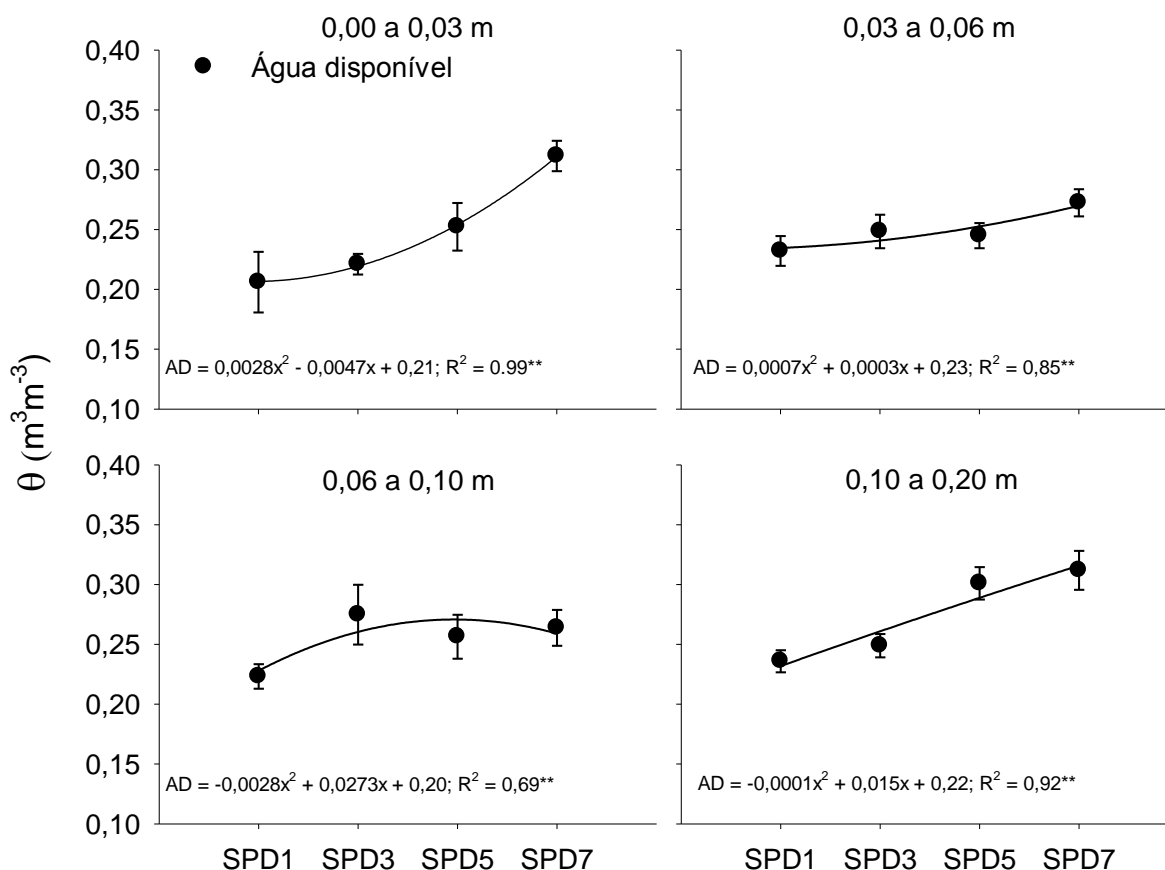


**Figura 14** – Conteúdo de água na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* em diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto.

SPD1: 1 anos de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD. Barras verticais indicam os desvios em relação à média.

De maneira geral observa-se que houve aumento do conteúdo de água na CC entre os tratamentos com o maior tempo de implantação do SPD, assim como houve redução do conteúdo de água no PMP. A variação do conteúdo de água na CC e no PMP proporcionou maior disponibilidade de água entre os tratamentos, não entre as camadas (Figura 14).

O aumento de água na CC evidencia que a mudança no sistema de manejo resulta em modificações, sobretudo nas camadas superficiais do solo, seja pela redução da Ds e aumento IC que conseqüentemente favorecem maior disponibilidade de água (Figura 15). Considerando todas as camadas, o SPD1 apresentou um conteúdo médio de água de  $0,22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ; o SPD3 de  $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ; o SPD5 de  $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e o SPD7 de  $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . O conteúdo de água observado em cada tratamento manteve-se similar nas camadas, exibindo dependência em relação ao maior tempo de implantação do SPD, como pode ser observado nos modelos regressivos.



**Figura 15** – Conteúdo de água disponível de um Planossolo Háplico *Eutrófico* em diferentes camadas e tempos de implantação do sistema plantio direto. SPD1: 1 anos de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD. Barras verticais indicam os desvios em relação à média.

Os dados obtidos nesse trabalho, sobretudo em relação ao período de sete anos de implantação do SPD, corroboram a assertiva de Machado et al. (2008) e Aziz et al. (2013) no que se refere à relação entre o COT e propriedades físicas do solo (Tabela 18), ou seja, o maior tempo de implantação do SPD reduz a Ds à medida que o IC aumenta e todas essas alterações ocorrem pelo aporte contínuo de MO que promove a fauna edáfica do solo.

O SPD promove melhorias à qualidade física do solo de várzea possibilitando que culturas de sequeiro possam ser implantadas nessas áreas. As limitações apresentadas na literatura em relação ao incremento de compactação do solo sob SPD não se verificaram nesse trabalho. Ao contrário, o maior tempo de implantação do sistema reduziu a compactação, favorecendo a drenagem pelo aumento do IC e disponibilidade de água.

#### **4.4 CONCLUSÕES**

- O maior tempo de implantação do sistema plantio direto reduz a densidade do solo, a pressão de preconsolidação, a densidade do solo na pressão de preconsolidação à medida que o índice de compressão e a suscetibilidade à compactação aumenta.
- Áreas de Planossolo manejadas sob sistema plantio direto não apresentam incrementos de compactação;
- O conteúdo de água disponível no solo é incrementado pelo maior tempo de implantação do plantio direto, sobretudo pelo aumento do conteúdo de água na capacidade de campo;
- O aumento do conteúdo de carbono orgânico total no solo contribui para redução da densidade, da pressão de preconsolidação, da densidade na pressão de preconsolidação, do grau de compactação, à medida que o conteúdo de água na capacidade de campo é promovido.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAKUKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T. ; TIJINK, F. G. J.; van der LINDEN, J. P.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 1. Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, 73:145-160, 2003.
- AZIZ, I.; MAHMOODB, T. K.; ISLAM, R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**, 131:28–35, 2013.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:829-834, 2002.
- CANCELA J. J.; DAFONTE J.; MARTÍNEZ E. M.; CUESTA T. S.; NEIRA X. X. Assessment of a water activity meter for rapid measurements of soil water potential. **Biosystems Engineering**, 94: 285–295, 2006.
- CARSEL, R.F.; PARRISH, R.S. Developing Joint Probability Distributions of Soil Water Retention Characteristics. **Water Resources Research**, 24(5):755-769, 1988
- COSTA, W.A.; OLIVEIRA, C.A.S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:515-523, 2008.
- CUNHA, N.G. da; COSTA, F.A. da. **Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado**. Circular técnica nº 152. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Pelotas, RS, 2013.
- DIAS JUNIOR, M.S., PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology** 8: 139–151, 1995.
- D'JAKONOV, V. P. Mathcad 2001. Piter, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. p.212.
- GUBIANI, P.I.; GOULART, R.Z.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Crescimento e produção de milho associados com o intervalo hídrico ótimo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1502-1511, 2013.
- INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140903105722produtividade\\_municipios\\_safras\\_13\\_14\\_versao\\_final.SPdf](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140903105722produtividade_municipios_safras_13_14_versao_final.SPdf)> Acesso em: 09 out. 2014.
- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A.; ed. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**, 2.ed. **American Society Agronomy**, 1986. p. 635-662.
- KONDO, M.K., DIAS JUNIOR, M.S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23, 497–506, 1999.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology** 42: 3–15, 2006.
- LIMA, C.L.R; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; HARTWIG, M.P.; PASSIANOTO, C.C. Compactação de um planossolo em função de sistemas de manejo. **Revista Brasileira Agrociência**, 12:179-182, 2006.

MACHADO, J.L.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C.A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:495-502, 2008.

MUALEM, Y. A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media. **Water Resources Research**. 12(3):513 – 522, 1976.

PARFITT, J.M.B.; TIMM, L.C.; REICHARDT, K.; PAULETTO, E.A. Impacts of land leveling on lowland soil physical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:315-326, 2014.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 36:709-715, 2001.

PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO E.A. **Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M., eds. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.

RAZALLI, N.M.; WAH, Y.B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, 2:21-33, 2011.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, 102:242–254, 2009.

ROSA, C.M. da; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; PILLON, C.N.; LEAL, O. dos A. Conteúdo de carbono Orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1769-1776, 2011.

SCHELLE H.; HEISE L.; JANICKE, K.; DURNER, W. Water retention characteristics of soils over the whole moisture range: a comparison of laboratory methods. **European Journal of Soil Science**, 64:1-8, 2013.

SILVA, R.B.; MASQUETTO, B.J. & LANÇAS, K.P. **Desenvolvimento e automação de um consolidômetro com interface homem máquina**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007. Anais. Gramado, Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira, 2007. CD-ROM.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, 74:65-105, 1996.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, SAS/STAT, Procedure guide for personal computers; version 9, Cary: SAS Institute, 1999.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.963-973, 2008.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; WIETHÖLTER, S. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society American Journal*, 44:892-898, 1980.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from Southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. ***Soil and Tillage Research***, 92:104-113, 2007.

VOGELMANN, E.S.; MENTGES, M.I.; REICHERT, J.M.; ROSA, D.P; BARROS, C.A.P.; REINERT, D.J. Compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo trafegado e escarificado. ***Ciencia Rural***, 42(2): 291-297, 2011.

## 5 ÍNDICE DE QUALIDADE FÍSICA DE UM PLANOSSOLO SOB DIFERENTES TEMPOS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO

**Resumo** – O solo é um componente do ecossistema terrestre capaz de suportar processos biológicos e de desempenhar funções essenciais à vida, entretanto, devido à utilização de sistemas de manejo que preconizam a mobilização intensa e redução no aporte de matéria orgânica, a qualidade do solo tem sido desconsiderada e a degradação tem se estabelecido, ocasionando redução de produtividade agrícola. Para que a preservação deste recurso natural seja realizada, é necessário conhecer as condições, os processos e os efeitos da adoção dos diferentes sistemas de manejo utilizados no solo, o que pode ser alcançado através de índices de qualidade. Assim sendo, o objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade de um Planossolo Háplico sob diferentes tempos de implantação do sistema Plantio Direto (SPD), utilizando como referência uma área de campo não pastejado (CN). O estudo foi realizado em área experimental da Embrapa Clima Temperado, situada no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul (RS), sendo avaliadas quatro áreas com: 1 (SPD1), 3 (SPD3); 5 (SPD5) e 7 (SPD7) anos de implantação do SPD. Uma área de campo não cultivada (CN) por mais de 30 anos e coberta com espécies espontâneas, adjacente às áreas sob SPD foi utilizada como referência. Amostras com estrutura preservada e não preservada foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,03; 0,03 a 0,06; 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Em amostras de solo com estrutura preservada foram determinadas a porosidade total (Pt); a macroporosidade (Ma); a microporosidade (Mi); a resistência do solo à penetração (Rp); a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ); o índice de compressão (IC); o grau de compactação (GC); a densidade do solo (Ds); a umidade volumétrica ( $\theta$ ) na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ), no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) e a disponibilidade de água (AD) por meio da curva de retenção de água no solo (CRA). Nas amostras de solo com estrutura não preservada foram determinadas: as classes de agregados estáveis em água (Ci); o diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP); os macroagregados; os microagregados; os teores de carbono orgânico total (COT), o carbono da fração leve livre (FLL), da fração leve oclusa (FLO), da fração pesada (FP); a proporção de COT em cada fração e estoques de carbono no solo (EstC). Além disso, foram quantificados os índices de labilidade (ILC), de estoque de carbono (IEC) e o de manejo do carbono (IMC). A Análise Fatorial (AF) foi utilizada como ferramenta para evidenciar a estrutura de correlação e dependência dos diferentes atributos para posterior constituição de um conjunto mínimo de dados, os quais foram utilizados para quantificação do índice de qualidade física do solo. O índice de qualidade física do solo (IQS) foi elaborado pelo método dos desvios dos valores dos atributos medidos nas áreas sob SPD em relação à área de referência (CN), sendo posteriormente normalizadas com o software SAS. Conclui-se que o IQS foi sensível para identificar que o maior tempo de implantação do SPD melhora a qualidade física do solo, bem como pode ser utilizado como ferramenta para avaliação qualitativa de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo.

**Palavras-chave:** Análise fatorial, solos de várzea, sustentabilidade agrícola.

**Abstract** – The soil is a component of the terrestrial ecosystem capable to support biological processes and to perform essential functions to life, however, due to the use of management systems that advocate the intense mobilization and intake reduction of organic matter, soil quality has been disregarded and degradation has been established, leading to reduced agricultural productivity. For the preservation of this natural resource, it is necessary to know the conditions, processes and effects of the adoption of different management systems used in the soil, which can be achieved through quality index. Therefore, the aim of this study is to evaluate the quality of an Albaqualf under no-tillage (SPD) with different deployment times, using as reference a non-grazed area (CN). The study was conducted in the experimental area of Embrapa Temperate Agriculture, located in Capão do Leão, Rio Grande do Sul (RS) State, Brazil being the evaluated four areas with: 1 (SPD1), 3 (SPD3); 5 (SPD5) and 7 (SPD7) years of SPD implementation. A non-cultivated field area (CN) for over than 30 years and covered by spontaneous species, adjacent to the areas under SPD was used as reference. Samples with preserved and not preserved structure were collected in layers from 0.00 to 0.03; 0.03 to 0.06; 0.06 to 0.10 and 0.10 at 0.20 m. With samples of preserved structure there were determined total porosity (Pt); macroporosity (Ma); microporosity (Mi); penetration soil resistance (Rp); the preconsolidation pressure ( $\sigma_p$ ); the compression index (IC); the degree of compression (GC); the bulk density (Ds); the volumetric water content ( $\theta$ ) at field capacity ( $\theta_{CC}$ ), the permanent wilting point ( $\theta_{PMP}$ ) and available water (AD) through soil water retention curve data (CRA). In soil samples with not preserved structure there were determined the classes of water stable aggregates (Ci); the mean weight diameter (DMP); the macroaggregates; microaggregates; the total organic carbon content (COT), carbon free light fraction (FLL), the occluded light fraction (FLO), the heavy fraction (HF); the proportion of COT in each fraction and carbon stocks in soil (ESTC). Furthermore, the lability (ILC), carbon stocks (IEC) and the carbon management (IMC) indexes were quantified. The Factor Analysis (AF) was used as a tool to evidence the correlation structure and dependence of the different attributes for subsequent establishment of a minimum data set, which were used to quantify the soil physical quality index. The soil physical quality index (IQS) was developed through the method of the deviations of the measured values of the attributes in the areas under SPD in relation to the reference area (CN), being subsequently normalized with the SAS software. It is concluded that the IQS was sensitive to identify that the greatest SPD deployment time improves the soil physical quality, and can be used as a tool for qualitative assessment of soils submitted to different management systems.

**Keywords:** Factor analysis, paddy soils, agricultural sustainability.

## 5.1 INTRODUÇÃO

No começo da década de 1990, a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental e para a sustentabilidade agrícola iniciou a abordagem sobre definições de qualidade do solo. As pesquisas se concentraram na proposição de um índice de qualidade, assim como há para o ar e água, a fim de auxiliar na avaliação dos solos em relação à degradação ambiental e emitir julgamento sobre as consequências das práticas de manejo utilizadas (Melo Filho et al., 2007; Vezzani e Mielniczuk, 2009).

Na literatura encontram-se índices propostos para avaliar a qualidade do solo que consideram a integração de atributos, obtendo índices normalizados conforme as funções do solo consideradas relevantes para o local e o objetivo do estudo (Kalen et al., 1994; Karlen e Stott, 1994). Entretanto, a avaliação das funções do solo necessita de atributos que influenciem a função para a qual estão sendo avaliados, sejam mensuráveis, comparados a padrões definidos e sejam sensíveis em escala espacial e, ou temporal (Karlen et al., 1997).

Índices de qualidade do solo (IQS's) são ferramentas que refletem alterações no solo devido às práticas de manejo e auxiliam nas tomadas de decisão (Karlen et al., 2001). A elaboração do IQS inclui procedimentos de seleção dos indicadores, de funções de pontuação, ponderação e modelo que integre os indicadores possibilitando comparar diferentes tipos de solos em diferentes regiões ou sistemas de manejo.

Abordagens distintas têm sido propostas para o desenvolvimento de um IQS. Pierce e Larson (1993) sugerem a utilização de procedimentos estatísticos de controle de qualidade. Smith et al. (1993) utilizaram Krigagem de múltiplas variáveis. Doran e Parkin (1994) sugerem o uso de funções multiplicativas simples, Karlen e Stott (1994) sugerem a utilização de escores normalizados enquanto Maia (2013) utiliza o desvio dos tratamentos em relação a uma área de referência.

A abordagem apresentada por Karlen e Stott (1994) é amplamente aceita para a geração de um índice de qualidade através de uma estrutura de indicadores do solo ponderados e integrados que se relacionam aos objetivos das práticas de manejo, tais como a produtividade e sustentabilidade agrícola e ambiental. Essa abordagem tem sido desenvolvida utilizando a seleção de

indicadores apropriados para um conjunto mínimo de dados (CMD), transformação das pontuações dos indicadores e integração dos indicadores em um IQS para agroecossistemas (Masto et al., 2008), florestas (Bastida et al., 2008), pastagens (Rezaei et al., 2006) e áreas de mineração (Afrifa et al., 2011).

O conceito de um CMD de indicadores de qualidade do solo é amplamente aceito, porém a dificuldade concentra-se em selecionar as variáveis que devem ser incluídas no índice. Assim, a opinião de especialistas tem sido uma alternativa considerada, embora subjetiva, ou a utilização de métodos estatísticos como análises de regressão linear, múltipla (Mendham et al., 2002), funções de pedotransferência (Matula e Špongrová, 2007), análise discriminante (Lima et al. 2008) análise de componentes principais (Rezaei et al., 2006) e análise fatorial (AF) (Shukla et al., 2006).

A AF tem sido utilizada devido a sua habilidade em agrupar atributos do solo altamente relacionados entre si em um conjunto menor de fatores representativos, independentes, reduzindo informações redundantes do conjunto original de dados (James e McCulloch, 1990), evidenciando uma estrutura de dependência entre essas variáveis, relacionadas a um fator específico. Esses fatores, estatisticamente construídos, podem ser avaliados com relação a funções específicas do solo (Johnson e Wichern, 1992) e alterações nas propriedades associadas a atributos de um fator podem ser utilizadas para avaliar a qualidade do solo (Shukla et al., 2004).

Abordagens para determinar o IQS variam devido à sua complexidade. Os métodos mais citados para determinar o IQS incluem os modelos aditivo, aditivo ponderado e sistema hierárquico de apoio à decisão. Andrews e Carroll (2001) empregaram o modelo aditivo simples para comparar as alterações orgânicas em pastagens. Blecker et al. (2012) utilizaram o método aditivo ponderado baseado nas respostas da vegetação para avaliar a qualidade do solo para quatro tipos de áreas. Yakowitz et al. (1993) usaram um sistema de apoio à decisão para comparar os efeitos do sistema agrícola alternativo. Uma comparação exaustiva dos métodos de indexação da qualidade do solo para diferentes sistemas de produção foi feita através dos valores de IQS elaborados a partir de diferentes conjuntos mínimos de dados, pontuação do indicador e de métodos de integração (Andrews et al., 2002).

Nesse sentido e considerando a necessidade de avaliar a qualidade de um solo de várzea no RS, este trabalho objetiva estabelecer um conjunto mínimo de dados e testar a sensibilidade de um índice de qualidade em detectar os efeitos de diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em um Planossolo Háplico Eutrófico, tendo como referência uma área de campo não cultivado.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em áreas com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD), conduzidas na Estação Experimental de Terras Baixas, pertencente à Embrapa Clima Temperado, situada no município Capão do Leão, Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas da estação experimental são 31°49'04.13" de latitude Sul e 52°27'53.77" de longitude Oeste. O clima da região é do tipo *Cfa*, onde *C*: clima mesotérmico quente, com média do mês mais frio entre 3 e 18 °C; *f*: precipitação pluvial média mensal não inferior a 60 mm, sempre úmido; e *a*: temperatura do mês mais quente superior a 22 °C, conforme a classificação de Köppen. O solo foi classificado como Planossolo Háplico *Eutrófico* típico, de textura franca (460 g kg<sup>-1</sup> de areia, 370 g kg<sup>-1</sup> de silte, e 170 g kg<sup>-1</sup> de argila) até a camada de 0,20 m (Cunha e Costa, 2013).

Historicamente as áreas eram manejadas sob sistema convencional de preparo do solo. Antes da implantação do SPD foi realizada a subsolagem e a correção da acidez conforme Tedesco et al. (2004) mediante incorporação superficial de calcário dolomítico com grade de discos, a fim de homogeneizar as áreas. Foram estabelecidas diferentes plantas de cobertura (Tabela 19) que receberam 300 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante mineral (N-P-K): 2-20-20 para leguminosas de verão e 300 kg ha<sup>-1</sup> de 5-20-20 na base + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N de cobertura para gramíneas de verão e de inverno. Plantas de cobertura (azevém) de inverno receberam 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, enquanto as plantas espontâneas não receberam adubação.

**Tabela 19** – Sucessão cultural agrícola em um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD)

Trat*	Ano agrícola							
	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13
SPD1	...	...	...	...	...	...	Mi	Tr + Mi
SPD3	...	...	...	...	Mi	Az + Es + Sj	Tr + Sj	Tr + Sj
SPD5	...	...	Mi	Az + Es + Sj	Tr + Sg	Az + Es + Sj	Tr + Sj	Az + Es + Sj
SPD7	Mi + Az + Tb	Sj + Tr	Mi	Tr + Gs	Tr + Mi	Az + Es + Sg	Az + Es + Sj	Az + Es + Sj

\*Áreas com um (SPD1), três (SPD3), cinco (SPD5) e sete (SPD7) anos de implantação do sistema de plantio direto (SPD). Mi: Milho; Tr: Trigo; Az: Azevém; Es: Espontâneas; Sj: Soja; Sg: Sorgo; Tb: Trevo branco; Gs: Girassol.

### 5.2.2 Amostragem e análises físicas do solo

A amostragem do solo foi realizada nas camadas de 0,00 a 0,03; de 0,03 a 0,06; de 0,06 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos de 4,8 cm de diâmetro por 3,0 cm de altura, totalizando 240 amostras (3 anéis por camadas x 4 camadas de solo x 4 repetições x 5 tratamentos) e 16 amostras com estrutura não preservada foram coletadas por tratamento, totalizando 80 amostras (1 amostra x 4 camadas de solo x 4 repetições x 5 tratamentos).

Amostras com estrutura preservada foram utilizadas para a determinação da porosidade total do solo ( $P_t$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), da macroporosidade ( $M_a$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), da microporosidade ( $M_i$ ,  $m^3 m^{-3}$ ) pelo método da mesa de tensão, utilizando uma sucção de coluna de água de 60 cm; da resistência do solo à penetração ( $R_p$ , MPa) (Tormena et al., 2007); da densidade do solo ( $D_s$ ) (Embrapa, 1997); dos parâmetros compressivos (Silva et al., 2007) obtendo-se a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), a Densidade do solo na pressão de preconsolidação ( $D_{sop}$ ) e índice de compressão (IC) (Dias Junior e Pierce, 1995) e do grau de compactação (GC) (Kondo e Dias Junior, 1999) na  $\sigma_p$  ( $GC_{op}$ ) e a 1600 kPa ( $GC_{1600}$ ) (Reichert et al., 2009).

Amostras com estrutura não preservada foram utilizadas para a determinação das classes de agregados estáveis em água ( $C_i$ ), dos macroagregados, microagregados, diâmetro médio ponderados dos agregados estáveis em água (DMP) (Kemper e Rosenau, 1986; Palmeira et al., 1999; Yoder, 1936); do fracionamento densimétrico da matéria orgânica (Conceição

et al., 2008) obtendo-se a fração leve livre (FLL), fração leve oclusa (FLO) e a fração pesada (FP) sendo o teor de carbono das frações determinado por combustão seca, via analisador elementar Perkin Elmer e a partir dos teores de C nas frações, os índices de estoque (IEC), de labilidade (ILC) e de manejo de carbono (IMC) foram quantificados.

### **5.2.3 Seleção do conjunto mínimo de dados**

A avaliação da qualidade foi feita pela utilização de diferentes indicadores que influenciam a qualidade de um Planossolo. Nesse estudo 24 indicadores (Pt; Ma, Mi, Rp, Ds,  $\sigma_p$ , IC,  $Ds\sigma_p$ ,  $GC\sigma_p$ , GC1600, C2, C3, C4, C5, Macroagregados, Microagregados, DMP, FLL, FLO, FP, COT, IEC, ILC e IMC), foram utilizados para a obtenção do IQS. Os atributos do solo foram submetidos à análise fatorial (AF) objetivando a identificação dos indicadores altamente correlacionados para a elaboração de um conjunto mínimo de dados. A escolha dos 24 indicadores se deu pela capacidade de escolha da AF, bem como objetivando verificar a relação de dependência entre os parâmetros.

A AF foi realizada por meio da matriz de covariância (dados brutos) e matriz de correlação parcial (dados padronizados). Variáveis com a medida de adequação da amostra (Critério de Kaiser)  $< 0,5$  foram excluídas do procedimento fatorial por representarem redundância e comprometerem a qualidade da análise. Apenas fatores com autovalores  $> 1$  foram retidos e submetidos à rotação varimax e para maximizar a correlação entre atributos e fatores medidos, compondo o conjunto mínimo de dados para a elaboração do IQS, utilizando o software SAS (SAS Institute, 1989) (Shukla et al., 2006).

### **5.2.4 Critério de Kaiser**

É uma medida de adequação dos dados sugerida por Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Adequacy (KMO), também conhecida como medida de adequação da amostra (MAA), que serve para avaliar o valor de entrada das variáveis para o modelo, sendo que seu valor possibilita prover resultados no alcance de 0,5 a 0,9, se se obtiver valores nesse intervalo, então as variáveis podem ser utilizadas para realizar a AF.

Para encontrar o valor do MAA, utiliza-se a expressão 8:

$$MAA = \frac{\sum_i \sum_j r_{ij}^2}{\sum_i \sum_j r_{ij}^2 + \sum_i \sum_j a_{ij}^2} \quad 8$$

Sendo a razão da soma dos quadrados das correlações de todas as variáveis dividida por essa mesma soma, acrescida da soma dos quadrados das correlações parciais de todas as variáveis, onde:  $r_{ij}$  é o coeficiente de correlação observado entre as variáveis  $i$  e  $j$ .  $a_{ij}$ , é o coeficiente de correlação parcial entre as mesmas variáveis, que é, simultaneamente, uma estimativa das correlações entre os fatores. Os  $a_{ij}$  deverão estar próximos de zero, pelo fato de os fatores serem ortogonais entre si (Lorena, 2005).

### 5.2.5 Índice de qualidade do solo

O termo de desvio das áreas com diferentes tempos de implantação do sistema de plantio direto em relação à área de referência (campo não cultivado) foi determinado de acordo com a equação 9, com  $z_i$  sendo o valor padronizado da variável selecionada pela AF com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$  igual a zero e 1, respectivamente,  $x$  o valor da característica avaliada na área com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto;  $\bar{x}$  e  $s$  a média e o desvio padrão da característica avaliada na área de campo não cultivado, respectivamente.

$$z_i = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad 9$$

A avaliação das alterações nas áreas com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto, foi realizada com base nos desvios em comparação à área de referência. Para estimar os valores dos índices de qualidade do solo da característica avaliada, utilizaram-se as equações 10, 11 e 12, para as condições de “mais é melhor”, “menos é melhor” e “valor máximo”, respectivamente, com  $\beta = \exp(-1,7145z_i)$  (Maia, 2013).

A curva para a condição de “mais é melhor” tem derivada positiva e é usada para indicadores que melhoram a qualidade do solo; o “valor máximo” possui derivada positiva até o valor máximo e é usada para indicadores que apresentam efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é negativa. A curva do tipo “menos é melhor” possui derivada negativa e usada para indicadores que apresentam efeito negativo ao solo (Melo Filho et al., 2007).

$$IQ_i = \frac{1}{1 + \beta} \quad 10$$

$$IQ_i = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad 11$$

$$IQ_i = \frac{4\beta}{(1 + \beta)^2} \quad 12$$

Diferentemente do proposto por Karlen e Stott (1994) e usado por Melo Filho et al. (2007), para avaliar a qualidade de um Latossolo Amarelo coeso, não se utilizou aqui o peso numérico atribuído a cada função na composição do índice geral de qualidade, sendo o índice calculado pela equação 13, em que IQS é o índice de qualidade de solo da área avaliada, IQi é o índice de qualidade da característica avaliada e n o número de características avaliadas.

$$IQS = \frac{\sum_{i=1}^n IQ_i}{n} \quad 13$$

A qualidade do solo é avaliada pelos valores de IQi, em que, para as condições de “mais é melhor”, “menos é melhor” e “valor máximo”, a não alteração em comparação com a área de referência seria IQi igual a 1 (um), sendo que, quanto menor que a unidade, maiores as alterações em relação à área de referência, refletindo também no IQS (Maia, 2013).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises de correlação de 24 atributos de um Planossolo resultaram em correlação significativa ( $p < 0,05$ ) em 172 de 276 pares de atributos (Tabela 20).

Correlações positivas elevadas ( $r \geq 0,80$ ) foram observadas em Pt x Mi; FLL x COT; FP x COT; FP x IEC ; C3 x C4; ILC x IMC, enquanto elevada correlação negativa foi observada entre Macro e Microagregados ( $r = 0,97$ ). A concentração de carbono na FLO foi negativamente correlacionada com o Rp ( $r > 0,60$ ) evidenciando que a compactação reduz a concentração de carbono entre e dentro dos agregados favorecendo o processo de degradação do solo. Em contraste, o COT esteve positivamente correlacionado com a Ma ( $r > 0,7$ ) e com a C2: agregados de 4,75 a 2,00 mm ( $r > 0,15$ ).

**Tabela 20** – Correlações dos atributos de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto na camada 0,00 a 0,20m (n = 192).

	Mi	Ds	Rp	Macro	DMP	FLL	FLO	FP	COT	IC	$\sigma_p$	Ds $\sigma_p$	GC $\sigma_p$	GC1600	Ma	C2	C3	C4	C5	Micro	IEC	ILC	IMC
Pt <sup>1</sup>	0,80**	-0,39**	-0,51**	0,12ns	0,35**	0,49**	0,56**	0,18**	0,43**	0,21**	-0,31**	-0,29**	0,09ns	-0,01ns	0,40**	0,14ns	-0,20**	-0,29**	-0,26**	-0,16**	-0,04ns	0,10ns	0,14ns
Mi		-0,16*	-0,30**	0,03ns	0,12ns	0,13ns	0,34**	-0,17*	0,01ns	0,10ns	-0,16*	-0,13ns	0,04ns	0,00ns	-0,15*	0,04ns	-0,04ns	-0,09ns	-0,12ns	-0,08ns	-0,29**	-0,06ns	-0,12ns
Ds			0,45**	-0,20**	-0,39**	-0,53**	-0,54**	-0,46**	-0,59**	-0,24**	0,38**	0,46**	-0,02ns	0,12ns	-0,47**	-0,21**	0,13ns	0,28**	0,28**	0,22**	-0,26**	-0,05ns	-0,15**
Rp				-0,20**	-0,38**	-0,52**	-0,67**	-0,20**	-0,46**	-0,03ns	0,32**	0,26**	-0,06ns	0,05ns	-0,40**	-0,20**	0,15*	0,29**	0,25**	0,21**	0,09ns	-0,25**	-0,25**
Macro					0,45**	0,19**	0,16*	0,12ns	0,19**	0,00ns	-0,11ns	0,07ns	-0,03ns	-0,01ns	0,23**	0,63**	0,37**	0,28**	0,05ns	-0,97**	0,06ns	0,01ns	0,03ns
DMP						0,52**	0,36**	0,26**	0,48**	0,04ns	-0,20**	-0,25**	0,19**	0,14**	0,44**	0,16*	-0,50**	-0,65**	-0,65**	-0,43**	0,16*	0,17*	0,22**
FLL							0,72**	0,44**	0,89**	0,18*	-0,41**	-0,41**	0,05ns	-0,10ns	0,69**	0,19**	-0,33**	-0,45**	-0,32**	-0,19**	0,28**	0,51**	0,63**
FLO								0,34**	0,67**	0,19**	-0,41**	-0,41**	0,03ns	-0,13ns	0,48**	0,18*	-0,15*	-0,31**	-0,21**	-0,17*	-0,01ns	0,24**	0,28**
FP									0,80**	0,04	-0,30**	-0,25**	0,06ns	0,03ns	0,61**	0,04ns	-0,20**	-0,23**	-0,06ns	-0,11ns	0,83**	-0,13ns	0,18*
COT										0,14*	-0,43**	-0,41**	0,07ns	-0,06ns	0,77**	0,15*	-0,32**	-0,42**	-0,24**	-0,18*	0,59**	0,27**	0,51**
IC											-0,06ns	-0,11ns	-0,14*	-0,22**	0,16**	0,07ns	0,01ns	-0,04ns	-0,10ns	-0,01ns	-0,03ns	-0,04ns	-0,02ns
$\sigma_p$												0,46**	-0,11ns	0,14*	-0,35**	-0,16*	0,10ns	0,16*	0,12ns	0,10ns	-0,19**	-0,12ns	-0,18*
Ds $\sigma_p$													-0,13ns	0,13ns	-0,34**	-0,07ns	0,26**	0,37**	0,24**	-0,08ns	-0,11ns	-0,05ns	-0,10ns
GC $\sigma_p$														0,73**	0,05ns	0,00ns	-0,22**	-0,16**	0,04ns	0,09ns	0,02ns	0,02ns	0,06ns
GC1600															-0,05ns	-0,03ns	-0,13ns	-0,13ns	-0,11ns	0,01ns	0,10ns	-0,06ns	-0,02ns
Ma																0,21**	-0,26**	-0,33**	-0,23**	-0,21**	0,45**	0,27**	0,47**
C2																	0,35**	0,18*	-0,04ns	-0,62**	-0,02ns	0,10ns	0,11ns
C3																		0,84**	0,34**	-0,38**	-0,20**	-0,20**	-0,26**
C4																			0,51**	-0,29**	-0,14**	-0,23**	-0,27**
C5																				-0,06ns	0,00ns	-0,10ns	-0,10ns
Micro																					-0,04ns	0,00ns	-0,02ns
IEC																						-0,10ns	0,25**
ILC																							0,92**

<sup>1</sup>Pt: Porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ ), Mi: Microporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ), Ds: Densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ ), Rp: Resistência à penetração (MPa); Macro: Macroagregados ( $g kg^{-1}$ ), DMP: Diâmetro médio ponderado (mm), FLL: carbono da fração leve livre ( $g kg^{-1}$ ); FLO: carbono da fração leve oclusa ( $g kg^{-1}$ ); FP: carbono da fração pesada ( $g kg^{-1}$ ); COT: carbono orgânico total ( $g kg^{-1}$ ), IC: Índice de compressão (adimensional);  $\sigma_p$ : pressão de preconsolidação (kPa); Ds $\sigma_p$ : Densidade do solo na pressão de preconsolidação; GC $\sigma_p$ : grau de compactação na pressão de preconsolidação (%); GC1600: Grau de compactação na pressão de 1.600 kPa (%); Ma: Macroporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ), C2: classes de diâmetro de agregados de C2 (4,75 – 2,00 mm); C3 (1,99-1,00 mm); C4 (0,99-0,50 mm); C5 (0,49-0,25 mm); Micro: microagregados ( $g kg^{-1}$ ); IEC: índice de estoque de carbono (adimensional); ILC: índice de labilidade (adimensional); IMC: Índice de manejo de carbono (adimensional). ns: Não significativa; \*: Significativa ao nível de 5%; \*\*: Significativa ao nível de 1%.

A medida de adequação da amostra geral (MAA) ou critério de Kaiser para manutenção ou exclusão de atributos para a AF pode ser observada na Tabela 21.

**Tabela 21** – Medida de adequação da amostra (MAA) de atributos de um Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio de direto na camada de 0,00 a 0,20 m

<b>Atributos</b>	<b>MAA</b>
Pt <sup>1</sup>	0,88
Ds	0,91
Rp	0,88
FLL	0,80
FLO	0,85
COT	0,73
IC	0,69
$\sigma_p$	0,80
Ds $\sigma_p$	0,85
GC $\sigma_p$	0,48
GC1600	0,49
Ma	0,90
IEC	0,33
ILC	0,48
IMC	0,57
<b>MAA GERAL</b>	<b>0,71</b>

<sup>1</sup>Pt: Porosidade total ( $m^3 m^{-3}$ ), Ds: Densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ ), Rp: Resistência à penetração (MPa); FLL: carbono da fração leve livre ( $g kg^{-1}$ ); FLO: carbono da fração leve oclusa ( $g kg^{-1}$ ); COT: carbono orgânico total ( $g kg^{-1}$ ), IC: Índice de compressão (adimensional);  $\sigma_p$ : pressão de preconsolidação (kPa); Ds $\sigma_p$ : Densidade do solo na pressão de preconsolidação; GC $\sigma_p$ : grau de compactação na pressão de preconsolidação (%); GC1600: Grau de compactação na pressão de 1600 kPa (%); Ma: Macroporosidade ( $m^3 m^{-3}$ ); IEC: índice de estoque de carbono (adimensional); ILC: índice de labilidade (adimensional); IMC: Índice de manejo de carbono (adimensional).

Submetidos ao critério de Kaiser, dos 24 atributos adotados inicialmente, apenas 15 foram mantidos por terem sido capazes de promover o MAA geral a um valor > que 0,5. Após a obtenção deste valor, procedeu-se a AF, através da utilização dos parâmetros: Pt, Ma, Ds, Rp, FLL, FLO, COT,  $\sigma_p$ , IC, Ds $\sigma_p$ , GC $\sigma_p$ , GC1600, IEC, ILC e IMC, como recomendado por Hair et al. (2009), os quais sugerem MAA geral > 0,5 para que a AF possa ser executada de forma adequada.

Parâmetros com MAA < 0,5 evidenciam pouca correlação ou correlação inexistente, comprometendo a identificação de uma estrutura de correlação entre as variáveis, sugerindo possibilidade de exclusão das mesmas,

entretanto, o MAA geral obtido pelo conjunto de variáveis, foi superior a  $> 0,5$  mesmo com a presença de variáveis com  $MAA < 0,5$ , por isso GCop, GC1600, IEC e ILC, foram mantidas.

Autovalores oriundos da matriz de correlação parcial indicam que os primeiros quatro fatores explicam  $> 98\%$  de toda variação dos dados (Tabela 22).

**Tabela 22** – Autovalor, diferença, proporção e variância acumulada explicada pela análise fatorial usando a matriz de correlação parcial para a camada de 0,00 a 0,20 m de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.

Fator	Autovalor	Diferença	Proporção	Acumulado (%)
1	5,21	3,53	0,53	53
2	1,68	0,19	0,17	70
3	1,49	0,27	0,15	86
4	1,22	0,84	0,12	98
5	0,38	0,16	0,04	100
6	0,22	0,08	0,02	100
7	0,13	0,07	0,01	100
8	0,06	0,05	0,01	100
9	0,01	0,03	0,00	100
10	-0,02	0,01	0,00	100
11	-0,02	0,03	0,00	100
12	-0,06	0,06	-0,01	100
13	-0,12	0,05	-0,01	100
14	-0,16	0,06	-0,02	100
15	-0,17	0,06	-0,02	100

Fatores com autovalor  $<$  que 1 explicam menos variância do que um atributo do solo isolado e, portanto foram desconsiderados, conforme o critério de Kaiser. O primeiro fator, com autovalor  $> 5$ , explica 53% de toda a variância dos dados (Tabela 22) com FLL e COT evidenciando as maiores cargas fatoriais positivas (0,93 e 0,92 respectivamente) contrastando com Ds e Rp, que apresentaram elevadas cargas fatoriais negativas (-0,63 e -0,61 respectivamente) (Tabela 23). Similarmente, o segundo fator com autovalor  $>$  que 1 contabiliza 17% da variabilidade total, onde o ILC e IMC evidenciaram maiores fatores de carga positiva (0,80 e 0,76) contrastando com Pt, FLO e IC, que apresentaram maiores cargas fatoriais negativas (-0,24; -0,24; -0,21 respectivamente) neste fator (Tabela 23).

A magnitude das cargas fatoriais dos atributos do solo presente em cada fator tem possibilitado a denominação dos fatores, conforme a semelhança

entre os atributos percebida pelos diferentes autores (Shukla et al., 2006). De forma análoga, por exemplo, o Fator 1, por apresentar atributos com cargas fatoriais positivas > que 0,9 poderia ser denominado de “Fator Orgânico”, haja visto, que as maiores cargas foram evidenciadas nos atributos FLL e COT, entretanto, neste trabalho os fatores terão suas denominações originais mantidas.

**Tabela 23** – Proporção de variância usando rotação varimax e estimativa de comunalidade para atributos da camada de 0,00 a 0,20 m de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.

Atributos	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4	Comunalidade estimada
FLL	0,93	0,09	-0,04	0,01	0,89
COT	0,92	-0,06	0,20	0,24	0,97
FLO	0,77	-0,24	-0,17	-0,27	0,77
Ma	0,75	-0,01	0,14	0,18	0,62
Pt	0,55	-0,24	-0,06	-0,28	0,45
Ds $\sigma$ p	-0,49	0,26	-0,03	0,06	0,45
$\sigma$ p	-0,51	0,18	-0,03	0,03	0,42
Rp	-0,61	0,14	0,14	0,34	0,55
Ds	-0,63	0,32	-0,02	-0,02	0,51
ILC	0,47	0,80	-0,30	-0,13	0,98
IMC	0,61	0,76	-0,08	0,09	0,98
IC	0,18	-0,21	-0,19	0,08	0,12
GC1600	-0,11	0,19	0,69	-0,41	0,70
GC $\sigma$ p	0,08	0,12	0,65	-0,47	0,68
IEC	0,34	0,02	0,59	0,66	0,89

<sup>1</sup>FLL: carbono da fração leve livre ( $\text{g kg}^{-1}$ ); COT: carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ); FLO: carbono da fração leve oclusa ( $\text{g kg}^{-1}$ ); Ma: Macroporosidade ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ); Pt: Porosidade total ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ); Ds $\sigma$ p: Densidade do solo na pressão de preconsolidação;  $\sigma$ p: pressão de preconsolidação (kPa); Rp: Resistência à penetração (MPa); Ds: Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ); ILC: índice de labilidade (adimensional); IMC: Índice de manejo de carbono (adimensional); IC: Índice de compressão (adimensional); GC1600: Grau de compactação na pressão de 1600 kPa (%); GC $\sigma$ p: grau de compactação na pressão de preconsolidação (%); IEC: índice de estoque de carbono (adimensional).

Estimativas de comunalidade elevadas foram observadas em ILC e IMC (0,98) (Tabela 23), evidenciando que estes atributos compartilham variabilidade, assim como COT (0,97) e FLL (0,89). Além disso, alta estimativa de comunalidade sugere que grande porção da variância foi explicada pelo fator. Johnson e Wichern (1992) afirmam que valores elevados de comunalidade são preferíveis, em contraste a valores reduzidos, como observado em IC, que foi o atributo com menor comunalidade, evidenciando

que esta variável não se correlaciona com outras ou que pouco se correlaciona.

Os fatores rotacionados pelo método *Varimax* são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24** – Rotação ortogonal *Varimax* dos fatores de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.

Atributos	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4
FLO <sup>1</sup>	0,81	0,14	0,05	-0,08
FLL	0,68	0,46	0,38	-0,07
Pt	0,64	0,02	0,01	0,02
Ds	-0,51	0,02	-0,28	0,10
Rp	-0,70	-0,15	0,05	-0,01
ILC	0,13	0,98	-0,08	0,00
IMC	0,15	0,94	0,27	0,03
IEC	-0,11	0,00	0,93	0,08
COT	0,61	0,25	0,68	-0,04
Ma	0,48	0,25	0,53	-0,04
GC1600	-0,02	-0,05	0,05	0,82
GC $\sigma$ p	0,07	0,00	0,02	0,81
IC	0,21	-0,07	0,03	-0,25
Ds $\sigma$ p	-0,30	-0,01	-0,10	0,02
$\sigma$ p	-0,28	-0,08	-0,14	0,02

<sup>1</sup>FLO: carbono da fração leve oclusa ( $\text{g kg}^{-1}$ ); FLL: carbono da fração leve livre ( $\text{g kg}^{-1}$ ); Pt: Porosidade total ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ); Ds: Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ); Rp: Resistência à penetração (MPa); ILC: índice de labilidade (adimensional); IMC: Índice de manejo de carbono (adimensional); IEC: índice de estoque de carbono (adimensional); COT: carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ); Ma: Macroporosidade ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ); GC1600: Grau de compactação na pressão de 1600 kPa (%); GC $\sigma$ p: grau de compactação na pressão de preconsolidação (%); IC: Índice de compressão (adimensional); Ds $\sigma$ p: Densidade do solo na pressão de preconsolidação;  $\sigma$ p: pressão de preconsolidação (kPa).

A rotação dos fatores tem como objetivo minimizar a quantidade de atributos com cargas fatoriais elevadas dentro do mesmo fator evidenciado também elevada dependência entre si, negativa ou positiva, e que propriamente compõem o fator. Assim sendo, observam-se no Fator 1 elevadas cargas fatoriais em FLO (0,81), FLL (0,68), Pt (0,64), Ds (-0,51) e Rp (-0,71) que embora apresentem cargas fatoriais positivas e negativas, é evidenciada a dependência entre as mesmas, respaldadas sobretudo pelas suas correlações (Tabela 20) sugerindo que escolha de uma delas é suficiente para representar o Fator 1 e as variáveis que o compõem. No Fator 2 o ILC e IMC apresentaram cargas fatoriais positivas > 0,9, enquanto no Fator 3 o IEC, COT e Ma

apresentaram cargas fatoriais positivas > 0,5. No Fator4 GC $\sigma$ p e GC $\sigma$ p apresentaram cargas fatoriais positivas > 0,8.

Atendendo os três modelos de padronização (menos é melhor, mais é melhor e valor máximo) um parâmetro por Fator foi selecionado para compor o índice de qualidade do Planossolo sob diferentes tempos de implantação do SPD, utilizando como referência uma área de campo natural (CN): Fator 1 (Rp), curva de padronização “menos é melhor”, Fator 3 (Ma) “valor máximo” e Fator 4 (GC $\sigma$ p) “menos é melhor”. Nenhum atributo foi escolhido no Fator 2 porque as maiores cargas fatoriais (> 0,90) foram evidenciadas em ILC e IMC, que já são índices de qualidade do Planossolo comparado com o CN.

A comparação dos atributos do solo nas áreas sob diferentes tempos de implantação do SPD em relação ao CN é apresentada na Tabela 25.

**Tabela 25** – Valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para a área de campo não cultivado, valores das análises de solo das áreas com diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD<sub>i</sub>) e índice de qualidade para macroporosidade (Ma), resistência do solo à penetração (Rp) e grau de compactação na pressão de preconsolidação de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto.

	Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	RP (MPa)	GC $\sigma$ p (%)
Campo não cultivado de 0,00 a 0,03 m			
Média	9,10	0,73	91,01
DP	2,84	0,15	3,34
CV	31,24	20,26	3,66
Tempo de implantação			
SPD1	1,44	1,12	90,45
SPD3	2,95	0,90	90,50
SPD5	4,13	0,84	92,32
SPD7	6,42	0,80	89,98
IQi			
SPD1	0,04	0,16	0,55
SPD3	0,10	0,32	0,51
SPD5	0,20	0,33	0,57
SPD7	0,52	0,35	0,48
Campo não cultivado de 0,03 a 0,06 m			
Média	8,40	0,85	90,74
DP	3,14	0,22	5,14
CV	37,42	26,26	5,66
Tempo de implantação do SPD			
SPD1	1,97	1,44	86,42
SPD3	3,24	1,12	91,94
SPD5	3,91	1,03	90,95
SPD7	6,16	0,97	88,74

IQi			
SPD1	0,11	0,08	0,55
SPD3	0,22	0,19	0,74
SPD5	0,31	0,27	0,78
SPD7	0,73	0,32	0,55
Campo não cultivado de 0,06 a 0,10 m			
Média	8,34	0,89	93,43
DP	3,50	0,13	5,21
CV	41,96	14,40	5,58
Tempo de implantação do SPD			
SPD1	1,68	1,78	88,38
SPD3	1,94	1,35	88,60
SPD5	2,23	1,30	91,48
SPD7	7,37	1,15	91,22
IQi			
SPD1	0,14	0,00	0,55
SPD3	0,17	0,04	0,68
SPD5	0,19	0,05	0,82
SPD7	0,87	0,23	0,74
Campo não cultivado de 0,10 a 0,20 m			
Média	5,49	1,03	90,14
DP	1,12	0,15	4,41
CV	20,48	14,82	4,89
Tempo de implantação do SPD			
SPD1	2,08	2,21	90,09
SPD3	2,10	1,72	90,92
SPD5	2,67	1,56	90,45
SPD7	3,96	1,52	91,01
IQi			
SPD1	0,12	0,00	0,61
SPD3	0,03	0,06	0,78
SPD5	0,10	0,06	0,68
SPD7	0,51	0,07	0,71

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

De maneira geral verifica-se uma tendência de melhora da qualidade do Planossolo com o maior tempo de implantação do SPD em todas as camadas avaliadas. Observa-se aumento da Ma, bem como diminuição da Rp e do GC<sub>op</sub> nas camadas avaliadas devido os efeitos do maior tempo de implantação do SPD.

Como a qualidade do solo é avaliada em função das várias características que influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas e levando em consideração os três parâmetros selecionados, observa-se que o aumento dos índices de qualidade do solo com o maior tempo de implantação

(Tabela 26) do sistema de plantio direto apresenta coeficiente de correlação (r) de 0,86 com  $P < 0,0001$ .

**Tabela 26** – Índice de qualidade física do solo (IQS) para diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto em um Planossolo Háplico *Eutrófico*.

Tratamentos	IQS
0,00 a 0,03 m	
SPD1	0,25 b
SPD3	0,31 ab
SPD5	0,37 ab
SPD7	0,45 a
0,03 a 0,06 m	
SPD1	0,25 c
SPD3	0,38 b
SPD5	0,46 ab
SPD7	0,53 a
0,06 a 0,10 m	
SPD1	0,23 c
SPD3	0,30 bc
SPD5	0,35 b
SPD7	0,61 a
0,10 a 0,20 m	
SPD1	0,24 b
SPD3	0,29 b
SPD5	0,28 b
SPD7	0,43 a

SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, dentro de cada variável e camada de solo não diferem pelo teste de Duncan a 5 %.

Consideração que teoricamente o melhor IQS seria igual a 1, observa-se que o SPD7 apresentou o maior valor de IQS (0,61) na camada de 0,06 a 0,10, entretanto, nas camadas adjacentes a esta, o IQS aumentou conforme o maior tempo de implantação do SPD, mas tendeu à diminuição na camada de 0,10 a 0,20 m. Entretanto, é importante evidenciar que aqui estão sendo avaliados os desvios dos atributos em relação à área de campo não cultivado, não indicando que a área de referência esteja em condições ótimas. Exemplo disso são os valores heterogêneos observados no GC<sub>op</sub>. Além disso, ressalta-se que a referência é uma área de campo não manejada há mais 30 anos e sem pastejo.

O IQS evidencia que o maior tempo de implantação do SPD promove melhorias à qualidade do Planossolo, bem como atesta sua sensibilidade em

detectar os efeitos do sistema de manejo. Nesse sentido, caracteriza-se como ferramenta eficiente para a avaliação da qualidade do solo, podendo ser utilizada para a comparação de áreas em diferentes condições.

#### **5.4 CONCLUSÕES**

- A análise fatorial foi eficiente no processo de seleção das variáveis altamente correlacionadas evidenciando estrutura de dependência entre os diferentes parâmetros utilizados;
- O índice de qualidade física do solo mostrou-se eficiente para a avaliação da qualidade do Planossolo sob diferentes tempos de implantação do sistema de plantio direto;
- O maior tempo de implantação do sistema plantio direto promove a maior qualidade do solo.

## 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFRIFA, E.K.; ARMAH, F.A.; PAPPOE, A.N.M.; ESSANDOH, P.K.; Assessment of the quality of revegetated soil near an active goldmine in southwestern Ghana. **International Journal of Environmental Science**, 2, 873–888, 2011.
- ANDREWS, S. S., KARLEN, D. L., MITCHELL, J.P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 90: 25–45, 2002.
- ANDREWS, S.S.; CARROLL, C.R. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management. **Ecological Applications** 11: 1573–1585, 2001.
- BASTIDA, F.; ZSOLNAY, A.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. **Geoderma** 147:159–171, 2008.
- BLECKER, S.W.; STILLINGS, L.L.; AMACHER, M.C.; IPPOLITO, J.A., DECRAPPEO, N.M. Development of vegetation based soil quality indices for mineralized terrane in arid and semi-arid regions. **Ecological Indicators**. 20: 65–74, 2012.
- CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:541-549, 2008.
- CUNHA, N.G. da; COSTA, F.A. da. Solos da Estação Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado. Circular técnica nº 152. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Pelotas, RS, 2013.
- DIAS JUNIOR, M.S., PIERCE, F.J., 1995. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology** 8, 139–151.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F. and Stewart, B. A. (eds.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication 35. **Soil Science Society of America Inc**. pp. 3–21. 1994.
- HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6ed Bookman (2009).
- JAMES, F.C., MCCULLOCH, C.E. Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or pandora's box? **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**. 21: 129–166. 1990.
- JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W., **Applied multivariate statistical analysis**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1992.
- KARLEN, D.L. STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment, Soil Science Society of America, (SSSA Special Publication, 35), p.53-72 1994.
- KARLEN, D.L., ANDREWS, S.S., DORAN, J.W., Soil quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, 74:1-40, 2001.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society American Journal**, 61:4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S. & JORDAHL, J.L. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. **Soil and Tillage Research**, 31:149-167, 1994.

KEMPER, W.D. e ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. *Methods of Soil Analysis*. 2. ed. Madison, Wisconsin - USA: American Society of Agronomy. **Soil Science Society of America**, p.425-441, 1986.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A.; ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*, 2.ed. **American Society Agronomy**, 1986. p. 635-662.

KONDO, M.K., DIAS JUNIOR, M.S., 1999. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23, 497–506.

LIMA, A. C. R., HOOGMOED, W. B., BRUSSAARD, L. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. **Journal Environmental Quality**, 37, 623–630, 2008.

LORENA, V. **Análise multivariada da teoria à prática**. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, CCNE, 2005.

MAIA, C.E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciência Rural**, 43 (4): 603-609, 2013.

MASTO, R.E.; CHHONKAR, P.K.; PURAKAYASTHA, T.J.; PATRA, A.K.; SINGH, D. Soil quality indices for evaluation of long-term land use and soil management practices in semi-arid sub-tropical India. **Land Degradation and Development**. 19: 516–529, 2008.

MATULA, S.; ŠPONGROVÁ, K. Pedotransfer function application for estimation of soil hydrophysical properties using parametric methods. **Plant, Soil and Environment**, 53, 149–157, 2007.

MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V. & SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade sub-superficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1599-1608, 2007.

MENDHAM, D.S.; SMETHURST, P.J.; HOLZ, G.K.; MENARY, R. C.; GROVE, T.S.; WESTON, C.; BAKER, T. Soil analysis as indicators of phosphorous response in young eucalyptus plantations. **Soil Science Society American Journal** 66, 959–968, 2002.

PALMEIRA, P. R. T., PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA C. F. A.; GOMES, A. da S.; SILVA, J. B. da. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa(MG), v.23,p.189-195, 1999.

PIERCE, F.J.; LARSON W.E. Developing criteria to evaluate sustainable land management. p.7-14. 1993 In: J. M. Kimble (ed), **Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of Soil survey Information for Sustainable Land Use**, 1993. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE

PINTO, L.F.S.; LAUS NETO, J.A.; PAULETTO E.A. **Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M., eds. *Arroz irrigado no Sul do Brasil*. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for

no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, 102:242–254, 2009.

REZAEI, S.A.; GILKES, R.J.; ANDREWS, S.S. A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. **Geoderma**, 136:229–234, 2006.

SANTOS, H.G dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ed. rev. ampl. - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Brasília, DF, 2013, 353p.

SHUKLA, M. K., LAL, R., EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**. 87:194–204, 2006.

SHUKLA, M.K., LAL, R., EBINGER, M., Soil quality indicators for reclaimed minesoils in southeastern Ohio. **Soil Science Society of America**, 169: 133–142, 2004.

SILVA, R.B.; MASQUETTO, B.J. & LANÇAS, K.P. Desenvolvimento e automação de um consolidômetro com interface homem máquina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007. Anais. Gramado, Conquistas e Desafios da Ciência do Solo Brasileira, 2007. CD-ROM.

SMITH, J.L.; HALVORSON, J.J.; PAPENDICK, R.I.; Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. **Soil Science Society of America Journal**, 57, 743– 749, 1993.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, SAS/STAT, Procedure guide for personal computers; version 9, Cary: SAS Institute, 1999.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; WIETHÖLTER, S. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004. 400p.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:211-219, 2007.

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

YAKOWITZ, D.S.; STONE, J.J.; LANE, L.J.; HEILMAN, P.; MASTERSON, J.; ABOLT, J.; IMAM, B. A decision support system for evaluating the effect of alternative farm management systems on water quality and economics. **Water Science Technology**. 28: 47–54, 1993.

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

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARO-FUENTES, J.; JOAQUIN MORELL, F.; PLAZA-BONILLA, D.; ARRUE, J.; CANTERO-MARTINEZ, C. Modelling tillage and nitrogen fertilization effects on soil organic carbon dynamics. **Soil and Tillage Research**, 120:32–39, 2012.
- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; JUNIOR, A.M.; VIDAL, R.A. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, 31(2): 341-349, 2001.
- ANDREWS, S.S.; CARROLL, C.R. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management. **Ecological Applications** 11: 1573–1585, 2001.
- ARSHAD, M.A.; COEN, G.M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, 7:25-32, 1992.
- BEUTLER, A.N.; MUNARETO, J.D.; GRECO, A.M.F.; POZZEBON, B.C.; GALON, L.; GUIMARÃES, S.; BURG, G.; SCHMIDT, M.R.; DEAK, E.A.; R.; GIACOMELI; ALVES G. da S. Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, 35:1153-1162, 2014.
- BOLDRINI, I. I.; FERREIRA, P. M. A.; ANDRADE, B. O.; SCHNEIDER, A. A.; SETUBAL, R. B.; TREVISAN, R.; FREITAS, E.M. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre, editora Pallotti, 2010. 64 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. – v. 1, n.1 (2013) – Brasília : Conab, 2013. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_12\\_10\\_16\\_06\\_56\\_boletim\\_portugues\\_dezembro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_12_10_16_06_56_boletim_portugues_dezembro_2013.pdf)>
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; BACALTCHUK, B.; SATTLER, A.; DENARDIN, N.D'A.; FAGANELLO, A. & WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: Fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A.C.S. & SILVA, A.G., eds. Agricultura tropical: Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v.1, p.1251-1273.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).
- DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, 56:1-54, 1996.
- GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C. A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J. C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo não cultivado, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 1427-1440, 2009.
- HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P. COSTA, B.S.C. **Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul**. In: DALL'AGNOL, M.; NABINGER, C.; SANT'ANNA, D.M.; SANTOS, R.J. (eds.). II Simpósio de Forrageiras e Produção Animal. Depto. Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, Porto Alegre. 2007, p.:15-21.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Biomas do Brasil**. Primeira aproximação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm#MAPAS](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#MAPAS)> Acesso em: 09 out. 2014.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Porto Alegre, 2014. Disponível

em:<[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140225133041sistema\\_cultivo\\_13\\_14\\_i.i.SPdF](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140225133041sistema_cultivo_13_14_i.i.SPdF)> Acesso em: 09 out. 2014b.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Porto Alegre, 2014. Disponível

em:<[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140903105722produtividade\\_municipios\\_safr\\_13\\_14\\_versao\\_final.SPdF](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20140903105722produtividade_municipios_safr_13_14_versao_final.SPdF)> Acesso em: 09 out. 2014a.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management.** In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, 1994. p.37-51. (Special, 35).

LIMA, C.L.R.; MIOLA, E.C.C.; TIMM, L.C.; PAULETTO, E.A.; SILVA, A.P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, 124:190–195, 2012.

NUNES, M.L.; KLAMT, E.; REICHERT, J.M.; DALMOLIN, R.S.D. Características de solos sistematizados em duas áreas cultivadas com arroz sob inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:395-406, 2002.

NUNES, M.R.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; PAULETTO, E.A.; PINTO, L.F.S. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:627-638, 2014.

PARFITT, J.M.B.; TIMM, L.C.; REICHARDT, K.; PAULETTO, E.A. Impacts of land leveling on lowland soil physical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:315-326, 2014.

PEREIRA, V.C. Elementos para pensar a contribuição do Desenvolvimento Rural para conservação do bioma Pampa. **Mundo Agrário**, 15(28), 2014.

PICOLI, L.R.; SCHNADELBACH, C.V. (Orgs). **O Pampa em disputa – a biodiversidade ameaçada pela expansão das monoculturas de  rvores.** Núcleo amigos da terra Brasil. Friends of the Earth International, p.: 64, 2007.

PILLAR, V. DE P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M. DE S.; JACQUES, A.V. . **Campos Sulinos - conserva o e uso sustentável da biodiversidade.** Editores – Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009, 403 p.

PINTO, L.F.S.; NETO, J.A.L.; PAULETTO, E.A. **Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado**, p. 75 – 95. In.: GOMES, A. da S.; JUNIOR, A.M.de M. (Editores). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília – DF: Embrapa Informa o tecnológica, 2004, p.899.

PREVE, R.E.; MARTENS, D.C. Potential effect of land-leveling on soil fertility in a Brazilian rice soil. **Plant Soil**, 121:148-150, 1990.

REICHERT, J.M.; DARIVA, T.A.; REINERT, D.J.; SILVA, V.R. da. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada:análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, 38(40): 981-988 2008.

REIS, D.A.; LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; DUPONT, P.B.; PILLON,C.N. Tensile strength and friability of an Alfisol under agricultural management systems. **Scientia Agricola**, 71:163-168, 2014.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ed. rev. ampl. - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Brasília, DF, 2013, 353p.

SEYBOLD, C.A.; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L.; ROGERS, H.H. **Quantification of soil quality**. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A., eds. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, CRC Press, 1998, p.387-404.

SHERWOOD, S.; UPHOFF, N. **Soil health: Research, practice and policy for a more regenerative agriculture**. Applied Soil Ecology, 15:85-97, 2000.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre: Palotti, 2010. 188 p.

SOMBRERO, A.; BENITIO, A. Carbon accumulation in soil. Ten year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid areas of Castile-Leon, Spain. **Soil and Tillage Research**, 107:64–70, 2010.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:891-900, 2004.

## **7 Apêndices**

**Apêndice 1.** Porosidade total, Macroporosidade, Microporosidade e Relação Ma/Mi de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).

Trat*	Camada (cm)	Pt (%)	Ma (%)	Mi (%)	Mi/Ma
SPD1	0-3	48,39	1,51	46,88	31,03
SPD1	0-3	39,22	1,40	37,82	27,01
SPD1	0-3	43,20	1,46	41,74	28,68
SPD1	0-3	38,43	1,46	36,97	25,41
SPD1	0-3	36,25	1,31	34,94	26,72
SPD1	0-3	41,10	1,34	39,75	29,56
SPD1	0-3	44,01	1,20	42,81	35,75
SPD1	0-3	40,53	1,36	39,16	28,73
SPD1	0-3	40,51	1,44	39,07	27,19
SPD1	0-3	43,54	1,33	42,20	31,63
SPD1	0-3	45,97	1,26	44,71	35,47
SPD1	0-3	40,58	2,21	38,37	17,40
SPD3	0-3	41,94	1,86	40,09	21,58
SPD3	0-3	46,62	1,79	44,83	25,02
SPD3	0-3	43,88	1,88	41,99	22,29
SPD3	0-3	41,74	3,77	37,98	10,08
SPD3	0-3	41,89	3,21	38,68	12,04
SPD3	0-3	40,84	2,96	37,89	12,82
SPD3	0-3	42,35	3,00	39,35	13,11
SPD3	0-3	44,54	2,11	42,43	20,13
SPD3	0-3	40,91	3,46	37,45	10,83
SPD3	0-3	39,99	3,62	36,37	10,04
SPD3	0-3	40,35	4,29	36,05	8,40
SPD3	0-3	39,37	3,42	35,94	10,51
SPD5	0-3	46,25	4,55	41,70	9,17
SPD5	0-3	43,82	2,73	41,10	15,07
SPD5	0-3	45,68	4,68	41,00	8,76
SPD5	0-3	40,14	3,07	37,07	12,07
SPD5	0-3	49,59	4,64	44,95	9,68
SPD5	0-3	44,73	5,58	39,14	7,01
SPD5	0-3	37,56	3,02	34,54	11,43
SPD5	0-3	41,35	3,17	38,19	12,05
SPD5	0-3	40,73	4,46	36,27	8,14
SPD5	0-3	43,82	4,50	39,33	8,74
SPD5	0-3	45,68	4,71	40,98	8,71
SPD5	0-3	40,14	4,45	35,69	8,03
SPD7	0-3	46,42	5,64	40,78	7,24
SPD7	0-3	43,07	5,69	37,38	6,57
SPD7	0-3	44,48	8,64	35,85	4,15
SPD7	0-3	48,87	9,67	39,20	4,05
SPD7	0-3	42,75	5,71	37,04	6,49
SPD7	0-3	38,33	6,72	31,61	4,71
SPD7	0-3	46,28	6,18	40,10	6,49
SPD7	0-3	42,78	5,20	37,58	7,23
SPD7	0-3	45,65	6,16	39,49	6,41
SPD7	0-3	44,46	6,20	38,26	6,17

SPD7	0-3	47,80	5,18	42,63	8,23
SPD7	0-3	43,61	6,03	37,58	6,23
CN	0-3	45,41	11,48	33,93	2,95
CN	0-3	43,01	11,35	31,67	2,79
CN	0-3	43,79	11,66	32,12	2,75
CN	0-3	46,04	11,46	34,58	3,02
CN	0-3	48,34	9,84	38,50	3,91
CN	0-3	45,41	11,48	33,93	2,95
CN	0-3	50,01	11,35	38,67	3,41
CN	0-3	43,79	5,89	37,89	6,43
CN	0-3	47,41	8,73	38,68	4,43
CN	0-3	50,01	6,32	43,69	6,92
CN	0-3	43,79	4,36	39,42	9,04
CN	0-3	48,34	5,32	43,01	8,08
SPD1	3-6	37,17	2,04	35,13	17,20
SPD1	3-6	37,85	1,57	36,29	23,16
SPD1	3-6	38,78	2,31	36,48	15,82
SPD1	3-6	38,00	1,47	36,52	24,81
SPD1	3-6	37,85	1,52	36,34	23,97
SPD1	3-6	37,67	2,35	35,32	15,05
SPD1	3-6	41,87	1,72	40,15	23,37
SPD1	3-6	39,86	1,90	37,96	20,03
SPD1	3-6	36,58	2,41	34,18	14,21
SPD1	3-6	37,38	2,25	35,12	15,60
SPD1	3-6	35,15	1,97	33,18	16,83
SPD1	3-6	36,12	2,13	33,99	15,97
SPD3	3-6	39,84	2,85	36,99	13,00
SPD3	3-6	37,63	2,58	35,05	13,61
SPD3	3-6	40,36	2,72	37,64	13,86
SPD3	3-6	39,89	3,24	36,65	11,33
SPD3	3-6	34,90	2,56	32,34	12,62
SPD3	3-6	41,21	3,16	38,05	12,05
SPD3	3-6	40,12	3,73	36,39	9,75
SPD3	3-6	39,94	3,89	36,05	9,28
SPD3	3-6	38,98	3,93	35,05	8,93
SPD3	3-6	39,85	2,80	37,05	13,26
SPD3	3-6	37,89	2,86	35,03	12,23
SPD3	3-6	42,62	4,57	38,05	8,33
SPD5	3-6	41,54	4,33	37,21	8,60
SPD5	3-6	43,55	4,31	39,23	9,10
SPD5	3-6	42,85	4,31	38,54	8,95
SPD5	3-6	35,15	3,81	31,34	8,22
SPD5	3-6	43,40	4,35	39,05	8,98
SPD5	3-6	45,17	4,56	40,61	8,91
SPD5	3-6	34,04	2,58	31,46	12,20
SPD5	3-6	35,29	2,60	32,70	12,59
SPD5	3-6	35,15	2,73	32,42	11,89
SPD5	3-6	43,40	5,24	38,15	7,27
SPD5	3-6	44,10	4,41	39,69	9,00
SPD5	3-6	38,48	3,75	34,73	9,27

SPD7	3-6	40,82	4,88	35,94	7,36
SPD7	3-6	43,11	8,72	34,39	3,94
SPD7	3-6	41,76	3,76	38,00	10,11
SPD7	3-6	40,82	6,80	34,02	5,01
SPD7	3-6	42,11	6,80	35,31	5,20
SPD7	3-6	41,76	7,35	34,41	4,68
SPD7	3-6	39,14	4,14	35,00	8,45
SPD7	3-6	37,23	4,05	33,18	8,19
SPD7	3-6	39,11	6,12	32,98	5,39
SPD7	3-6	42,82	8,02	34,80	4,34
SPD7	3-6	42,11	6,08	36,03	5,93
SPD7	3-6	41,76	7,17	34,59	4,83
CN	3-6	41,09	10,96	30,13	2,75
CN	3-6	43,54	11,03	32,52	2,95
CN	3-6	42,18	10,68	31,50	2,95
CN	3-6	39,59	2,82	36,77	13,05
CN	3-6	46,09	9,10	36,99	4,06
CN	3-6	42,54	7,03	35,52	5,05
CN	3-6	40,18	4,68	35,50	7,59
CN	3-6	37,84	8,72	29,13	3,34
CN	3-6	41,09	10,57	30,52	2,89
CN	3-6	42,54	11,05	31,50	2,85
CN	3-6	41,18	10,82	30,36	2,81
CN	3-6	39,94	3,39	36,55	10,77
SPD1	6-10	41,24	2,00	39,24	19,62
SPD1	6-10	37,94	1,80	36,14	20,08
SPD1	6-10	44,15	2,28	41,87	18,37
SPD1	6-10	36,93	1,99	34,94	17,51
SPD1	6-10	37,15	1,01	36,14	35,67
SPD1	6-10	37,97	1,94	36,03	18,58
SPD1	6-10	43,04	1,30	41,74	32,04
SPD1	6-10	35,93	1,69	34,24	20,20
SPD1	6-10	37,15	1,01	36,14	35,67
SPD1	6-10	38,49	1,17	37,32	31,80
SPD1	6-10	42,56	2,10	40,47	19,27
SPD1	6-10	35,74	1,85	33,88	18,30
SPD3	6-10	36,69	2,31	34,38	14,88
SPD3	6-10	37,10	2,78	34,32	12,36
SPD3	6-10	30,14	1,19	28,95	24,25
SPD3	6-10	46,29	4,26	42,03	9,87
SPD3	6-10	36,58	1,81	34,77	19,18
SPD3	6-10	35,17	1,04	34,13	32,83
SPD3	6-10	39,24	1,37	37,87	27,62
SPD3	6-10	39,13	1,63	37,50	23,02
SPD3	6-10	38,65	1,85	36,80	19,89
SPD3	6-10	35,28	1,36	33,92	24,93
SPD3	6-10	36,23	1,82	34,41	18,90
SPD3	6-10	36,25	1,84	34,41	18,71
SPD5	6-10	40,16	2,37	37,79	15,94
SPD5	6-10	39,77	2,70	37,07	13,72

SPD5	6-10	42,92	2,19	40,73	18,63
SPD5	6-10	41,63	3,22	38,41	11,91
SPD5	6-10	42,05	1,32	40,74	30,96
SPD5	6-10	40,73	3,17	37,56	11,85
SPD5	6-10	35,37	1,16	34,21	29,48
SPD5	6-10	37,47	1,92	35,55	18,50
SPD5	6-10	34,50	1,99	32,51	16,30
SPD5	6-10	41,47	2,62	38,85	14,85
SPD5	6-10	36,22	2,27	33,95	14,98
SPD5	6-10	36,12	1,80	34,32	19,07
SPD7	6-10	44,69	7,45	31,24	4,19
SPD7	6-10	43,05	8,80	34,24	3,89
SPD7	6-10	44,36	9,84	34,52	3,51
SPD7	6-10	33,53	7,45	32,55	4,37
SPD7	6-10	44,69	7,75	30,06	3,88
SPD7	6-10	43,05	8,42	31,55	3,75
SPD7	6-10	44,36	7,24	37,12	5,13
SPD7	6-10	40,05	4,59	35,46	7,73
SPD7	6-10	40,36	4,42	35,94	8,13
SPD7	6-10	40,69	6,33	34,35	5,43
SPD7	6-10	39,05	8,23	34,12	4,15
SPD7	6-10	39,36	7,94	37,62	4,74
CN	6-10	46,38	13,04	33,34	2,56
CN	6-10	45,65	13,52	32,12	2,38
CN	6-10	46,40	12,95	33,45	2,58
CN	6-10	41,45	8,62	32,83	3,81
CN	6-10	42,63	8,61	34,02	3,95
CN	6-10	37,74	3,59	34,15	9,51
CN	6-10	40,82	9,07	31,75	3,50
CN	6-10	37,38	4,44	32,94	7,42
CN	6-10	36,93	4,14	32,79	7,91
CN	6-10	41,30	9,24	32,06	3,47
CN	6-10	41,45	5,95	35,50	5,97
CN	6-10	42,63	6,93	35,70	5,15
SPD1	10-20	30,54	4,74	25,79	5,44
SPD1	10-20	35,31	3,46	31,85	9,20
SPD1	10-20	36,49	4,18	32,31	7,73
SPD1	10-20	37,12	1,24	35,88	28,95
SPD1	10-20	32,48	1,35	31,13	23,06
SPD1	10-20	35,61	1,04	34,57	33,34
SPD1	10-20	38,61	1,90	36,71	19,29
SPD1	10-20	36,12	1,01	35,11	34,65
SPD1	10-20	39,11	1,74	37,37	21,52
SPD1	10-20	36,49	1,36	35,13	25,77
SPD1	10-20	41,87	1,51	40,36	26,72
SPD1	10-20	39,88	1,42	38,46	27,12
SPD3	10-20	38,50	2,11	36,39	17,26
SPD3	10-20	40,60	1,76	38,84	22,10
SPD3	10-20	36,63	1,63	35,00	21,42
SPD3	10-20	34,39	2,08	32,32	15,56

SPD3	10-20	33,99	1,81	32,17	17,74
SPD3	10-20	35,61	2,95	32,66	11,08
SPD3	10-20	36,79	1,83	34,96	19,14
SPD3	10-20	35,46	1,53	33,93	22,23
SPD3	10-20	38,72	1,72	37,00	21,53
SPD3	10-20	37,17	2,56	34,62	13,53
SPD3	10-20	36,40	2,97	33,43	11,26
SPD3	10-20	39,16	2,25	36,91	16,41
SPD5	10-20	38,69	2,85	35,79	12,56
SPD5	10-20	35,60	2,95	32,50	11,02
SPD5	10-20	36,46	4,63	31,83	6,87
SPD5	10-20	39,37	2,69	36,68	13,64
SPD5	10-20	40,18	2,99	31,53	10,54
SPD5	10-20	41,85	2,17	39,68	18,30
SPD5	10-20	35,52	2,45	29,95	12,23
SPD5	10-20	37,69	3,15	36,51	11,59
SPD5	10-20	34,60	2,23	32,37	14,49
SPD5	10-20	35,46	2,21	33,25	15,04
SPD5	10-20	34,74	1,92	32,83	17,13
SPD5	10-20	36,23	1,84	34,39	18,67
SPD7	10-20	35,61	3,00	32,60	10,86
SPD7	10-20	34,02	3,28	30,74	9,38
SPD7	10-20	35,76	5,65	30,10	5,33
SPD7	10-20	41,65	2,36	39,29	16,63
SPD7	10-20	36,09	4,66	31,43	6,75
SPD7	10-20	34,98	4,67	30,31	6,48
SPD7	10-20	42,61	2,21	40,40	18,28
SPD7	10-20	43,62	4,36	39,26	9,01
SPD7	10-20	41,87	4,49	37,38	8,33
SPD7	10-20	33,43	3,28	30,14	9,18
SPD7	10-20	34,48	4,72	29,75	6,30
SPD7	10-20	34,25	4,84	29,41	6,07
CN	10-20	38,46	7,95	30,51	3,84
CN	10-20	36,35	6,98	29,37	4,20
CN	10-20	39,83	5,24	34,59	6,60
CN	10-20	38,90	5,04	33,86	6,72
CN	10-20	35,46	5,67	29,79	5,25
CN	10-20	38,35	5,78	32,57	5,63
CN	10-20	34,84	4,75	30,09	6,33
CN	10-20	36,04	4,62	31,42	6,80
CN	10-20	38,33	4,62	33,70	7,29
CN	10-20	38,07	4,36	33,71	7,74
CN	10-20	40,23	6,42	33,80	5,26
CN	10-20	39,67	4,46	35,20	7,89

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD,

**Apêndice 2**, Classes de agregados estáveis (%) de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN),

Trat*	Camada (cm)	9,72-4,76	4,76-2,00	2,00-1,00	1,00-0,5	0,5-0,25	< 0,25
SPD1	0-3	29,31	4,09	4,43	10,17	9,49	42,51
SPD1	0-3	31,63	3,12	4,75	10,47	6,84	43,19
SPD1	0-3	31,95	2,91	3,68	8,38	9,33	43,76
SPD1	0-3	32,55	3,17	3,41	8,22	7,76	44,89
SPD1	0-3	33,08	1,04	3,62	9,29	6,08	46,89
SPD1	0-3	32,19	2,66	5,57	11,29	8,16	40,13
SPD1	0-3	35,48	4,14	3,05	5,75	4,43	47,15
SPD1	0-3	35,14	3,83	3,67	5,83	3,46	48,08
SPD1	0-3	36,92	3,22	2,09	3,13	3,30	51,34
SPD1	0-3	33,18	2,71	2,89	5,51	4,43	51,28
SPD1	0-3	33,60	2,75	3,03	7,63	3,86	49,14
SPD1	0-3	31,96	2,09	3,00	8,38	5,44	49,13
SPD3	0-3	34,86	4,92	4,68	7,76	5,81	41,97
SPD3	0-3	32,64	5,21	3,52	7,99	6,60	44,06
SPD3	0-3	31,50	6,55	4,55	6,20	7,06	44,15
SPD3	0-3	52,06	5,90	1,82	2,20	1,98	36,04
SPD3	0-3	54,80	5,47	1,37	2,13	1,44	34,78
SPD3	0-3	51,88	6,88	2,15	2,57	2,02	34,49
SPD3	0-3	41,37	12,01	5,04	9,13	1,73	30,73
SPD3	0-3	38,77	13,25	6,57	8,56	2,16	30,69
SPD3	0-3	38,56	13,72	5,82	6,74	1,82	33,35
SPD3	0-3	50,43	9,12	4,16	3,87	1,22	31,21
SPD3	0-3	51,36	7,06	3,57	3,77	0,88	33,37
SPD3	0-3	48,88	9,88	3,96	5,06	1,53	30,69
SPD5	0-3	52,67	7,14	1,57	2,94	1,68	34,00
SPD5	0-3	54,42	4,57	1,63	2,92	2,18	34,29
SPD5	0-3	60,52	2,09	0,49	0,91	1,09	34,90
SPD5	0-3	52,43	12,13	2,47	0,49	0,30	32,18
SPD5	0-3	52,48	11,04	2,18	0,78	0,34	33,17
SPD5	0-3	55,10	8,64	2,47	0,82	0,45	32,52
SPD5	0-3	43,84	6,15	2,52	2,23	3,02	42,24
SPD5	0-3	48,71	4,85	1,53	2,25	2,51	40,15
SPD5	0-3	48,25	5,51	1,61	1,73	2,20	40,69
SPD5	0-3	50,86	4,26	1,12	1,36	1,44	40,98
SPD5	0-3	45,61	6,15	2,60	4,37	2,56	38,71
SPD5	0-3	50,74	6,99	2,08	2,37	2,20	35,62
SPD7	0-3	48,17	9,33	3,81	4,05	3,12	31,53
SPD7	0-3	54,05	3,55	4,01	4,04	1,90	32,45
SPD7	0-3	41,69	8,14	3,09	2,58	1,91	42,59
SPD7	0-3	55,59	7,12	1,66	0,93	0,70	33,99
SPD7	0-3	57,93	6,32	1,38	0,96	0,71	32,69
SPD7	0-3	52,10	8,13	3,24	1,73	1,11	33,68
SPD7	0-3	43,64	8,16	3,24	2,45	2,08	40,43
SPD7	0-3	38,10	9,10	5,09	5,41	2,93	39,37
SPD7	0-3	39,52	10,28	3,66	4,08	2,61	39,85
SPD7	0-3	56,46	6,05	1,36	1,15	0,90	34,08

SPD7	0-3	53,84	7,41	2,45	2,04	1,55	32,70
SPD7	0-3	52,73	7,79	2,62	2,08	1,72	33,06
CN	0-3	53,36	8,35	2,43	1,44	1,01	33,42
CN	0-3	51,56	10,38	3,24	2,39	1,02	31,41
CN	0-3	54,17	5,81	2,97	2,02	1,71	33,33
CN	0-3	59,35	6,57	2,24	1,15	0,60	30,09
CN	0-3	56,58	8,49	2,89	1,54	0,75	29,76
CN	0-3	56,04	9,23	2,08	0,47	0,36	31,82
CN	0-3	49,28	12,13	5,11	3,37	2,01	28,10
CN	0-3	40,92	30,73	3,10	3,11	1,47	20,67
CN	0-3	49,50	11,33	4,99	6,79	1,82	25,56
CN	0-3	53,74	6,66	2,20	1,67	1,77	33,96
CN	0-3	53,86	6,28	2,56	2,50	1,29	33,53
CN	0-3	53,04	9,19	2,79	2,10	1,23	31,66
SPD1	3-6	34,88	3,15	3,20	7,19	7,96	43,62
SPD1	3-6	33,84	2,12	2,76	6,34	12,43	42,51
SPD1	3-6	31,87	2,69	4,00	9,42	6,75	45,28
SPD1	3-6	5,99	14,87	12,79	23,17	23,38	19,79
SPD1	3-6	28,72	3,01	3,59	5,36	6,93	52,40
SPD1	3-6	4,93	16,88	16,95	38,70	21,09	1,45
SPD1	3-6	34,50	4,79	3,99	6,38	6,33	44,02
SPD1	3-6	32,20	4,19	4,59	6,54	8,51	43,97
SPD1	3-6	33,07	5,61	3,98	7,79	5,74	43,81
SPD1	3-6	35,78	4,27	5,16	7,22	4,70	42,87
SPD1	3-6	34,00	4,32	3,99	7,24	7,24	43,20
SPD1	3-6	36,14	4,83	4,17	6,32	2,78	45,77
SPD3	3-6	28,46	5,06	4,89	9,08	8,91	43,60
SPD3	3-6	26,60	6,65	5,72	9,26	9,99	41,79
SPD3	3-6	29,10	5,05	5,68	11,78	5,92	42,47
SPD3	3-6	42,86	5,71	2,71	6,05	4,02	38,64
SPD3	3-6	41,20	8,65	4,35	6,10	5,49	34,21
SPD3	3-6	38,48	8,83	4,73	7,42	2,38	38,16
SPD3	3-6	42,99	6,73	6,73	10,09	1,40	32,06
SPD3	3-6	38,67	7,50	6,31	10,44	2,21	34,88
SPD3	3-6	36,81	8,76	6,02	10,04	2,61	35,75
SPD3	3-6	43,87	11,11	5,20	5,82	2,52	31,48
SPD3	3-6	46,32	9,50	7,26	6,48	1,68	28,77
SPD3	3-6	43,98	10,48	4,67	6,22	2,04	32,60
SPD5	3-6	46,07	5,16	2,19	2,81	3,24	40,54
SPD5	3-6	42,59	6,33	2,35	4,42	5,22	39,09
SPD5	3-6	34,11	28,45	1,81	2,69	2,68	30,26
SPD5	3-6	57,19	3,91	1,29	2,12	1,52	33,96
SPD5	3-6	56,84	4,19	1,27	1,64	2,12	33,95
SPD5	3-6	57,42	2,32	1,13	2,17	1,60	35,37
SPD5	3-6	46,41	4,74	1,90	3,03	3,94	39,98
SPD5	3-6	43,20	4,54	2,06	3,15	7,74	39,31
SPD5	3-6	45,30	3,80	1,92	3,45	3,68	41,86
SPD5	3-6	57,58	4,47	0,82	1,26	1,58	34,30
SPD5	3-6	56,97	3,89	1,15	1,90	3,50	32,59
SPD5	3-6	57,93	3,58	0,70	1,40	1,42	34,97

SPD7	3-6	44,33	10,41	3,80	2,59	2,41	36,45
SPD7	3-6	37,42	8,51	2,77	2,74	3,71	44,86
SPD7	3-6	46,35	8,65	3,68	4,72	2,29	34,30
SPD7	3-6	42,88	24,55	1,50	1,90	2,34	26,82
SPD7	3-6	51,69	5,95	1,98	2,37	4,10	33,91
SPD7	3-6	47,07	6,72	3,03	3,18	2,61	37,40
SPD7	3-6	33,10	9,44	5,97	6,59	4,74	40,16
SPD7	3-6	41,08	6,44	3,56	4,37	6,38	38,16
SPD7	3-6	42,84	5,41	2,55	4,87	2,85	41,49
SPD7	3-6	37,32	8,10	4,38	4,89	5,86	39,46
SPD7	3-6	52,76	2,97	2,08	2,80	4,84	34,55
SPD7	3-6	38,78	7,75	2,20	4,35	3,15	43,77
CN	3-6	53,61	4,72	2,17	2,02	1,37	36,11
CN	3-6	53,59	4,30	2,58	1,60	1,14	36,79
CN	3-6	50,86	9,73	3,56	4,24	0,74	30,88
CN	3-6	55,06	8,65	2,95	2,54	2,95	27,84
CN	3-6	55,71	6,98	2,67	2,15	4,57	27,92
CN	3-6	58,17	6,06	2,17	1,73	0,77	31,10
CN	3-6	53,64	7,99	2,98	2,31	1,83	31,25
CN	3-6	52,52	9,27	3,00	2,54	2,68	29,99
CN	3-6	54,48	8,41	2,52	2,63	1,05	30,92
CN	3-6	53,12	5,95	3,72	3,02	1,72	32,47
CN	3-6	54,03	4,81	2,83	2,60	2,49	33,24
CN	3-6	53,71	5,89	2,51	2,69	1,30	33,90
SPD1	6-10	39,90	3,40	3,05	4,09	5,83	43,72
SPD1	6-10	38,69	3,86	2,80	8,47	5,12	41,07
SPD1	6-10	39,92	4,23	3,43	5,41	5,72	41,29
SPD1	6-10	24,15	4,80	3,29	6,65	8,61	52,51
SPD1	6-10	48,44	1,76	1,11	4,05	3,55	41,10
SPD1	6-10	46,32	1,98	1,24	4,30	4,01	42,15
SPD1	6-10	31,89	4,81	5,68	8,16	2,53	46,93
SPD1	6-10	35,67	5,03	3,42	6,21	2,49	47,18
SPD1	6-10	36,27	4,72	2,67	3,80	2,64	49,90
SPD1	6-10	35,78	3,45	3,56	5,37	5,74	46,09
SPD1	6-10	32,47	4,57	3,78	7,99	6,64	44,55
SPD1	6-10	37,01	4,47	3,43	5,95	4,75	44,38
SPD3	6-10	30,26	3,05	2,62	6,61	8,73	48,72
SPD3	6-10	37,05	1,48	2,11	6,53	4,13	48,70
SPD3	6-10	32,45	3,21	3,45	5,96	6,51	48,42
SPD3	6-10	48,28	7,90	3,26	3,86	2,79	33,91
SPD3	6-10	51,27	6,24	2,60	3,68	1,50	34,72
SPD3	6-10	49,93	6,56	2,57	4,19	2,29	34,45
SPD3	6-10	35,80	11,88	9,27	11,27	1,77	30,00
SPD3	6-10	34,95	11,57	7,25	14,21	2,45	29,57
SPD3	6-10	36,09	12,24	6,47	13,18	2,23	29,79
SPD3	6-10	28,93	9,24	6,89	14,74	2,89	37,31
SPD3	6-10	28,31	6,76	8,20	14,62	2,61	39,50
SPD3	6-10	33,52	8,30	4,82	8,31	2,60	42,46
SPD5	6-10	37,41	6,20	3,29	5,06	5,72	42,32
SPD5	6-10	37,53	5,64	2,79	6,06	6,12	41,86

SPD5	6-10	41,98	4,25	2,81	4,58	4,86	41,52
SPD5	6-10	36,55	8,09	4,28	5,89	3,07	42,11
SPD5	6-10	45,48	3,47	1,49	3,09	4,16	42,30
SPD5	6-10	46,94	7,10	1,70	2,74	1,93	39,60
SPD5	6-10	22,78	9,81	3,21	6,31	6,19	51,70
SPD5	6-10	31,06	8,04	3,98	7,50	3,41	46,01
SPD5	6-10	26,28	7,63	3,84	7,53	5,14	49,59
SPD5	6-10	45,13	5,77	2,03	3,33	4,42	39,32
SPD5	6-10	45,96	4,27	2,04	2,94	3,32	41,46
SPD5	6-10	39,77	4,99	2,49	5,35	5,75	41,66
SPD7	6-10	43,19	1,18	1,55	0,78	0,20	53,11
SPD7	6-10	40,52	5,01	2,09	5,29	0,57	46,52
SPD7	6-10	40,92	5,56	0,96	1,78	0,82	49,95
SPD7	6-10	39,88	6,07	2,79	5,04	6,38	39,84
SPD7	6-10	39,68	6,19	4,43	6,05	4,99	38,66
SPD7	6-10	38,17	6,58	3,74	6,86	7,83	36,82
SPD7	6-10	31,86	16,24	3,13	11,23	20,48	17,06
SPD7	6-10	35,96	9,15	2,87	11,25	6,07	34,69
SPD7	6-10	41,45	6,55	5,65	9,20	5,43	31,72
SPD7	6-10	41,01	6,15	2,03	1,28	1,73	47,79
SPD7	6-10	41,29	1,15	3,35	2,68	0,92	50,60
SPD7	6-10	53,78	10,24	6,26	11,96	9,08	8,68
CN	6-10	51,21	8,10	3,64	1,62	4,16	31,27
CN	6-10	52,68	5,69	2,46	2,84	1,74	34,59
CN	6-10	51,92	6,97	4,57	4,23	3,41	28,90
CN	6-10	44,38	11,36	5,84	4,87	3,48	30,07
CN	6-10	46,58	11,64	4,76	4,77	2,17	30,08
CN	6-10	46,33	10,76	5,52	4,54	3,22	29,63
CN	6-10	45,05	11,39	2,86	4,39	1,32	34,99
CN	6-10	45,98	9,25	4,98	6,29	2,33	31,17
CN	6-10	43,98	19,16	4,06	4,70	2,38	25,72
CN	6-10	35,96	7,17	5,84	5,68	3,72	41,63
CN	6-10	35,20	8,84	6,11	10,35	2,49	37,00
CN	6-10	37,39	6,17	3,99	6,73	5,91	39,81
SPD1	10-20	37,77	4,81	3,59	8,24	6,34	39,25
SPD1	10-20	38,84	4,93	2,72	5,22	8,37	39,92
SPD1	10-20	38,83	4,96	2,58	6,28	5,22	42,12
SPD1	10-20	33,82	3,56	2,74	5,26	10,63	43,99
SPD1	10-20	37,07	3,71	4,80	7,93	5,80	40,69
SPD1	10-20	37,23	5,52	3,10	8,00	5,58	40,56
SPD1	10-20	37,14	3,32	2,31	4,23	5,81	47,18
SPD1	10-20	36,92	4,56	2,95	5,56	4,99	45,02
SPD1	10-20	31,27	4,54	3,61	10,06	4,50	46,03
SPD1	10-20	36,01	3,15	2,83	6,66	7,26	44,10
SPD1	10-20	34,31	3,87	3,55	5,97	9,40	42,89
SPD1	10-20	32,93	4,51	5,61	8,85	4,19	43,92
SPD3	10-20	25,07	3,92	7,80	9,87	8,98	44,35
SPD3	10-20	27,83	3,87	3,02	6,06	13,09	46,12
SPD3	10-20	28,53	3,46	3,03	8,70	5,48	50,79
SPD3	10-20	34,80	11,00	6,83	8,18	4,19	35,00

SPD3	10-20	41,24	9,31	5,57	6,04	4,27	33,58
SPD3	10-20	46,78	5,51	4,23	5,93	2,10	35,45
SPD3	10-20	31,15	5,10	10,75	17,30	2,63	33,07
SPD3	10-20	33,09	6,66	7,20	15,45	3,87	33,73
SPD3	10-20	26,44	9,83	8,34	17,81	3,63	33,96
SPD3	10-20	32,60	6,02	4,56	16,26	2,90	37,66
SPD3	10-20	29,87	5,59	3,98	20,29	4,56	35,72
SPD3	10-20	31,00	5,48	7,49	18,33	2,21	35,48
SPD5	10-20	34,32	4,04	2,93	5,82	5,80	47,09
SPD5	10-20	35,18	4,25	2,42	3,46	8,39	46,30
SPD5	10-20	34,76	4,73	3,09	6,16	5,49	45,77
SPD5	10-20	53,86	4,94	1,50	1,34	1,06	37,30
SPD5	10-20	55,53	5,56	1,39	1,74	1,50	34,28
SPD5	10-20	51,71	7,96	3,60	3,11	1,30	32,33
SPD5	10-20	47,04	8,72	2,26	3,13	2,53	36,33
SPD5	10-20	45,88	2,15	1,94	2,66	5,45	41,93
SPD5	10-20	51,52	4,85	1,93	3,25	1,76	36,69
SPD5	10-20	34,24	2,84	3,34	9,13	11,30	39,15
SPD5	10-20	35,24	3,76	3,42	9,33	11,91	36,33
SPD5	10-20	32,99	4,20	3,60	11,18	7,14	40,89
SPD7	10-20	33,36	8,13	8,19	11,71	0,17	38,44
SPD7	10-20	37,61	6,40	5,36	7,44	9,00	34,19
SPD7	10-20	35,62	5,62	4,94	9,28	5,20	39,34
SPD7	10-20	39,00	7,02	3,64	6,59	5,32	38,44
SPD7	10-20	40,28	4,35	3,21	4,27	8,19	39,70
SPD7	10-20	38,60	3,75	3,45	6,20	5,18	42,83
SPD7	10-20	35,27	6,53	4,42	7,85	4,81	41,11
SPD7	10-20	31,27	3,36	3,43	10,35	11,20	40,39
SPD7	10-20	31,05	4,28	4,31	9,92	5,55	44,89
SPD7	10-20	32,37	5,86	4,29	6,81	10,25	40,42
SPD7	10-20	31,80	3,82	3,24	4,96	12,45	43,73
SPD7	10-20	30,41	2,04	2,79	9,98	7,04	47,74
CN	10-20	44,75	5,30	4,50	5,77	3,20	36,47
CN	10-20	40,81	6,17	3,90	6,68	6,25	36,19
CN	10-20	43,15	1,94	1,43	9,31	2,15	42,02
CN	10-20	40,45	9,32	7,07	6,62	3,21	33,32
CN	10-20	42,07	7,08	5,55	7,16	7,29	30,84
CN	10-20	42,31	7,00	4,36	6,55	3,39	36,39
CN	10-20	48,85	5,20	4,41	5,81	2,08	33,65
CN	10-20	45,74	5,93	5,45	5,89	5,17	31,83
CN	10-20	49,36	5,33	3,98	5,48	2,25	33,60
CN	10-20	31,10	4,42	3,64	9,91	3,51	47,41
CN	10-20	32,03	3,83	4,90	7,57	7,18	44,50
CN	10-20	30,42	5,83	6,19	8,35	5,12	44,09

\*Tratamento: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

**Apêndice 3.** Diâmetro médio ponderado, macroagregados e microagregados de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).

Trat*	Camada (cm)	DMP (mm)	Macro (%)	Micro (%)
SPD1	0-3	2,29	44,13	32,81
SPD1	0-3	2,57	56,81	43,19
SPD1	0-3	2,56	56,24	43,76
SPD1	0-3	2,63	55,11	44,89
SPD1	0-3	2,58	53,11	46,89
SPD1	0-3	2,61	59,87	40,13
SPD1	0-3	2,84	52,85	47,15
SPD1	0-3	2,80	51,92	48,08
SPD1	0-3	2,87	48,66	51,34
SPD1	0-3	2,63	48,72	51,28
SPD1	0-3	2,65	50,86	49,14
SPD1	0-3	2,52	50,87	49,13
SPD3	0-3	2,86	58,03	41,97
SPD3	0-3	2,68	55,94	44,06
SPD3	0-3	2,65	55,85	44,15
SPD3	0-3	4,01	63,96	36,04
SPD3	0-3	4,18	65,22	34,78
SPD3	0-3	4,03	65,51	34,49
SPD3	0-3	3,55	69,27	30,73
SPD3	0-3	3,41	69,31	30,69
SPD3	0-3	3,39	66,65	33,35
SPD3	0-3	4,04	68,79	31,21
SPD3	0-3	4,03	66,63	33,37
SPD3	0-3	3,96	69,31	30,69
SPD5	0-3	4,10	66,00	34,00
SPD5	0-3	4,13	65,71	34,29
SPD5	0-3	4,45	65,10	34,90
SPD5	0-3	4,24	67,82	32,18
SPD5	0-3	4,20	66,83	33,17
SPD5	0-3	4,31	67,48	32,52
SPD5	0-3	3,46	57,76	42,24
SPD5	0-3	3,73	59,85	40,15
SPD5	0-3	3,72	59,31	40,69
SPD5	0-3	3,86	59,02	40,98
SPD5	0-3	3,58	61,29	38,71
SPD5	0-3	3,95	64,38	35,62
SPD7	0-3	3,89	68,47	31,53
SPD7	0-3	4,11	67,55	32,45
SPD7	0-3	3,37	57,41	42,59
SPD7	0-3	4,29	66,01	33,99
SPD7	0-3	4,42	67,31	32,69
SPD7	0-3	4,10	66,32	33,68
SPD7	0-3	3,52	59,57	40,43
SPD7	0-3	3,19	60,63	39,37
SPD7	0-3	3,30	60,15	39,85
SPD7	0-3	4,31	65,92	34,08

SPD7	0-3	4,19	67,30	32,70
SPD7	0-3	4,12	66,94	33,06
CN	0-3	4,18	66,58	33,42
CN	0-3	4,14	68,59	31,41
CN	0-3	4,17	66,67	33,33
CN	0-3	4,54	69,91	30,09
CN	0-3	4,42	70,24	29,76
CN	0-3	4,39	68,18	31,82
CN	0-3	4,07	71,90	28,10
CN	0-3	4,05	79,33	20,67
CN	0-3	4,07	74,44	25,56
CN	0-3	4,16	66,04	33,96
CN	0-3	4,16	66,47	33,53
CN	0-3	4,19	68,34	31,66
SPD1	3-6	2,78	56,38	43,62
SPD1	3-6	2,64	57,49	42,51
SPD1	3-6	2,55	54,72	45,28
SPD1	3-6	1,41	80,21	19,79
SPD1	3-6	2,32	47,60	52,40
SPD1	3-6	1,46	98,55	1,45
SPD1	3-6	2,81	55,98	44,02
SPD1	3-6	2,62	56,03	43,97
SPD1	3-6	2,72	56,19	43,81
SPD1	3-6	2,90	57,13	42,87
SPD1	3-6	2,75	56,80	43,20
SPD1	3-6	2,91	54,23	45,77
SPD3	3-6	2,43	56,40	43,60
SPD3	3-6	2,34	58,21	41,79
SPD3	3-6	2,47	57,53	42,47
SPD3	3-6	3,40	61,36	38,64
SPD3	3-6	3,39	65,79	34,21
SPD3	3-6	3,22	61,84	38,16
SPD3	3-6	3,52	67,94	32,06
SPD3	3-6	3,22	65,12	34,88
SPD3	3-6	3,13	64,25	35,75
SPD3	3-6	3,68	68,52	31,48
SPD3	3-6	3,82	71,23	28,77
SPD3	3-6	3,65	67,40	32,60
SPD5	3-6	3,58	59,46	40,54
SPD5	3-6	3,38	60,91	39,09
SPD5	3-6	3,48	69,74	30,26
SPD5	3-6	4,30	66,04	33,96
SPD5	3-6	4,28	66,05	33,95
SPD5	3-6	4,26	64,63	35,37
SPD5	3-6	3,59	60,02	39,98
SPD5	3-6	3,35	60,69	39,31
SPD5	3-6	3,47	58,14	41,86
SPD5	3-6	4,33	65,70	34,30
SPD5	3-6	4,28	67,41	32,59
SPD5	3-6	4,32	65,03	34,97

SPD7	3-6	3,65	63,55	36,45
SPD7	3-6	3,08	55,14	44,86
SPD7	3-6	3,73	65,70	34,30
SPD7	3-6	3,97	73,18	26,82
SPD7	3-6	3,99	66,09	33,91
SPD7	3-6	3,70	62,60	37,40
SPD7	3-6	2,89	59,84	40,16
SPD7	3-6	3,29	61,84	38,16
SPD7	3-6	3,37	58,51	41,49
SPD7	3-6	3,11	60,54	39,46
SPD7	3-6	3,97	65,45	34,55
SPD7	3-6	3,15	56,23	43,77
CN	3-6	4,09	63,89	36,11
CN	3-6	4,07	63,21	36,79
CN	3-6	4,08	69,12	30,88
CN	3-6	4,33	72,16	27,84
CN	3-6	4,31	72,08	27,92
CN	3-6	4,44	68,90	31,10
CN	3-6	4,21	68,75	31,25
CN	3-6	4,17	70,01	29,99
CN	3-6	4,27	69,08	30,92
CN	3-6	4,12	67,53	32,47
CN	3-6	4,12	66,76	33,24
CN	3-6	4,13	66,10	33,90
SPD1	6-10	3,12	56,28	43,72
SPD1	6-10	3,05	58,93	41,07
SPD1	6-10	3,14	58,71	41,29
SPD1	6-10	2,08	47,49	52,51
SPD1	6-10	3,62	58,90	41,10
SPD1	6-10	3,48	57,85	42,15
SPD1	6-10	2,65	53,07	46,93
SPD1	6-10	2,87	52,82	47,18
SPD1	6-10	2,88	50,10	49,90
SPD1	6-10	2,84	53,91	46,09
SPD1	6-10	2,65	55,45	44,55
SPD1	6-10	2,95	55,62	44,38
SPD3	6-10	2,45	51,28	48,72
SPD3	6-10	2,84	51,30	48,70
SPD3	6-10	2,59	51,58	48,42
SPD3	6-10	3,84	66,09	33,91
SPD3	6-10	3,98	65,28	34,72
SPD3	6-10	3,90	65,55	34,45
SPD3	6-10	3,23	70,00	30,00
SPD3	6-10	3,13	70,43	29,57
SPD3	6-10	3,21	70,21	29,79
SPD3	6-10	2,65	62,69	37,31
SPD3	6-10	2,52	60,50	39,50
SPD3	6-10	2,86	57,54	42,46
SPD5	6-10	3,04	57,68	42,32
SPD5	6-10	3,01	58,14	41,86

SPD5	6-10	3,27	58,48	41,52
SPD5	6-10	3,06	57,89	42,11
SPD5	6-10	3,47	57,70	42,30
SPD5	6-10	3,69	60,40	39,60
SPD5	6-10	2,14	48,30	51,70
SPD5	6-10	2,66	53,99	46,01
SPD5	6-10	2,31	50,41	49,59
SPD5	6-10	3,54	60,68	39,32
SPD5	6-10	3,53	58,54	41,46
SPD5	6-10	3,14	58,34	41,66
<hr/>				
SPD7	6-10	3,22	46,89	53,11
SPD7	6-10	3,19	53,48	46,52
SPD7	6-10	3,20	50,05	49,95
SPD7	6-10	3,21	60,16	39,84
SPD7	6-10	3,20	61,34	38,66
SPD7	6-10	3,11	63,18	36,82
SPD7	6-10	3,05	82,94	17,06
SPD7	6-10	3,04	65,31	34,69
SPD7	6-10	3,37	68,28	31,72
SPD7	6-10	3,24	52,21	47,79
SPD7	6-10	3,12	49,40	50,60
SPD7	6-10	4,38	91,32	8,68
<hr/>				
CN	6-10	4,05	68,73	31,27
CN	6-10	4,05	65,41	34,59
CN	6-10	4,08	71,10	28,90
CN	6-10	3,73	69,93	30,07
CN	6-10	3,86	69,92	30,08
CN	6-10	3,83	70,37	29,63
CN	6-10	3,73	65,01	34,99
CN	6-10	3,75	68,83	31,17
CN	6-10	3,91	74,28	25,72
CN	6-10	3,01	58,37	41,63
CN	6-10	3,02	63,00	37,00
CN	6-10	3,04	60,19	39,81
<hr/>				
SPD1	10-20	3,05	60,75	39,25
SPD1	10-20	3,08	60,08	39,92
SPD1	10-20	3,08	57,88	42,12
SPD1	10-20	2,71	56,01	43,99
SPD1	10-20	2,95	59,31	40,69
SPD1	10-20	3,00	59,44	40,56
SPD1	10-20	2,91	52,82	47,18
SPD1	10-20	2,93	54,98	45,02
SPD1	10-20	2,57	53,97	46,03
SPD1	10-20	2,85	55,90	44,10
SPD1	10-20	2,74	57,11	42,89
SPD1	10-20	2,71	56,08	43,92
<hr/>				
SPD3	10-20	2,20	55,65	44,35
SPD3	10-20	2,28	53,88	46,12
SPD3	10-20	2,33	49,21	50,79
SPD3	10-20	3,08	65,00	35,00

SPD3	10-20	3,43	66,42	33,58
SPD3	10-20	3,68	64,55	35,45
SPD3	10-20	2,74	66,93	33,07
SPD3	10-20	2,84	66,27	33,73
SPD3	10-20	2,51	66,04	33,96
SPD3	10-20	2,78	62,34	37,66
SPD3	10-20	2,56	64,28	35,72
SPD3	10-20	2,67	64,52	35,48
SPD5	10-20	2,76	52,91	47,09
SPD5	10-20	2,79	53,70	46,30
SPD5	10-20	2,79	54,23	45,77
SPD5	10-20	4,10	62,70	37,30
SPD5	10-20	4,23	65,72	34,28
SPD5	10-20	4,08	67,67	32,33
SPD5	10-20	3,77	63,67	36,33
SPD5	10-20	3,46	58,07	41,93
SPD5	10-20	3,94	63,31	36,69
SPD5	10-20	2,75	60,85	39,15
SPD5	10-20	2,82	63,67	36,33
SPD5	10-20	2,69	59,11	40,89
SPD7	10-20	2,92	61,56	38,44
SPD7	10-20	3,09	65,81	34,19
SPD7	10-20	2,92	60,66	39,34
SPD7	10-20	3,19	61,56	38,44
SPD7	10-20	3,16	60,30	39,70
SPD7	10-20	3,04	57,17	42,83
SPD7	10-20	2,93	58,89	41,11
SPD7	10-20	2,53	59,61	40,39
SPD7	10-20	2,55	55,11	44,89
SPD7	10-20	2,71	59,58	40,42
SPD7	10-20	2,56	56,27	43,73
SPD7	10-20	2,42	52,26	47,74
CN	10-20	3,54	63,53	36,47
CN	10-20	3,28	63,81	36,19
CN	10-20	3,28	57,98	42,02
CN	10-20	3,41	66,68	33,32
CN	10-20	3,42	69,16	30,84
CN	10-20	3,42	63,61	36,39
CN	10-20	3,82	66,35	33,65
CN	10-20	3,63	68,17	31,83
CN	10-20	3,84	66,40	33,60
CN	10-20	2,57	52,59	47,41
CN	10-20	2,61	55,50	44,50
CN	10-20	2,58	55,91	44,09

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

**Apêndice 4.** Parâmetros compressivos de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).

Trat*	Camada (cm)	IC (adimensional)	$\sigma_p$ (kPa)	$Ds\sigma_p$ (Mg m <sup>-3</sup> )	GC $\sigma_p$ (%)	GC1600 (%)
SPD1	0-3	0,30	246,00	1,93	87,67	77,90
SPD1	0-3	0,29	224,00	1,70	95,33	83,07
SPD1	0-3	0,37	295,00	1,76	89,24	74,50
SPD1	0-3	0,21	115,00	1,75	95,47	84,97
SPD1	0-3	0,33	289,00	1,98	90,41	77,80
SPD1	0-3	0,30	156,00	1,77	90,86	76,50
SPD1	0-3	0,34	265,00	1,78	79,29	66,97
SPD1	0-3	0,36	210,00	1,88	85,03	73,87
SPD1	0-3	0,29	214,00	1,75	95,81	81,43
SPD1	0-3	0,34	212,00	1,90	93,95	81,83
SPD1	0-3	0,31	203,00	1,76	89,04	80,30
SPD1	0-3	0,29	231,00	1,65	93,29	81,87
SPD3	0-3	0,31	127,00	1,73	87,14	68,83
SPD3	0-3	0,20	198,00	1,65	85,62	64,87
SPD3	0-3	0,27	178,00	1,75	89,96	77,70
SPD3	0-3	0,28	187,00	1,57	94,01	86,83
SPD3	0-3	0,29	238,00	1,82	90,58	82,57
SPD3	0-3	0,23	219,00	1,83	96,41	85,10
SPD3	0-3	0,32	256,00	2,24	93,91	85,47
SPD3	0-3	0,34	212,00	1,72	87,05	79,90
SPD3	0-3	0,31	219,00	1,94	94,51	85,80
SPD3	0-3	0,32	234,00	1,80	81,86	65,20
SPD3	0-3	0,23	279,00	1,84	95,36	86,23
SPD3	0-3	0,25	241,00	1,94	89,58	80,67
SPD5	0-3	0,30	188,00	1,67	94,24	80,80
SPD5	0-3	0,25	146,00	1,75	94,82	82,73
SPD5	0-3	0,26	205,00	1,53	95,49	82,67
SPD5	0-3	0,33	186,00	1,57	92,91	77,40
SPD5	0-3	0,41	134,00	1,52	95,18	86,60
SPD5	0-3	0,33	200,00	1,55	93,33	77,70
SPD5	0-3	0,25	267,00	1,78	91,31	81,93
SPD5	0-3	0,25	191,00	1,68	94,03	86,03
SPD5	0-3	0,30	222,00	1,77	86,18	77,67
SPD5	0-3	0,21	197,00	1,65	91,12	82,90
SPD5	0-3	0,28	150,00	1,73	85,20	75,00
SPD5	0-3	0,24	258,00	1,93	94,06	85,67
SPD7	0-3	0,23	130,00	1,46	99,35	75,30
SPD7	0-3	0,35	109,00	1,46	88,07	68,60
SPD7	0-3	0,42	150,00	1,49	89,12	69,10
SPD7	0-3	0,38	125,00	1,53	89,10	79,30
SPD7	0-3	0,53	205,00	1,61	86,58	74,13
SPD7	0-3	0,47	156,00	1,52	92,19	80,33
SPD7	0-3	0,25	177,00	1,71	89,92	77,37
SPD7	0-3	0,31	168,00	1,72	86,69	77,57
SPD7	0-3	0,28	190,00	1,59	92,93	84,17
SPD7	0-3	0,36	184,00	1,72	82,73	70,27

SPD7	0-3	0,23	252,00	1,72	88,40	77,70
SPD7	0-3	0,26	206,00	1,77	94,67	82,63
CN	0-3	0,38	67,00	1,39	88,95	64,33
CN	0-3	0,33	63,00	1,64	99,45	69,33
CN	0-3	0,41	79,00	1,44	87,68	64,03
CN	0-3	0,46	154,00	1,57	93,20	77,40
CN	0-3	0,41	134,00	1,52	86,54	70,77
CN	0-3	0,43	180,00	1,47	93,33	79,43
CN	0-3	0,30	86,00	1,43	91,18	74,90
CN	0-3	0,39	85,00	1,56	91,15	77,40
CN	0-3	0,35	166,00	1,62	91,55	75,77
CN	0-3	0,37	132,00	1,42	89,92	78,17
CN	0-3	0,25	214,00	1,67	89,58	75,37
CN	0-3	0,54	180,00	1,72	89,58	75,37
SPD1	3-6	0,25	242,00	1,66	95,31	83,83
SPD1	3-6	0,38	263,00	1,82	82,71	73,67
SPD1	3-6	0,27	210,00	1,59	90,95	77,40
SPD1	3-6	0,30	289,00	1,93	87,04	79,93
SPD1	3-6	0,31	218,00	1,80	89,87	78,70
SPD1	3-6	0,30	234,00	2,56	64,85	50,60
SPD1	3-6	0,38	250,00	1,86	87,46	78,17
SPD1	3-6	0,29	290,00	1,84	75,62	74,27
SPD1	3-6	0,23	254,00	1,71	81,30	71,40
SPD1	3-6	0,35	157,00	1,71	94,06	63,87
SPD1	3-6	0,31	203,00	1,91	96,32	88,20
SPD1	3-6	0,24	234,00	1,86	91,51	83,60
SPD3	3-6	0,21	317,00	1,83	94,16	76,87
SPD3	3-6	0,22	222,00	2,01	94,05	83,03
SPD3	3-6	0,24	184,00	1,68	92,48	81,23
SPD3	3-6	0,31	309,00	2,16	83,83	75,87
SPD3	3-6	0,27	189,00	1,85	91,77	81,10
SPD3	3-6	0,31	304,00	1,89	91,28	81,70
SPD3	3-6	0,33	259,00	1,92	95,54	87,97
SPD3	3-6	0,27	229,00	1,79	90,72	83,30
SPD3	3-6	0,24	272,00	1,80	85,92	78,30
SPD3	3-6	0,32	235,00	2,05	94,35	85,60
SPD3	3-6	0,26	228,00	1,90	94,95	87,43
SPD3	3-6	0,28	268,00	1,87	94,23	85,17
SPD5	3-6	0,27	1,79	1,65	93,56	78,17
SPD5	3-6	0,24	167,00	1,75	95,22	70,43
SPD5	3-6	0,29	190,00	1,55	93,74	78,77
SPD5	3-6	0,32	221,00	1,72	94,43	82,70
SPD5	3-6	0,32	181,00	1,82	87,95	75,43
SPD5	3-6	0,28	220,00	1,75	92,20	82,27
SPD5	3-6	0,27	267,00	1,84	84,59	75,00
SPD5	3-6	0,24	242,00	1,77	90,42	82,17
SPD5	3-6	0,23	238,00	1,78	93,30	86,30
SPD5	3-6	0,27	216,00	2,21	88,51	79,20
SPD5	3-6	0,24	236,00	2,02	86,72	76,83
SPD5	3-6	0,18	202,00	1,96	90,81	77,77

SPD7	3-6	0,34	212,00	1,79	87,53	69,03
SPD7	3-6	0,35	213,00	1,70	83,25	64,33
SPD7	3-6	0,25	160,00	1,67	78,35	58,37
SPD7	3-6	0,35	116,00	1,49	91,71	72,43
SPD7	3-6	0,34	167,00	1,59	93,84	77,53
SPD7	3-6	0,35	159,00	1,79	86,57	72,37
SPD7	3-6	0,33	219,00	1,92	95,78	84,03
SPD7	3-6	0,27	189,00	1,82	92,96	82,63
SPD7	3-6	0,24	188,00	1,88	92,81	80,47
SPD7	3-6	0,30	102,00	1,74	94,60	87,97
SPD7	3-6	0,34	241,00	1,69	82,32	69,83
SPD7	3-6	0,27	221,00	1,84	85,12	74,33
CN	3-6	0,31	135,00	1,56	88,82	68,37
CN	3-6	0,34	155,00	1,57	95,22	73,97
CN	3-6	0,29	170,00	1,55	92,89	72,93
CN	3-6	0,30	177,00	1,69	92,42	79,17
CN	3-6	0,29	152,00	1,69	94,03	79,93
CN	3-6	0,31	161,00	1,75	91,98	80,67
CN	3-6	0,32	180,00	1,67	94,92	85,00
CN	3-6	0,36	186,00	1,66	76,45	67,57
CN	3-6	0,24	183,00	1,70	93,18	83,03
CN	3-6	0,29	225,00	1,68	91,89	77,33
CN	3-6	0,39	213,00	1,70	86,54	77,87
CN	3-6	0,25	213,00	1,73	90,58	83,83
SPD1	6-10	0,29	201,00	2,04	94,96	82,67
SPD1	6-10	0,28	155,00	1,87	88,07	72,70
SPD1	6-10	0,30	167,00	1,63	86,01	72,13
SPD1	6-10	0,32	314,00	1,90	90,00	77,27
SPD1	6-10	0,27	285,00	2,05	93,81	83,83
SPD1	6-10	0,38	276,00	2,05	93,05	82,20
SPD1	6-10	0,28	234,00	1,63	84,41	71,87
SPD1	6-10	0,27	291,00	1,84	91,86	83,40
SPD1	6-10	0,39	304,00	1,98	82,63	72,30
SPD1	6-10	0,27	195,00	1,77	87,15	75,83
SPD1	6-10	0,36	230,00	1,71	87,56	79,70
SPD1	6-10	0,32	319,00	1,69	81,05	68,20
SPD3	6-10	0,26	305,00	1,91	64,01	69,57
SPD3	6-10	0,26	289,00	2,12	90,21	76,90
SPD3	6-10	0,22	238,00	1,80	86,81	76,33
SPD3	6-10	0,24	311,00	1,94	87,88	100,00
SPD3	6-10	0,23	259,00	2,01	94,03	83,50
SPD3	6-10	0,29	314,00	2,05	95,32	86,57
SPD3	6-10	0,26	202,00	1,85	92,36	81,90
SPD3	6-10	0,33	266,00	1,85	90,43	79,37
SPD3	6-10	0,29	243,00	1,91	91,61	81,67
SPD3	6-10	0,26	184,00	1,85	91,75	82,43
SPD3	6-10	0,24	196,00	1,79	83,22	74,80
SPD3	6-10	0,27	253,00	1,88	95,59	82,90
SPD5	6-10	0,25	236,00	1,77	91,35	82,60
SPD5	6-10	0,22	232,00	1,77	90,99	80,17

SPD5	6-10	0,27	194,00	2,02	94,61	86,37
SPD5	6-10	0,31	225,00	2,10	86,78	79,53
SPD5	6-10	0,24	252,00	1,88	94,24	84,63
SPD5	6-10	0,22	236,00	1,96	92,94	84,10
SPD5	6-10	0,33	203,00	1,81	88,23	75,77
SPD5	6-10	0,23	171,00	1,87	90,49	84,63
SPD5	6-10	0,28	249,00	1,74	92,86	82,20
SPD5	6-10	0,19	235,00	2,02	91,58	83,33
SPD5	6-10	0,24	217,00	1,97	88,84	79,53
SPD5	6-10	0,33	248,00	2,05	94,82	86,73
SPD7	6-10	0,38	248,00	1,77	91,75	80,43
SPD7	6-10	0,30	228,00	1,89	88,52	75,27
SPD7	6-10	0,26	198,00	1,73	96,69	83,17
SPD7	6-10	0,23	167,00	1,64	85,23	75,10
SPD7	6-10	0,27	241,00	1,75	94,87	84,37
SPD7	6-10	0,30	222,00	1,71	95,26	85,17
SPD7	6-10	0,28	220,00	1,84	92,22	82,43
SPD7	6-10	0,28	149,00	1,80	91,14	78,43
SPD7	6-10	0,24	325,00	1,86	93,82	86,13
SPD7	6-10	0,34	223,00	1,75	88,21	79,83
SPD7	6-10	0,25	293,00	1,90	83,88	71,50
SPD7	6-10	0,27	196,00	1,80	93,11	84,50
CN	6-10	0,28	97,00	1,56	93,06	73,67
CN	6-10	0,35	134,00	1,52	107,47	63,67
CN	6-10	0,31	142,00	1,60	89,28	73,77
CN	6-10	0,23	122,00	1,69	93,35	78,80
CN	6-10	0,42	163,00	2,06	91,04	75,43
CN	6-10	0,29	166,00	1,84	94,49	83,53
CN	6-10	0,35	137,00	1,63	95,02	80,93
CN	6-10	0,25	197,00	1,75	90,83	80,57
CN	6-10	0,25	136,00	1,77	89,70	77,73
CN	6-10	0,24	212,00	1,69	95,57	81,47
CN	6-10	0,34	158,00	1,81	94,84	84,63
CN	6-10	0,29	167,00	1,75	86,50	74,53
SPD1	10-20	0,30	229,00	1,71	79,77	68,87
SPD1	10-20	0,30	195,00	1,91	84,06	68,87
SPD1	10-20	0,29	252,00	1,82	95,40	83,23
SPD1	10-20	0,31	238,00	1,83	91,10	75,57
SPD1	10-20	0,26	287,00	1,84	87,56	76,47
SPD1	10-20	0,24	320,00	1,81	92,20	79,83
SPD1	10-20	0,39	310,00	1,88	92,70	81,37
SPD1	10-20	0,28	348,00	1,91	94,13	80,50
SPD1	10-20	0,33	254,00	1,85	85,67	75,53
SPD1	10-20	0,28	177,00	1,71	92,77	80,33
SPD1	10-20	0,29	288,00	1,80	96,31	86,07
SPD1	10-20	0,36	244,00	1,66	89,38	72,20
SPD3	10-20	0,31	167,00	2,19	90,34	79,60
SPD3	10-20	0,22	213,00	1,87	93,96	85,60
SPD3	10-20	0,26	216,00	1,98	91,61	82,80
SPD3	10-20	0,27	299,00	1,90	88,03	77,67

SPD3	10-20	0,22	294,00	1,81	86,29	77,67
SPD3	10-20	0,25	276,00	1,87	95,02	84,97
SPD3	10-20	0,29	271,00	1,93	91,17	80,47
SPD3	10-20	0,37	366,00	2,12	93,19	82,30
SPD3	10-20	0,28	197,00	1,74	92,82	83,53
SPD3	10-20	0,33	249,00	2,10	86,58	87,80
SPD3	10-20	0,26	264,00	1,94	92,04	76,73
SPD3	10-20	0,31	218,00	1,86	89,94	80,37
SPD5	10-20	0,24	219,00	1,88	96,30	86,93
SPD5	10-20	0,31	197,00	2,05	89,87	77,00
SPD5	10-20	0,22	201,00	1,87	90,21	82,17
SPD5	10-20	0,31	245,00	1,97	84,19	76,07
SPD5	10-20	0,31	249,00	2,00	89,76	81,60
SPD5	10-20	0,30	160,00	1,81	96,28	88,77
SPD5	10-20	0,22	243,00	1,84	90,52	83,73
SPD5	10-20	0,21	201,00	1,64	92,92	84,17
SPD5	10-20	0,21	229,00	1,69	87,09	76,83
SPD5	10-20	0,20	265,00	1,91	94,87	87,80
SPD5	10-20	0,28	225,00	2,17	85,01	76,73
SPD5	10-20	0,23	221,00	1,99	88,44	80,37
SPD7	10-20	0,31	159,00	1,79	82,16	68,83
SPD7	10-20	0,24	180,00	1,63	84,70	76,53
SPD7	10-20	0,30	187,00	1,53	89,69	79,30
SPD7	10-20	0,24	213,00	1,66	89,74	74,53
SPD7	10-20	0,28	223,00	1,73	93,12	79,53
SPD7	10-20	0,31	224,00	1,79	94,48	84,93
SPD7	10-20	0,25	229,00	1,93	90,98	78,10
SPD7	10-20	0,40	232,00	1,92	93,65	85,37
SPD7	10-20	0,25	201,00	1,80	93,96	84,13
SPD7	10-20	0,25	221,00	1,87	94,71	87,80
SPD7	10-20	0,24	244,00	1,84	94,90	76,73
SPD7	10-20	0,31	176,00	1,87	90,00	80,37
CN	10-20	0,28	195,00	1,67	93,35	72,93
CN	10-20	0,32	162,00	1,72	86,74	76,77
CN	10-20	0,32	162,00	1,72	80,29	77,40
CN	10-20	0,35	193,00	1,66	94,02	78,10
CN	10-20	0,32	125,00	1,98	86,07	80,93
CN	10-20	0,31	140,00	1,85	94,25	83,87
CN	10-20	0,29	168,00	1,63	94,48	83,87
CN	10-20	0,26	164,00	1,67	86,61	72,47
CN	10-20	0,36	144,00	1,83	90,12	77,53
CN	10-20	0,28	209,00	1,71	93,46	81,60
CN	10-20	0,26	298,00	1,83	90,26	81,80
CN	10-20	0,28	177,00	1,71	92,06	79,70

\*Tratamento: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

**Apêndice 4**, Densidade, resistência à penetração, de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).

Trat*	Camada (cm)	Ds (g cm <sup>3</sup> )	Rp (MPa)
SPD1	0-3	1,50	0,97
SPD1	0-3	1,41	1,22
SPD1	0-3	1,57	0,57
SPD1	0-3	1,48	1,23
SPD1	0-3	1,71	0,92
SPD1	0-3	1,69	1,35
SPD1	0-3	1,72	2,00
SPD1	0-3	1,55	0,65
SPD1	0-3	1,68	0,89
SPD1	0-3	1,63	1,09
SPD1	0-3	1,73	1,24
SPD1	0-3	1,78	1,36
SPD3	0-3	1,69	1,72
SPD3	0-3	1,62	0,00
SPD3	0-3	1,57	0,80
SPD3	0-3	1,67	1,25
SPD3	0-3	1,64	0,55
SPD3	0-3	1,61	0,82
SPD3	0-3	1,69	0,93
SPD3	0-3	1,66	0,66
SPD3	0-3	1,51	1,12
SPD3	0-3	1,52	0,73
SPD3	0-3	1,60	0,99
SPD3	0-3	1,57	1,26
SPD5	0-3	1,57	0,68
SPD5	0-3	1,66	0,62
SPD5	0-3	1,46	0,77
SPD5	0-3	1,47	1,01
SPD5	0-3	1,43	0,83
SPD5	0-3	1,45	0,64
SPD5	0-3	1,63	0,79
SPD5	0-3	1,53	0,77
SPD5	0-3	1,67	1,16
SPD5	0-3	1,59	0,82
SPD5	0-3	1,55	1,11
SPD5	0-3	1,74	0,85
SPD7	0-3	1,45	0,78
SPD7	0-3	1,29	0,49
SPD7	0-3	1,33	0,63
SPD7	0-3	1,34	0,69
SPD7	0-3	1,34	0,88
SPD7	0-3	1,17	0,76
SPD7	0-3	1,57	0,76
SPD7	0-3	1,52	0,70
SPD7	0-3	1,54	1,10
SPD7	0-3	1,41	0,88

SPD7	0-3	1,46	0,88
SPD7	0-3	1,59	1,00
CN	0-3	1,24	0,53
CN	0-3	1,25	0,53
CN	0-3	1,26	0,56
CN	0-3	1,39	0,82
CN	0-3	1,45	0,79
CN	0-3	1,37	0,69
CN	0-3	1,33	0,92
CN	0-3	1,31	0,71
CN	0-3	1,45	0,73
CN	0-3	1,33	0,76
CN	0-3	1,45	0,70
CN	0-3	1,38	1,01
SPD1	3-6	1,72	1,45
SPD1	3-6	1,82	1,20
SPD1	3-6	1,62	1,07
SPD1	3-6	1,81	1,85
SPD1	3-6	1,70	1,43
SPD1	3-6	1,73	0,97
SPD1	3-6	1,69	0,92
SPD1	3-6	1,68	1,81
SPD1	3-6	1,72	1,66
SPD1	3-6	1,80	1,32
SPD1	3-6	1,77	2,04
SPD1	3-6	1,78	1,55
SPD3	3-6	1,63	1,00
SPD3	3-6	1,67	1,02
SPD3	3-6	1,77	1,01
SPD3	3-6	1,62	1,05
SPD3	3-6	1,60	1,39
SPD3	3-6	1,61	0,80
SPD3	3-6	1,60	0,98
SPD3	3-6	1,67	1,17
SPD3	3-6	1,65	1,32
SPD3	3-6	1,86	1,40
SPD3	3-6	1,81	1,37
SPD3	3-6	1,89	0,88
SPD5	3-6	1,58	0,68
SPD5	3-6	1,65	1,11
SPD5	3-6	1,43	0,98
SPD5	3-6	1,68	1,21
SPD5	3-6	1,69	0,57
SPD5	3-6	1,66	1,03
SPD5	3-6	1,67	0,84
SPD5	3-6	1,73	1,26
SPD5	3-6	1,59	1,24
SPD5	3-6	1,56	1,18
SPD5	3-6	1,67	0,98
SPD5	3-6	1,71	1,22

SPD7	3-6	1,59	0,93
SPD7	3-6	1,47	0,80
SPD7	3-6	1,54	1,04
SPD7	3-6	1,37	0,85
SPD7	3-6	1,49	0,78
SPD7	3-6	1,55	1,19
SPD7	3-6	1,64	1,18
SPD7	3-6	1,73	0,83
SPD7	3-6	1,79	0,87
SPD7	3-6	1,56	1,14
SPD7	3-6	1,57	0,93
SPD7	3-6	1,74	1,13
CN	3-6	1,45	0,34
CN	3-6	1,36	1,23
CN	3-6	1,45	0,92
CN	3-6	1,56	0,81
CN	3-6	1,59	0,83
CN	3-6	1,61	0,87
CN	3-6	1,56	1,16
CN	3-6	1,51	0,74
CN	3-6	1,61	0,70
CN	3-6	1,58	0,85
CN	3-6	1,46	0,87
CN	3-6	1,63	0,85
SPD1	6-10	1,79	1,41
SPD1	6-10	1,85	2,28
SPD1	6-10	1,70	1,35
SPD1	6-10	1,85	1,42
SPD1	6-10	1,82	1,62
SPD1	6-10	1,76	1,99
SPD1	6-10	1,71	1,66
SPD1	6-10	1,67	2,48
SPD1	6-10	1,75	1,27
SPD1	6-10	1,69	2,28
SPD1	6-10	1,67	1,19
SPD1	6-10	1,74	2,38
SPD3	6-10	1,62	1,41
SPD3	6-10	1,66	1,20
SPD3	6-10	1,74	1,12
SPD3	6-10	1,78	1,42
SPD3	6-10	1,70	1,47
SPD3	6-10	1,83	0,93
SPD3	6-10	1,60	1,38
SPD3	6-10	1,69	1,33
SPD3	6-10	1,62	1,59
SPD3	6-10	1,83	1,15
SPD3	6-10	1,83	1,43
SPD3	6-10	1,79	1,76
SPD5	6-10	1,59	1,14
SPD5	6-10	1,64	1,41

SPD5	6-10	1,61	1,24
SPD5	6-10	1,57	1,16
SPD5	6-10	1,63	1,07
SPD5	6-10	1,59	1,57
SPD5	6-10	1,70	1,11
SPD5	6-10	1,64	1,69
SPD5	6-10	1,75	1,17
SPD5	6-10	1,59	1,33
SPD5	6-10	1,78	0,91
SPD5	6-10	1,69	1,79
<hr/>			
SPD7	6-10	1,62	1,14
SPD7	6-10	1,59	0,78
SPD7	6-10	1,56	1,32
SPD7	6-10	1,66	1,74
SPD7	6-10	1,55	0,79
SPD7	6-10	1,67	0,73
SPD7	6-10	1,73	1,30
SPD7	6-10	1,77	1,28
SPD7	6-10	1,66	1,08
SPD7	6-10	1,64	1,28
SPD7	6-10	1,62	1,36
SPD7	6-10	1,45	1,02
<hr/>			
CN	6-10	1,42	0,76
CN	6-10	1,39	0,89
CN	6-10	1,46	0,96
CN	6-10	1,60	0,90
CN	6-10	1,57	0,95
CN	6-10	1,71	0,76
CN	6-10	1,55	0,90
CN	6-10	1,59	0,74
CN	6-10	1,59	1,05
CN	6-10	1,60	0,78
CN	6-10	1,57	1,15
CN	6-10	1,58	0,81
<hr/>			
SPD1	10-20	1,79	2,14
SPD1	10-20	1,78	2,11
SPD1	10-20	1,77	1,85
SPD1	10-20	1,79	2,01
SPD1	10-20	1,72	2,00
SPD1	10-20	1,76	2,23
SPD1	10-20	1,77	2,71
SPD1	10-20	1,76	1,81
SPD1	10-20	1,66	2,41
SPD1	10-20	1,82	2,15
SPD1	10-20	1,79	2,34
SPD1	10-20	1,67	2,72
<hr/>			
SPD3	10-20	1,71	1,48
SPD3	10-20	1,75	1,04
SPD3	10-20	1,76	1,81
SPD3	10-20	1,74	2,16

SPD3	10-20	1,73	1,12
SPD3	10-20	1,64	1,52
SPD3	10-20	1,69	1,62
SPD3	10-20	1,46	2,01
SPD3	10-20	1,60	1,78
SPD3	10-20	1,81	2,12
SPD3	10-20	1,84	1,93
SPD3	10-20	1,76	2,07
SPD5	10-20	1,61	1,48
SPD5	10-20	1,70	1,59
SPD5	10-20	1,70	0,98
SPD5	10-20	1,73	1,75
SPD5	10-20	1,77	1,62
SPD5	10-20	1,66	1,43
SPD5	10-20	1,64	1,52
SPD5	10-20	1,67	1,35
SPD5	10-20	1,50	1,72
SPD5	10-20	1,59	1,71
SPD5	10-20	1,73	2,19
SPD5	10-20	1,48	1,43
SPD7	10-20	1,48	1,29
SPD7	10-20	1,44	1,41
SPD7	10-20	1,45	1,27
SPD7	10-20	1,57	1,20
SPD7	10-20	1,42	1,27
SPD7	10-20	1,52	2,00
SPD7	10-20	1,70	1,82
SPD7	10-20	1,61	1,67
SPD7	10-20	1,68	1,19
SPD7	10-20	1,77	1,18
SPD7	10-20	1,75	2,25
SPD7	10-20	1,68	1,62
CN	10-20	1,50	0,85
CN	10-20	1,56	0,92
CN	10-20	1,54	0,99
CN	10-20	1,53	1,15
CN	10-20	1,71	0,92
CN	10-20	1,68	0,92
CN	10-20	1,56	0,96
CN	10-20	1,58	1,12
CN	10-20	1,58	0,94
CN	10-20	1,60	0,99
CN	10-20	1,65	1,12
CN	10-20	1,57	1,41

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

**Apêndice 5.** Fração leve e livre, fração leve oclusa, fração pesada e carbono orgânico total de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).

Trat*	Camada (cm)	FLL (g kg <sup>-1</sup> )	FLO (g kg <sup>-1</sup> )	FP (g kg <sup>-1</sup> )	COT (g kg <sup>-1</sup> )
SPD1	0-3	0,87	0,44	3,55	4,87
SPD1	0-3	0,62	0,47	3,66	4,75
SPD3	0-3	1,09	0,47	3,39	4,95
SPD3	0-3	0,92	0,43	3,58	4,93
SPD5	0-3	4,31	0,50	3,93	8,75
SPD5	0-3	2,92	0,47	5,09	8,47
SPD7	0-3	6,52	0,66	5,83	13,01
SPD7	0-3	6,54	0,55	7,60	14,68
CN	0-3	4,41	0,78	12,36	17,55
CN	0-3	3,98	0,73	11,62	16,34
SPD1	3-6	0,50	0,38	3,56	4,44
SPD1	3-6	0,56	0,42	3,40	4,38
SPD3	3-6	0,99	0,40	3,25	4,64
SPD3	3-6	0,63	0,41	3,59	4,63
SPD5	3-6	2,39	0,45	4,70	7,54
SPD5	3-6	3,75	0,38	3,24	7,37
SPD7	3-6	3,79	0,49	4,14	8,42
SPD7	3-6	4,07	0,42	3,87	8,36
CN	3-6	0,82	0,99	14,42	16,23
CN	3-6	1,16	0,83	14,07	16,06
SPD1	6-10	0,81	0,35	3,16	4,33
SPD1	6-10	0,55	0,29	3,37	4,22
SPD3	6-10	0,72	0,34	3,49	4,55
SPD3	6-10	0,66	0,30	3,08	4,04
SPD5	6-10	3,58	0,46	3,05	7,10
SPD5	6-10	1,66	0,32	5,06	7,04
SPD7	6-10	3,50	0,42	6,78	10,70
SPD7	6-10	3,12	0,42	7,10	10,65
CN	6-10	0,45	0,75	12,60	13,81
CN	6-10	0,44	0,74	6,63	7,81
SPD1	10-20	0,52	0,26	3,38	4,16
SPD1	10-20	0,46	0,26	3,10	3,83
SPD3	10-20	0,51	0,29	3,14	3,94
SPD3	10-20	0,42	0,27	3,24	3,93
SPD5	10-20	0,63	0,25	6,06	6,93
SPD5	10-20	0,59	0,38	5,90	6,88
SPD7	10-20	0,65	0,44	6,06	7,15
SPD7	10-20	0,56	0,37	6,17	7,10
CN	10-20	0,61	0,35	6,82	7,78
CN	10-20	0,34	0,61	5,99	6,94

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.

**Apêndice 5.** Índice (adimensionais) de estoque de carbono, labilidade do carbono, índice de labilidade do carbono e índice de manejo de carbono de um Planossolo Háplico *Eutrófico* sob diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto e campo não cultivado (CN).

Trat*	Camada (cm)	IEC	LC	ILC	IMC
SPD1	0-3	0,33	0,37	0,88	29,38
SPD1	0-3	0,35	0,30	0,73	25,60
SPD3	0-3	0,34	0,46	1,10	37,07
SPD3	0-3	0,36	0,38	0,93	33,50
SPD5	0-3	0,58	1,23	2,92	168,22
SPD5	0-3	0,60	0,67	1,64	98,20
SPD7	0-3	0,78	1,23	2,94	228,94
SPD7	0-3	0,95	0,93	2,30	217,26
SPD1	3-6	0,31	0,25	1,96	61,02
SPD1	3-6	0,31	0,29	2,04	63,16
SPD3	3-6	0,32	0,43	3,42	108,64
SPD3	3-6	0,32	0,29	2,05	65,65
SPD5	3-6	0,50	0,60	4,83	240,28
SPD5	3-6	0,49	1,27	9,01	443,07
SPD7	3-6	0,54	1,03	8,26	445,31
SPD7	3-6	0,54	1,16	8,21	444,07
SPD1	6-10	0,35	0,37	3,86	136,59
SPD1	6-10	0,61	0,25	1,42	86,35
SPD3	6-10	0,37	0,30	3,20	116,85
SPD3	6-10	0,57	0,31	1,76	101,31
SPD5	6-10	0,55	1,33	13,92	761,32
SPD5	6-10	0,96	0,39	2,21	212,22
SPD7	6-10	0,80	0,58	6,06	482,15
SPD7	6-10	1,40	0,50	2,82	394,34
SPD1	10-20	0,59	0,23	1,63	96,43
SPD1	10-20	0,61	0,23	1,48	90,15
SPD3	10-20	0,55	0,25	1,80	98,33
SPD3	10-20	0,61	0,21	1,34	81,53
SPD5	10-20	0,92	0,14	1,02	94,47
SPD5	10-20	1,03	0,16	1,04	106,71
SPD7	10-20	0,92	0,18	1,28	117,72
SPD7	10-20	1,02	0,15	0,94	96,46

\*Tratamentos: SPD1: 1 ano de implantação do SPD; SPD3: 3 anos de implantação do SPD; SPD5: 5 anos de implantação do SPD e SPD7: 7 anos de implantação do SPD.