

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE - RS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:  
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO  
SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Ezequiel Koppe**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil**

**2014**

# **ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO**

**Ezequiel Koppe**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

**Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva**

**Frederico Westphalen, RS, Brasil,**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Koppe, Ezequiel

Atributos Físico-Hídricos de um Latossolo Vermelho sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo – 2014.

76p.; 30 cm

Orientador: Vanderlei Rodrigues da Silva

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul *campus* Frederico Westphalen, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, RS, 2014.

1. Integração Lavoura Pecuária 2. Sistema Plantio Direto 3. Escarificação 4. Compactação. 5. Soja I Silva, Vanderlei Rodrigues II Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Ezequiel Koppe. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro s/n – BR 386, KM 40. CEP 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Fone (54) 96487158; Endereço eletrônico: koppe03@hotmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Educação Superior Norte - RS  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:  
Agricultura e Ambiente**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO**

elaborado por

**Ezequiel Koppe**

como requisito parcial para obtenção do grau de

**Mestre em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



**Vanderlei Rodrigues da Silva, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



**Dalvan J. Reinert, PhD.**



**Edson Campanhola Bortoluzzi, Dr.**

Frederico Westphalen, 27 de fevereiro 2014.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade de cursar o Mestrado, propiciando-me o acesso à Pós-Graduação pública, gratuita e de qualidade.

Ao professor Eng. Agr. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva, pela orientação, incentivos à pesquisa, confiança, inúmeras oportunidades pessoais e profissionais criadas, e o que considero mais importante, pelos belos laços de amizade que estabelecemos no decorrer do Mestrado.

Aos demais professores e coordenação do PPGAAA, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional, e pelo empreendedorismo, audácia e trabalho que tornaram o projeto do PPGAAA em realidade.

A minha namorada, Rosemar de Queiroz, que foi mais que uma namorada, e sim uma colega pesquisadora, que me auxiliou, motivou e apoiou durante todo o tempo.

Aos colegas da Turma de Mestrado do PPGAAA, pela amizade, companheirismo, contribuições, convivência e momentos de descontração vivenciados. Em especial, ao colega de Mestrado e grupo de pesquisa Altamir Mateus Bertollo pela amizade, idéias e inúmeras ajudas a mim concedidas.

Aos colegas e amigos do Grupo de Pesquisa do Laboratório de Física do Solo (LFS), André Somavilla, Altamir Mateus Bertollo, Carlos B. Pires, Cicero Ortigara, Felipe Bonini da Luz, Jackson Arboit, Jaison Piaia, Jonas Piovesan, Lucas Aquino Alves, Lucas Roberto Perin, Luciano C. Cancian, Patrícia P. Pessoto, Rosemar de Queiroz, Tiago Strojasky, Valdecir André Kirch, Valéria Testa, Vanderlei R. da Silva, pela amizade, contribuições na execução da pesquisa e excelente capacidade de trabalho em grupo. Ao Sr. Aldo Della-senta por ter concedido as áreas para execução dos experimentos.

Em especial, aos meus pais, Varno Guilherme Koppe e Edi Maria Koppe pelo incentivo à educação, compreensão, ajudas, confiança em meu potencial, também pelo exemplo de vida que sempre nortearão meu caráter e minhas ações. Aos meus irmãos, Angela e Rafael e respectivos cunhado e cunhada, Robson e Aline pelos incentivos e confiança em minhas decisões, também ao querido e amado sobrinho Enzo.

Enfim, a todos aqueles não citados, contribuíram diretamente e indiretamente para que eu vencesse mais esta importante etapa de minha vida.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADO.**

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente  
Universidade Federal de Santa Maria

### **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICO-MECÂNICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES MANEJOS**

AUTOR: Ezequiel Koppe  
ORIENTADOR: Vanderlei Rodrigues da Silva  
Frederico Westphalen, RS, Janeiro de 2014.

Os diferentes sistemas de uso e manejo, quando conduzidos de forma inadequada, tendem a degradar a estrutura do solo. A redução da qualidade física do solo traz consequências diretas no crescimento e desenvolvimento de plantas, bem como na dinâmica e fluxo de água e nutrientes. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes sistemas de uso e manejo no fluxo e disponibilidade de água no solo, quantificar os efeitos dos manejos sobre as propriedades físico - mecânicas do solo e qual a resposta das plantas. Os sistemas analisados foram: i) sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP); ii) sistema plantio direto contínuo (SPD), por um período superior a 15 anos; iii) sistema plantio direto escarificado (SPD+E); iv), sistema plantio direto escarificado com uma gradagem (SPD+E+G) e; v) Mata nativa (MATA). Foram avaliadas seis camadas de solo (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m). Quanto aos atributos hídricos do solo a MATA apresentou as maiores taxas de infiltração ( $5200 \text{ mm h}^{-1}$ ), maior quantidade de água disponível ( $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), também na MATA foi onde obteve-se o maior valor do índice S, que indica que esse solo apresenta uma melhor qualidade física. Já o sistema ILP foi o sistema que apresentou as menores taxas de infiltração ( $140 \text{ mm h}^{-1}$ ), os menores valores de água disponível, ( $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e o sistema SPD+E apresentou menor valor de índice S. Quanto aos atributos físico - mecânicos do solo a MATA apresenta maior volume de poros, maior índice de compressão, esse sistema ainda tem a menor densidade, menor densidade máxima, densidade relativa e menor pressão de pré-consolidação. A escarificação do solo promove redução do estado de compactação, sendo que seus efeitos têm durabilidade maior do que 320 dias. Os sistemas de uso agrícolas onde não há mobilização do solo evidenciam a formação de uma camada compactada em sub-superfície (0,05-0,20). O crescimento e desenvolvimento de plantas foi maior no sistema SPD+E e SPD+E+G, sendo que o maior número de nós por haste e maior número de nós produtivos foram encontrados nesses

sistemas. A maior produtividade foi encontrada no sistema SPD (3.548 kg ha<sup>-1</sup>), e a menor produtividade foi no sistema ILP (2.821 kg ha<sup>-1</sup>). A MATA apresentam as melhores condições hídricas, principalmente por não sofrer ação antrópica e apresentar baixo estado de compactação. A intervenção mecânica favorece a infiltração de água e melhora o índice S, também promovendo aumento dos valores de porosidade e índice de compressão. Os sistemas SPD e ILP, devido ao período de 15 anos sem revolvimento, somado com elevado tráfego de máquinas e ao pisoteio animal apresentam maior estado de compactação, conseqüentemente, menor taxa de infiltração, menor disponibilidade de água e valores de índice S reduzidos, também apresentando elevados valores de pressão de pré-consolidação, densidade solo e densidade relativa. O sistema plantio direto é eficaz para manter elevadas produtividades de soja. A intervenção mecânica propicia um ambiente favorável para o crescimento e desenvolvimento de plantas.

**Palavras-chave:** Integração Lavoura Pecuária, Sistema Plantio Direto, Escarificação, Infiltração de Água no Solo, Pressão de Pré-consolidação, compactação, Soja.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment  
Federal University of Santa Maria

### **ASSESSMENT OF WATER QUALITY PHYSICAL AND MECHANICAL A OXISOIL UNDER DIFFERENT MANagements**

AUTHOR: Ezequiel Koppe  
ADVISOR: Vanderlei Rodrigues da Silva  
Frederico Westphalen, RS, January 2014

Different systems use and management tend to degrade the soil structure. The reduction of soil physical quality has direct consequences for the growth and development of plants, as well as the dynamic flow of water and nutrients. The objective of this study was evaluate the effects of different systems of use and management in the flow and availability of soil water, to quantify the effects of management practices on the physical-mechanical properties of the soil and what is the response of plants due to handling. The systems that were analyzed are: i) integrated crop livestock (ICL), ii) continuous no-tillage (NT), for a period exceeding 15 years, iii) chisel plow tillage (T+CP) iv) tillage scarified with a harrowing (T+S+H). v) native Forest (FOREST) six layers of soil (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 were evaluated, 0,15-0,20, 0,20-0,30 and 0,30-0,40 m). The FOREST showed the highest infiltration rates ( $5200 \text{ mm h}^{-1}$ ), and the greater amount of water available ( $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) and was the FOREST that had the highest value of the index S. The ICL system was the system that had the lowest infiltration rates ( $140 \text{ mm h}^{-1}$ ), the lowest values of available water ( $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) and the system T+CP showed lower index S. The physical-mechanical attributes of FOREST soil, presents the largest pore volume, the higher pressure pre-consolidation, the lowest density, the lowest maximum density, the relative density and a the lower rate of compression. The mechanical intervention promotes the reducing of compression state, and these effects are longer than 320 days. The agricultural systems where no tillage demonstrate the formation of a compacted subsurface layer (0,05-0,20 m). The growth and development of plants was higher in T+CP and T+S+H, with the largest number of nodes per stem and greater in number of productive nodes was found in these systems. The highest yield was found in the NT system (3.548 kg) and the lowest yield was found in the ICL system (2.821 kg). The FOREST presents the best water conditions, especially because there are no human actions and presents a low compression state. The mechanical intervention favors the water infiltration and low S



index, also promoting increased values of porosity and compression index. The NT and ICL systems, due to the period of 15 years without tillage, combined with high traffic of machinery and animal trampling exhibit more compacted, consequently lower rate of infiltration and water availability and reduced values of S index, also have high values of pre-consolidation pressure, of soil density, of relative density and compression rate. The tillage system with straw in high quantity is effective in maintaining higher yield of soybean. The mechanical intervention provides a favorable environment for the growth and development of plants.

**Keywords:** Integration crop Livestock, no-tillage system, scarification, Soil Water Infiltration, Pre-consolidation pressure, compaction, Soy.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

- Figura 1. Correlação de Pearson entre a (A) Densidade do Solo e a Porosidade Total; (B) Densidade do solo e Macroporosidade. ....27
- Figura 2. Correlação entre: (A) Densidade Relativa e a Porosidade Total; (B) Densidade Relativa e a Macroporosidade; e (C) Densidade Relativa e a Densidade do Solo...29
- Figura 3. Correlação entre a Pressão de Pré-Consolidação e Densidade do Solo. ....30
- Figura 4. Correlação entre o (A) Índice de Compressão e a Macroporosidade; (B) Índice de Compressão e Porosidade Total; e (C) Índice de Compressão e a Densidade do Solo. ....33

### ARTIGO II

- Figura 1. Curvas ajustadas da taxa de infiltração e infiltração acumulada média da água no solo sob sistema de plantio direto (SPD), sistema plantio direto escarificado (SPD+E), sistema plantio direto escarificado com gradagem (SPD+E+G), sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP) e mata nativa (MATA)..... 45
- Figura 2. Curvas de retenção de água em um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, em seis profundidades. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013..... 48
- Figura 3. Valores do Índice S em sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP), sistema plantio direto (SPD), Sistema Plantio Direto escarificado (SPD+E), Sistema Plantio Direto escarificado com gradagem (SPD+E+G) e Mata nativa (MATA) em um Latossolo Vermelho. Linha horizontal indica valor ideal do índice S, proposto por Dexter. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013..... 51

### ARTIGO III

- Figura 1. Precipitação e temperatura média no período de outubro 2012 a abril 2013. (INMET, 2013). .... 64

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

Tabela 1- Valores médios da porosidade total e macroporosidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes a diferentes usos em duas coletas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013.....	23
Tabela 2- Valores médios da microporosidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de usos e manejo do solo em duas épocas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013.....	26
Tabela 3- Valores médios de Densidade do Solo, Densidade Máxima e Densidade Relativa de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejos em duas épocas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013. ....	28
Tabela 4- Valores Pressão de Pré-consolidação e Índice de Compressão de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejos em duas coletas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013. ....	31

### Artigo II

Tabela1. Valores de Umidade na capacidade campo, ponto de murcha permanente e água disponível e de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto - RS, 2013. ....	48
--	----

### Artigo III

Tabela 1. Valores médios do teor de argila, areia e silte do solo. Santo Antônio do Planalto, 2013.....	63
Tabela 2. Média dos valores de número de nós na haste principal (Nós/Haste), nós produtivos na haste principal (Nós Prod.), legumes de um grão por planta (Leg. um Grão), legumes de dois grãos por planta (Leg. dois Grãos) e legumes de três grãos por planta (Leg. três Grãos). Santo Antônio do Planalto - RS, 2013.....	66

Tabela 3. Valores médios de produtividade e peso de mil grãos de soja cultivado em um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto - RS, 2013. ....	66
Tabela 4. Valores médios de Fósforo, Potássio, Matéria Orgânica, Cálcio e Magnésio de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013. ....	68
Tabela 5. Valores médios de pH, índice SMP e Alumínio de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013.....	69

## LISTA DE EQUAÇÕES

### ARTIGO I

Microporosidade = $\frac{\text{peso solo -6 kPa} - \text{peso solo seco}}{\text{volume do cilindro}}$ .....	21
Porosidade total = $1 - \left( \frac{\text{densidade do solo}}{\text{densidade de partícula}} \right)$ .....	21
Macroporosidade = porosidade total – microporosidade .....	22
Densidade relativa = $\frac{\text{densidade do solo}}{\text{densidade do solo máxima}}$ .....	22

### ARTIGO II

$I = k \cdot t^n$ .....	43
$TI = k \cdot n \cdot t^{n-1}$ .....	43
$\theta = \theta_{\text{res}} + \frac{(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}})}{[1 + (\alpha \psi)^n]^{-m}}$ .....	44
$S = -n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) * \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{(m-1)}$ .....	44

## APÊNDICES

Apêndice A. Parâmetros do ajuste dos pontos experimentais da curva de retenção de água no solo à equação de Van Genhuchten e água disponível de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013.....	58
Apêndice B. Parâmetros do ajuste dos pontos experimentais da curva de retenção de água no solo à equação de Van Genhuchten e água disponível de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013.....	59

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>16</b>
<b>2. ARTIGO I.....</b>	<b>18</b>
<b>Atributos físico mecânicos de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo do solo.....</b>	<b>18</b>
2.1 Resumo .....	18
2.2 Abstract.....	18
2.3 Introdução.....	19
2.4 Material e Métodos.....	20
2.5 Resultados e Discussão.....	22
2.6 Conclusão .....	34
2.7 Referências Bibliográficas.....	34
<b>3. ARTIGO II.....</b>	<b>39</b>
<b>Alterações dos atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo .....</b>	<b>39</b>
3.1 Resumo .....	39
3.2 Abstract.....	39
3.3 Introdução.....	40
3.4 Material e Métodos.....	42
3.5 Resultados e Discussão.....	44
3.6 Conclusão .....	53
3.7 Referências Bibliográficas.....	53
<b>4. ARTIGO III.....</b>	<b>60</b>
<b>Rendimento de Soja em um Latossolo Vermelho Submetido a Diferentes Sistemas de Uso e Manejo.....</b>	<b>60</b>
4.1 Resumo .....	60
4.2 Abstract.....	60
4.3 Introdução.....	61
4.4 Material e Métodos.....	63
4.5 Resultados e Discussão.....	65
4.6 Conclusão .....	69
4.7 Referências Bibliográficas.....	70
<b>5. CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>74</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O sistema plantio direto é ferramenta conservacionista, que visa a conservação do solo por meio do mínimo revolvimento e manutenção da palhada em cobertura, reduzindo efeito de processos degradantes, principalmente a erosão. Segundo Food and Agriculture Administration (FAO, 2013), são mais de 116 milhões de hectares no mundo sendo conduzidos em sistema de plantio direto e mais de 25,5 milhões de hectares no Brasil. Porém a intensificação dos sistemas produtivos, o aumento do uso da mecanização na agricultura e a integração lavoura pecuária, trouxeram consigo problemas ao solo, dentre eles a compactação do solo. Franchini et al. (2011) avaliando um sistema plantio direto, observaram a formação de uma camada de solo com maior grau de compactação a 0,10-0,20 m de profundidade, que podem ser restritiva ao desenvolvimento das plantas. Souza et al. (2009) avaliando sistema de integração lavoura pecuária, verificaram redução da qualidade física do solo, principalmente pela redução da porosidade total e aumento da densidade do solo. Conte et al. (2011) verificaram que logo após o pisoteio animal há incrementos nos valores de resistência mecânica a penetração na camada 0,00-0,10 m.

A compactação do solo afeta diretamente o desenvolvimento e a produção de plantas. Oliveira et al. (2012) verificaram que o desenvolvimento de plantas é influenciado pelos diferentes níveis de compactação, e a soja cultivada em solos com maior estado de compactação apresentam engrossamento do sistema radicular e menor área explorada pelas raízes. Ribeiro et al. (2010) constataram que com o aumento da densidade do solo, há uma redução no crescimento da soja, sendo esse efeito mais pronunciado em solos de textura argilosa. Os autores ainda ressaltam que em solos com maior estado de compactação há uma menor eficiência do usos de fertilizantes fosfatados.

Para reduzir o estado de compactação dos solos a principal prática adotada é a intervenção mecânica, principalmente por meio da escarificação. A escarificação mobiliza o solo, reduzindo o estado de compactação e aumentando a porosidade total, possibilitando um ambiente mais favorável para o desenvolvimento radicular. Reichert et al. (2009) avaliando um Argissolo arenoso verificaram que a intervenção mecânica acarreta em maior porosidade total, menor densidade do solo e em menor resistência mecânica a penetração.

Atualmente existem diversos parâmetros para quantificar as condições estruturais do solo, a partir disso se faz necessária a avaliação do real impacto gerado pelos diferentes sistemas



produtivos sobre as propriedades físicas do solo e o impacto dessas alterações na produtividade das culturas subsequentes. É necessária a obtenção desses novos resultados para averiguar se a necessidade de intervenção mecânica em sistema plantio direto e também quantificar o quão degradante é o efeito do pisoteio animal. Os resultados referentes a necessidade, ou não, da intervenção mecânica se tornam importantes quando se considera mais um evento de tráfego, acarretando em um aumento de custos, por essa ser uma pratica de elevada demanda energética. Outro fator relevante com relação a necessidade da intervenção mecânica é devido essa pratica acarretar em uma desestruturação do solo, conseqüentemente, resultando na quebra da continuidade dos poros.

Os atributos clássicos utilizados para quantificar a qualidade física do solo são densidade do solo, porosidade, água disponível e infiltração de água no solo. Recentemente surgiram outros parâmetros para quantificar a qualidade do solo, dentre eles estão o índice S, densidade relativa, pressão de pré-consolidação e índice de compressão. O índice S leva em consideração a inclinação da curva de retenção de água. A densidade relativa do solo considera a relação entre a densidade do solo e a densidade máxima do solo. A pressão de pré-consolidação e índice de compressão, são parâmetros que avaliam a relação entre o índice de vazios e a pressão aplicada no teste de consolidação do solo.

A densidade e a porosidade estão intimamente ligadas com os teores de água disponível e com a taxa de infiltração de água no solo. Lazanova et al. (2010) e Gomes et al. (2012) avaliando qualidade física dos solos, encontraram relação direta entre a porosidade e a infiltração de água no solo. O índice S apresenta correlação com os demais atributos, sendo altamente dependente da densidade do solo, porosidade total e macroporosidade, mostrando tratar-se de um indicador adequado da qualidade física de solos (ANDRADE & STONE, 2009). O índice de compressão está positivamente relacionados com a porosidade e negativamente com a densidade do solo (MENTGES et al., 2012). O trabalho tem por objetivo avaliar o efeito do sistema plantio direto, sistema plantio direto escarificado, sistema plantio direto escarificado com gradagem, sistema plantio direto com integração lavoura pecuária e da mata nativa sobre os atributos físico, hídricos e mecânicos do solo e produtividade e as componentes de rendimento da cultura da soja nestes sistemas de uso agrícola.

## 2. ARTIGO I

### ATRIBUTOS FÍSICO MECÂNICOS DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO

#### 2.1 Resumo

O sistema produtivo no Brasil esta gerando alterações nas propriedades físicas do solo, o aumento da mecanização e a adoção do sistema integração lavoura pecuária geram zonas com maior estado de compactação. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de uso e manejo sobre as propriedades físico-mecânicas de um Latossolo Vermelho. Foram realizadas duas coletas, em duas épocas, em cinco sistemas de uso e manejo, os sistemas foram: i) sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP) por um período de 15 anos; ii) sistema plantio direto contínuo (SPD) por mais de 15 anos; iii) sistema plantio direto escarificado (SPD+E); iv) sistema plantio direto escarificado com uma gradagem (SPD+E+G) e v) Mata nativa (MATA). Foram avaliadas seis camadas de solo (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m). A MATA apresenta os maiores valores de porosidade e pressão de pré-consolidação e os menores valores de densidade, densidade máxima, densidade relativa e índice de compressão. A intervenção mecânica promove redução do estado de compactação do solo. Os efeitos da mobilização do solo têm duração maior que 320 dias. O pisoteio animal e o sistema plantio direto gera redução da porosidade na camada entre 0,05 a 0,20 m de profundidade.

**Palavras-Chave:** Pressão de Pré-Consolidação, Índice de Compressão, Integração Lavoura Pecuária.

#### 2.2 Abstract

The production system in Brazil is generating changes in the physical properties of the soil, increased by mechanization and adoption of integrated farming system with crop livestock areas are generating more compacted soils. The objective of this study was to evaluate the effect of the use of the soil, on the physico-mechanical properties of a Oxisol. Two samples

were collected at five systems use and management, the systems that were analyzed are : i) no-tillage with integration of crop livestock farming system (ICL); ii) no-tillage (NT); and the areas are handled with NT and ICL in more than 15 years; iii) chisel plow tillage (T+CP); iv) tillage scarified with a harrowing (T+S+H); v) native Forest (FOREST). Were evaluated six layers of soil (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,20, 0,20-0,30 and 0,30-0,40 m). The FOREST presents the highest values of porosity and pre-consolidation pressure and lower values of density, maximum density, relative density and compression index. The mechanical intervention promotes reduction of the state of soil compaction. The effects of tillage these effects are longer than 320 days. The animal trampling and tillage system generates reduction in porosity in the layer between 0,05 and 0,20 m of depth.

**Keywords:** Pre-Consolidation Pressure, Compression Index, Integration Crop Livestock.

## 2.3 Introdução

A ausência de revolvimento do solo associado ao intenso tráfego de máquinas e/ou pisoteio animal, podem gerar zonas com maior estado de compactação do solo. O sistema plantio direto é uma importante ferramenta para a conservação do solo, porém este promove baixa mobilização do solo e restrita à linha de semeadura, isso pode fazer com que haja uma redução dos valores de porosidade e acréscimo nos valores de densidade (LAZANOVA et. al. 2007; ROSA et. al. 2011).

O pisoteio animal em áreas com integração lavoura pecuária tende acarretar alterações das propriedades físicas do solo, influenciando diretamente no crescimento e desenvolvimento radicular. A redução da porosidade e aumento da densidade do solo tem efeito negativo sobre o estabelecimento das culturas. Lopes et. al. (2009), avaliando sistema integração lavoura pecuária, em diferentes intensidades de pastejo observaram que quanto maior a intensidade de pastejo pior é o estabelecimento da cultura subsequente.

A qualidade física dos solos é fundamental para o aumento da produtividade e para a sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo. Os diferentes usos e manejos do solo acarretam em alterações nas suas propriedades físicas (ALBUQUERQUE et al., 2001). Marchão et al. (2007) avaliando um sistema de integração lavoura pecuária observaram incremento nos valores de densidade do solo e redução nos valores de porosidade total.

Para romper as camadas compactadas geradas devido ao pisoteio animal e ao tráfego de máquinas, alguns autores recomendam a escarificação (KLEIN & CAMARA, 2007), já outros recomendam a rotação de culturas com espécies de sistema radicular agressivo (NICOLOSO et al., 2008). A escarificação do solo tem por objetivo aumentar a porosidade, reduzir a densidade e a resistência mecânica à penetração (GIRARDELLO, 2010). Camara e Klein (2005) avaliando um Latossolo Vermelho distrófico típico, observaram melhoria nas condições físico-hídrico-mecânicas do solo, ocasionadas pelo efeito da escarificação esporádica em solos conduzidos em sistema de plantio direto.

Normalmente, determinações de densidade e porosidade do solo são utilizadas para quantificar o estado de compactação do solo. A pressão de pré-consolidação e o índice de compressão estão diretamente vinculados ao estado de compactação que o solo se encontra, e desta forma, se tornando importantes ferramentas para quantificar o estado de compactação do solo. Outro parâmetro que surgiu recentemente para determinar o estado de compactação do solo é a densidade relativa (ARVIDSSON & HAKABSSON, 1991; MENTEGES et al., 2007; KLEIN, 2006). Este parâmetro é a razão entre a densidade atual do solo e a densidade máxima do solo. Esta variável sofre menos influência de parâmetros vinculados a granulometria e mineralogia do solo e a utilização da densidade relativa é uma forma de evitar a influência dessas entre os solos, permitindo compará-los quantitativamente.

A escarificação mecânica é uma importante ferramenta utilizada para a descompactação do solo, porém ainda não está elucidada a durabilidade de seus efeitos sobre as propriedades físicas do solo, acredita-se que a durabilidade da escarificação é maior do que 12 meses. O sistema integração lavoura pecuária tende a gerar zonas de maior estado de compactação nas camadas superficiais do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de uso e manejo do solo: sistema plantio direto com integração lavoura pecuária, sistema plantio direto, sistema de plantio direto escarificado e sistema plantio direto escarificado com gradagem e a MATA sobre a porosidade, densidade do solo, densidade máxima e relativa, índice de compressão e a pressão de pré-consolidação de um Latossolo Vermelho.

## **2.4 Material e Métodos**

A área em estudo localiza-se no município de Santo Antônio do Planalto- RS, no planalto médio rio-grandense, micro região Alto - Jacuí. O solo é classificado como Latossolo

Vermelho distrófico, argiloso (SANTOS et al., 2006). O Clima, segundo a classificação de Köppen, (Cfa) é subtropical úmido com precipitação e temperatura média anual de 1.560 mm e 19,3°C (MORENO, 1961), respectivamente. A área experimental localiza-se geograficamente a latitude 28°24' Sul e longitude 52°41' Oeste e altitude de 516 m.

Foram realizadas duas coletas, em duas épocas, em cinco sistemas de uso e manejo do solo, os sistemas analisados foram: i) sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP) por um período maior que 15 anos; ii) sistema plantio direto contínuo (SPD), a mais de 15 anos; iii) sistema plantio direto escarificado (SPD+E); iv) sistema plantio direto escarificado com uma gradagem (SPD+E+G) e v) Mata nativa (MATA). As operações de escarificação e gradagem foram realizadas dois meses antes da primeira coleta e um ano antes da segunda coleta dos dados. A escarificação foi realizada com subsolador de 7 hastes, espaçadas 0,30 m entre si, com ação média de 0,30 m de profundidade. A gradagem foi realizada com grade de ação leve, até 0,10 m de profundidade.

As amostras com estrutura preservada foram coletadas em anéis metálicos de cinco centímetros de altura e cinco centímetros de diâmetro, foram avaliadas seis camadas de solo (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m). A inserção dos cilindros no solo foi realizada de maneira manual com a utilização de um extrator e um martelo pedológico.

Em laboratório as amostras foram preparadas e saturadas por capilaridade. Após, encaminhadas a mesa de tensão, sendo submetidas a uma tensão de -6 kPa, para equilíbrio da umidade. As amostras foram submetidas a ensaios de compressão uniaxial, utilizando o sistema de consolidação automatizado, sendo elas submetidas a nove pressões, 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, até que 90% da deformação máxima fosse alcançada. Para obtenção dos valores referentes a pressão de pré-consolidação, índice de compressão, densidade do solo e densidade máxima. As curvas foram ajustadas pelo software Compress (método Casagrande). Ao término dos ensaios de compressibilidade as amostras foram levadas a estufa a 105°C até peso constante (EMBRAPA, 1997).

A partir dos massas de solo obtidos na mesa de tensão e massa de solo seco foram determinadas a porosidade total, macroporosidade e microporosidade. A microporosidade foi estimada utilizando a equação 1, a porosidade total foi utilizando a equação 2 e a macroporosidade utilizando a equação 3:

$$\text{Microporosidade} = \frac{\text{massa solo -6 kPa} - \text{massa solo seco}}{\text{massa solo seco}} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{Porosidade total} = 1 - \left( \frac{\text{densidade do solo}}{\text{densidade de partícula}} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{Macroporosidade} = \text{porosidade total} - \text{microporosidade} \quad \text{Eq. 3}$$

A densidade máxima do solo foi determinada a partir de um ensaio de compressão uniaxial, onde a amostra foi submetida a uma sequência de pressões (25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa), até que a amostra atingisse 90% de deformação, considerou-se como densidade máxima a densidade atingida na pressão de 1.600 kPa (SUZUKYI, 2005). A densidade relativa do solo foi determinada a partir da equação 4:

$$\text{Densidade relativa} = \frac{\text{densidade do solo}}{\text{densidade do solo máxima}} \quad \text{Eq. 4}$$

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema tri fatorial 5 x 6 x 2, sendo 5 manejos, 6 camadas, em 2 anos de coletas, nos anos de 2013 e 2014, com 8 repetições, as médias foram comparadas estatisticamente pelo teste de T ao nível de 5% de probabilidade de erro. O coeficiente de correlação (R) foi obtido por meio da correlação de Pearson.

## 2.5 Resultados e Discussão

Os sistemas de usos e manejo do solo alteraram os valores de porosidade total (PT), sendo que os maiores valores foram verificados na MATA (Tabela 1), em todas as profundidades nas duas coletas. Nos sistemas de uso agrícola o revolvimento do solo (SPD+E+G e SPD+E) foi eficiente em aumentar os valores da PT na camada superficial (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m) comparado com os usos sem revolvimento (ILP e SPD). Este efeito foi mais pronunciado na primeira coleta. Mazurana et al. (2011) avaliando um Argissolo Vermelho-Amarelo observaram que os sistemas de preparo do solo influenciam de forma direta na porosidade do solo.

Tabela 1- Valores médios da porosidade total e macroporosidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos em duas coletas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013.

Profundidade (m)	Porosidade Total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )				
	MATA	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G
-----1° Coleta-----					
0,00-0,05	0,70A a $\alpha$	0,56C ab $\alpha$	0,59C a $\alpha$	0,61B a $\alpha$	0,64B a $\alpha$
0,05-0,10	0,68A ab $\alpha$	0,52C c $\alpha$	0,51C c $\alpha$	0,59B a $\alpha$	0,58B b $\alpha$
0,10-0,15	0,66A bc $\alpha$	0,51C c $\alpha$	0,51C c $\alpha$	0,58B a $\alpha$	0,52C c $\alpha$
0,15-0,20	0,65A c $\alpha$	0,53B bc $\alpha$	0,55B bc $\alpha$	0,55B b $\alpha$	0,53B c $\alpha$
0,20-0,30	0,63A $\alpha$	0,57B a $\alpha$	0,57B ab $\alpha$	0,54B b $\alpha$	0,54B c $\alpha$
0,30-0,40	0,60A $\alpha$	0,57B a $\alpha$	0,59AB a $\alpha$	0,54B b $\alpha$	0,53B c $\alpha$
-----2° Coleta-----					
0,00-0,05	0,70A a $\alpha$	0,53C ab $\alpha$	0,54C ab $\beta$	0,60B a $\alpha$	0,59B a $\beta$
0,05-0,10	0,69A ab $\alpha$	0,48D c $\beta$	0,52C b $\alpha$	0,55B b $\beta$	0,53BC b $\beta$
0,10-0,15	0,66A bc $\alpha$	0,47C c $\beta$	0,51B b $\alpha$	0,52B bc $\beta$	0,52B b $\alpha$
0,15-0,20	0,64A c $\alpha$	0,48C c $\beta$	0,52B b $\alpha$	0,55B b $\alpha$	0,53B b $\alpha$
0,20-0,30	0,62A c $\alpha$	0,52BC b $\beta$	0,53BC ab $\beta$	0,51C c $\beta$	0,54B b $\alpha$
0,30-0,40	0,58A d $\alpha$	0,56AB a $\alpha$	0,56AB a $\alpha$	0,52C bc $\beta$	0,53BC b $\alpha$
-----Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )-----					
-----1° Coleta-----					
0,00-0,05	0,35A a $\alpha$	0,17C a $\alpha$	0,20C a $\alpha$	0,26B a $\alpha$	0,29B a $\alpha$
0,05-0,10	0,35A a $\alpha$	0,16C a $\alpha$	0,14C b $\alpha$	0,24B a $\alpha$	0,21B b $\alpha$
0,10-0,15	0,30A ab $\alpha$	0,15C a $\alpha$	0,13C b $\alpha$	0,24B a $\alpha$	0,12C c $\alpha$
0,15-0,20	0,29A bc $\alpha$	0,16B a $\alpha$	0,15B ab $\alpha$	0,16B b $\alpha$	0,15B c $\alpha$
0,20-0,30	0,27A bc $\alpha$	0,19B a $\alpha$	0,17B ab $\alpha$	0,17B b $\alpha$	0,15B c $\alpha$
0,30-0,40	0,25A c $\alpha$	0,17B a $\alpha$	0,19B a $\alpha$	0,13CD b $\alpha$	0,12D c $\alpha$
-----2° Coleta-----					
0,00-0,05	0,39A a $\alpha$	0,14C a $\alpha$	0,14C a $\beta$	0,23B a $\alpha$	0,21B a $\beta$
0,05-0,10	0,39A a $\alpha$	0,08C bc $\beta$	0,11BC a $\alpha$	0,14B b $\beta$	0,13B bc $\beta$
0,10-0,15	0,34A b $\alpha$	0,06C c $\beta$	0,11B a $\alpha$	0,14B b $\beta$	0,16B b $\alpha$
0,15-0,20	0,30A b $\alpha$	0,05C c $\beta$	0,12B a $\alpha$	0,15B b $\alpha$	0,11B cd $\alpha$
0,20-0,30	0,29A bc $\alpha$	0,11B ab $\beta$	0,11B a $\beta$	0,10B b $\beta$	0,10B cd $\alpha$
0,30-0,40	0,24A c $\alpha$	0,15B a $\alpha$	0,12B a $\beta$	0,09C c $\alpha$	0,08C d $\alpha$

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas de mesma letra grega não diferem entre as duas coletas pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade de erro

Em maiores profundidades observamos que há resposta diferenciada dos sistemas de uso e manejo sobre a porosidade total, sendo que os sistemas SPD, ILP e SPD+E+G apresentaram valores reduzidos, resultado de uma soma de pressões geradas pelo tráfego de máquinas e pisoteio animal. No sistema SPD+E+G a redução da porosidade total esta

vinculada a operação de gradagem que gera zonas de maior estado de compactação na camada logo abaixo de sua zona de ação (LIMA et al., 2013). Em profundidades maiores não é possível observar efeito entre os usos agrícolas para a porosidade total.

Decorrido 320 dias das práticas de escarificação e gradagem ainda foi possível observar seus efeitos nas camadas superficiais do solo (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m), sendo que os sistemas de uso e manejo que apresentam maiores valores de porosidade total são SPD+E e SPD+E+G. Também foi possível observar que com o aumento da profundidade vão reduzindo os efeitos das práticas agrícolas quanto a porosidade total.

Em ambas as coletas é possível observar que no sistema ILP há uma redução da porosidade total em sub superfície, provavelmente efeito somatório de cargas geradas pelo tráfego de máquinas ocorrido na área por motivo da implantação da cultura da soja e pelo pisoteio animal durante o pastejo. Debiasi & Franchini (2012) avaliando a integração lavoura pecuária em diferentes intensidades de pastejo observaram que o pisoteio animal aumenta o grau de compactação na camada superficial do solo e altas pressões de pastejo, mesmo durante um período curto, aumentam o grau de compactação até 0,30 m de profundidade. Os sistemas SPD+E e SPD+E+G apresentaram redução na porosidade total do primeiro para o segundo ano, isso devido ao tempo decorrido entre a prática da escarificação e gradagem e as coletas, período suficiente para a realocação das partículas e conseqüentemente redução da porosidade total.

Assim como na porosidade total os maiores valores de macroporosidade foram encontrados na MATA em todas as camadas e em ambas as coletas, isso pela MATA não ter sofrido nenhuma prática de manejo que viesse degradar sua estrutura, outro motivo é a maior quantidade de material orgânico, propenso para desenvolvimento de organismos responsáveis pela formação de bioporos no solo.

Para a camada superficial, 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, na primeira coleta os sistemas de uso e manejo que apresentaram maior valor de macroporosidade são SPD+E e SPD+E+G, resultado das práticas de escarificação e gradagem, já o sistema que apresentou menor valor de macroporosidade foi o ILP, já haviam mencionado que o pisoteio animal possui um efeito mais pronunciado na camada superficial. Em subsuperfície, 0,10-0,15 m, é possível observar a formação “pé de grade”, onde há uma redução drástica do valor de macroporosidade do sistema SPD+E+G. Nessa camada fica evidente o efeito degradante dos sistemas uso e manejo onde há tráfego de máquinas sem mobilização do solo, nos sistemas SPD e ILP os valores de macroporosidade são bastante reduzidos.



Na segunda coleta e na camada superficial, 0,00-0,05 m, os sistemas agrícolas que apresentam maiores valores de macroporosidade são o SPD+E e SPD+E+G. Os sistemas SPD e ILP apesar de apresentarem menores valores de macroporosidade,  $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , permanecem acima do valor considerado limitante,  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (KAISER et al., 2009). Já em camadas mais profundas, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, o sistema ILP apresenta valor de macroporosidade abaixo do considerado ótimo para que ocorram trocas gasosas de forma eficiente. Considerando essa profundidade, até 0,20 m, como aquela que apresenta a maior concentração de raízes é importante realizar uma avaliação mais minuciosa desse sistema quanto as condições para o desenvolvimento radicular das plantas.

Para microporosidade não houve interação significativa para os três fatores, tratamento x profundidade x época, porém houve para o efeito duplo para tratamento x profundidade e tratamento x ano. Na tabela 2 estão apresentadas as médias de microporosidade para os tratamentos nas diferentes profundidades, interação tratamento x profundidade, e as médias dos diferentes tratamentos nas duas épocas. Na camada superficial do solo os maiores valores de microporosidade foram encontrados nos sistemas SPD e ILP, resultados semelhantes foram encontrados por Niero et al. (2010), que atribuíram esse aumento da macroporosidade e redução da microporosidade ao tráfego de máquinas.

Na segunda coleta houve aumento significativo da microporosidade nos sistemas de uso agrícola. Atribui-se esse fato pela soma de cargas geradas pelo tráfego de máquinas realizado durante os tratos culturais na cultura de soja, aliado a isso, o tempo decorrido entre escarificação e gradagem e as amostragem, que para a segunda coleta houve tempo suficiente para realocação das partículas, conseqüentemente redução da macroporosidade e aumento da microporosidade.

A densidade do solo se correlacionou com a porosidade total e com a macroporosidade (Figura 1), pois com a aproximação das partículas há uma redução dos vazios e, conseqüentemente, há um aumento da densidade do solo. Na primeira coleta os maiores valores de densidade do solo (DS) foram encontrados nos sistemas ILP, SPD e SPD+E+G nas camadas de 0,00-0,20 m (Tabela 3), estes maiores valores de densidade do solo do sistema ILP se devem ao efeito do pisoteio animal sobre o solo, que tem efeito mais pronunciado na camada superficial (SOUZA et al., 2009).

Tabela 2- Valores médios da microporosidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de usos e manejo do solo em duas épocas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013.

Profundidade (m)	Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )				
	MATA	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G
0,00-0,05	0,34 B ab*	0,39A a	0,40A ab	0,36B c	0,36B e
0,05-0,10	0,32B b	0,38A a	0,39A b	0,37A bc	0,38A d
0,10-0,15	0,34C ab	0,38A a	0,40A b	0,36BC c	0,39AB cd
0,15-0,20	0,35B a	0,39A a	0,40A ab	0,39A b	0,41A bc
0,20-0,30	0,35B a	0,40A a	0,41A ab	0,40A ab	0,42A ab
0,30-0,40	0,35C a	0,40B a	0,42AB a	0,42AB a	0,43A a
1° Coleta	0,355D a	0,378BC b	0,391 A b	0,371C b	0,383AB b
2° Coleta	0,328C b	0,405AB a	0,412A a	0,398B a	0,414A a

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem na coluna pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade de erro.

No SPD, os valores mais altos de DS esta vinculado principalmente ao tráfego de máquinas, muitas vezes em condições de umidade inadequada, enquanto para o sistema SPD+E+G é principalmente pelo evento da gradagem que promove a “pulverização” das partículas favorecendo seu rearranjo e a reconsolidação do solo. Nesse sistema ainda é possível observara a formação do chamado “pé-de-grade”, que consiste na formação de uma zona compactada na sub-superfície (SANTOS et al., 2011). Os baixos valores de DS do sistema SPD+E na camada de 0,00-0,20 m é resultado da escarificação realizada, onde a haste escarificadora mobilizou o solo rompendo as camadas compactadas aumentando a porosidade (MARASCA et al., 2012).

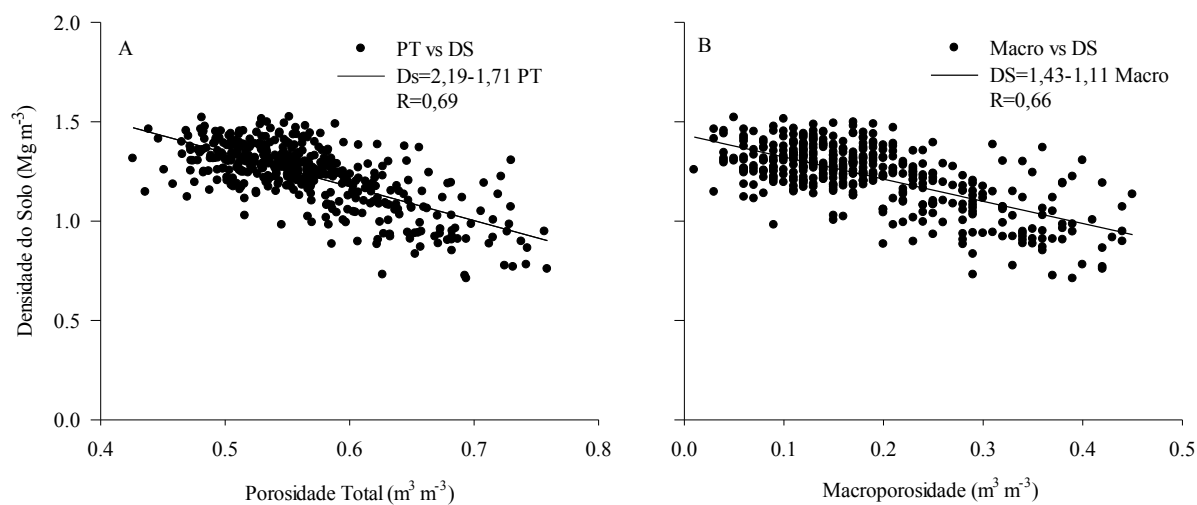


Figura 1. Correlação de Pearson entre a (A) Densidade do Solo e a Porosidade Total; (B) Densidade do solo e Macroporosidade.

Com o aumento da profundidade há uma redução do efeito do manejo sobre a variável densidade do solo (Tabela 3). Sendo que apenas na profundidade 0,20-0,30 m há um aumento nos valores de densidade para o tratamento SPD+E+G, provavelmente efeito de mais um evento de tráfego para realização da gradagem. Na camada de 0,30-0,40 m os manejos agrícolas não apresentaram diferenças entre si, porém os sistemas SPD+E e SPD+E+G obtiveram maiores valores de densidade do solo quando comparado com a MATA.

Na segunda coleta ainda é evidente o efeito das práticas de preparo do solo, sendo que os sistemas SPD+E e SPD+E+G foram os que apresentaram menores valores de DS na camada 0,00-0,05 m e no sistema SPD+E o resultado de escarificação se manteve até 0,10 m de profundidade. Apesar de elevados os valores encontrados nos sistemas SPD+E e SPD+E+G, nas camadas abaixo de 0,15 m, as mesmas se encontram abaixo do valor considerado crítico,  $1,34 \text{ Mg m}^{-3}$  para Latossolos de textura argilosa (KLEIN & CAMARA, 2007). Diferente dos valores encontrados nos sistemas ILP e SPD que ultrapassaram os valores considerados como limitantes para o desenvolvimento das culturas.

Os menores valores de densidade máxima foram verificados na MATA ( $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ ), resultados semelhantes aos encontrados por Vasconcelos et al. (2012), que atribuem essa menor compatibilidade a esse sistema devido o grande aporte material orgânico, e, conseqüentemente, ao maior teor de matéria orgânica do solo com menor valor de densidade máxima do solo e maior valor de umidade crítica. Viana et al. (2011) encontraram elevada

Tabela 3- Valores médios de Densidade do Solo, Densidade Máxima e Densidade Relativa de um Latossolo Vermelho submetido sistemas de uso e manejos em duas épocas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013.

Profundidade (m)	Densidade do Solo (Mg m <sup>-3</sup> )				
	MATA	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G
-----1° Coleta-----					
0,00-0,05	0,85 C c α	1,26A bc α	1,18A c β	1,06B c α	1,17A c α
0,05-0,10	0,96C b β	1,34A ab α	1,33A ab α	1,22B ab α	1,28AB b α
0,10-0,15	0,99C b α	1,37A a α	1,36A a α	1,19B a β	1,39A a α
0,15-0,20	1,10B a α	1,33A ab β	1,29A ab α	1,17B b β	1,32A ab α
0,20-0,30	1,10C a α	1,26B bc β	1,26B bc α	1,28AB a α	1,37A ab α
0,30-0,40	1,17B a α	1,23AB c β	1,24AB bc α	1,28A a α	1,29A b α
-----2° Coleta-----					
0,00-0,05	0,88C c α	1,22AB b α	1,30A ab α	1,14B c α	1,11B b α
0,05-0,10	1,16B a α	1,28AB b α	1,38A a α	1,21B bc α	1,34A a α
0,10-0,15	0,88B c β	1,28A b α	1,37A a α	1,33A a α	1,33A a α
0,15-0,20	0,92B c β	1,44A a α	1,34B a α	1,28B ab α	1,27B a α
0,20-0,30	1,02C b α	1,39A a α	1,22B b α	1,25B ab α	1,25B a β
0,30-0,40	1,06C ab β	1,43A a α	1,23B b α	1,26B ab α	1,28B a α
Densidade do Solo Máxima (Mg m <sup>-3</sup> )					
-----1° Coleta-----					
0,00-0,05	1,39B c α	1,63A ab α	1,59A ab α	1,57A a α	1,55A c α
0,05-0,10	1,48B bc β	1,69A ab α	1,68A a α	1,65A a α	1,61A bc α
0,10-0,15	1,53B ab α	1,72A a α	1,63A ab α	1,66A a α	1,68A ab α
0,15-0,20	1,56A ab α	1,66A ab α	1,63A ab α	1,45B b β	1,62A abc α
0,20-0,30	1,59B a α	1,61B b α	1,56B b α	1,62B a α	1,72A a α
0,30-0,40	1,61AB a α	1,64A ab α	1,53B b α	1,59AB a α	1,64A abc α
-----2° Coleta-----					
0,00-0,05	1,47B b α	1,53AB b α	1,60A abc α	1,59A a α	1,53AB b α
0,05-0,10	1,59A a α	1,57A b β	1,63A ab α	1,56A a α	1,62A ab α
0,10-0,15	1,49B ab α	1,61A ab β	1,66A a α	1,64A a α	1,65A a α
0,15-0,20	1,44C b β	1,70A a α	1,62AB ab α	1,60B a α	1,57B ab α
0,20-0,30	1,50B ab α	1,67A a α	1,55B bc α	1,57AB a α	1,53B b β
0,30-0,40	1,57B a α	1,68A a α	1,50B c α	1,57 B a α	1,53B b β
Densidade Relativa					
-----1° Coleta-----					
0,00-0,05	0,61B b α	0,77A a α	0,74A c β	0,68B c β	0,75A b α
0,05-0,10	0,65C b β	0,79A a α	0,79A b β	0,74B b α	0,80A a α
0,10-0,15	0,65C b α	0,80A a α	0,84A a α	0,72B bc β	0,83A a α
0,15-0,20	0,71B a α	0,80A a β	0,79A b α	0,83A a α	0,82A a α
0,20-0,30	0,69B a α	0,78A a β	0,80A ab α	0,79A a α	0,79A a α
0,30-0,40	0,73B a α	0,77B a β	0,81A ab α	0,81A a α	0,79AB ab β
-----2° Coleta-----					
0,00-0,05	0,60C cd α	0,80A b α	0,81A ab α	0,72B b α	0,72B b α
0,05-0,10	0,73C a α	0,82AB ab α	0,85A a α	0,78B a α	0,82AB a α
0,10-0,15	0,59B d β	0,80A b α	0,82A ab α	0,81A a α	0,80A a α
0,15-0,20	0,64C c β	0,85A a α	0,82AB ab α	0,80B a α	0,81AB a α
0,20-0,30	0,68C b α	0,83A ab α	0,79B b α	0,80AB a α	0,82AB a α
0,30-0,40	0,67C bc β	0,85A a α	0,81AB ab α	0,80B a α	0,83AB a α

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas de mesma letra grega não diferem entre as duas coletas pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade de erro.

correlação entre os teores de carbono orgânico e a densidade máxima. Para os demais tratamentos, os valores de densidade máxima foram de  $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ .

A densidade relativa (DR) (ou grau de compactação, se correlacionou com a porosidade total, macroporosidade e com a densidade do solo (Figura 2). Solos com maior estado de compactação, tendem a apresentar valores reduzidos de porosidade total e macroporosidade. Mentges et al. (2010) avaliando propriedades físico-hídricas constataram redução da porosidade total e da macroporosidade com o aumento da intensidade de tráfego no solo, e conseqüentemente aumento da densidade do solo e um maior estado de compactação. Para a primeira coleta e na camada superficial, os menores valores de densidade relativa foram encontrados na MATA e no SPD+E. Segundo Marcolin & Klein (2011) a densidade relativa possui relação inversa com os teores de matéria orgânica. Já no SPD+E, os menores valores de DR é efeito da mobilização do solo que faz com que haja uma diminuição dos valores de DS. Na camada de 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, embora menos pronunciado, o efeito da escarificação ainda atua de forma significativa quanto aos valores de densidade relativa. Nas camadas mais profundas os efeitos dos diferentes manejos agrícolas sobre a densidade relativa do solo não diferenciam entre si.

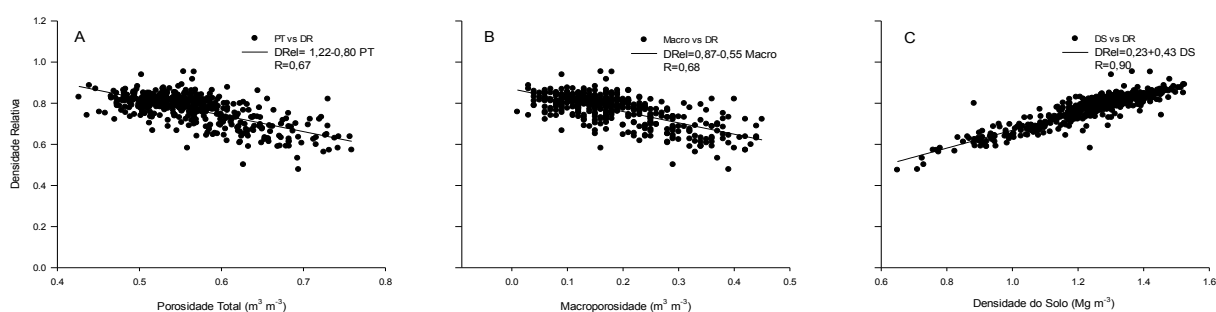


Figura 2. Correlação entre: (A) Densidade Relativa e a Porosidade Total; (B) Densidade Relativa e a Macroporosidade; e (C) Densidade Relativa e a Densidade do Solo.

A pressão de pré-consolidação se correlacionou de forma significativa com a densidade do solo, com aumento da densidade do solo há um aumento da pressão de pré-consolidação (Figura 3). Na primeira coleta, na camada superficial não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto aos valores de pressão de pré-consolidação (Tabela 4). Já em subsuperfície o maior valor de pré-consolidação na primeira coleta foi no SPD,

provavelmente por esse solo já se encontrar em um estado de compactação mais elevado, isso faz com a pressão necessária para que haja dano a estrutura do solo seja maior.

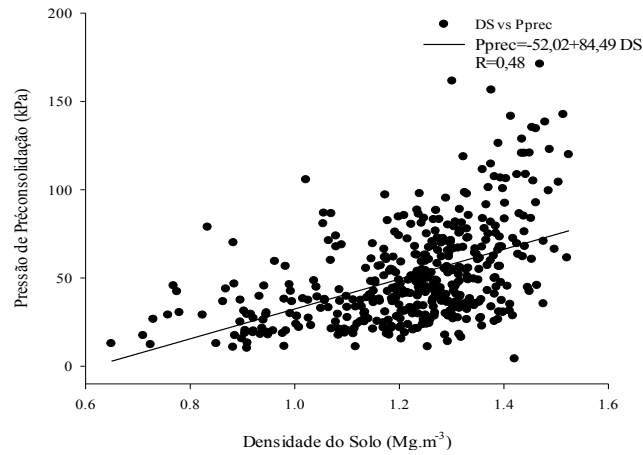


Figura 3. Correlação entre a Pressão de Pré-Consolidação e Densidade do Solo.

Para a camada de 0,05-0,10 m, o menor valor de pressão de pré-consolidação foi no SPD+E+G, fato este esta vinculado a gradagem realizada nessa área, que torna o solo fique mais propenso a compactação. Segundo Cunha et al. (2009) as operações de preparo de solo influenciaram sua suscetibilidade à compactação, quanto maior a pulverização do solo, por ocasião do preparo, maior foi o potencial de compactação.

Na primeira coleta, na camada superficial não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto aos valores de pressão de pré-consolidação. Já em subsuperfície o maior valor de pré-consolidação na primeira coleta, foi encontrado no SPD, provavelmente por esse solo já se encontrar em um estado de compactação mais elevado (MENTGES et. al., 2010), isso faz com a pressão necessária para que haja dano a estrutura do solo seja maior.

Para a camada de 0,15-0,20 m o tratamento que apresentam maior pressão de pré-consolidação é o SPD, não diferindo do SPD+E e SPD+E+G e ILP, diferindo apenas da MATA que apresentou os menores valores de pressão de pré-consolidação. Avaliando a pressão de pré-consolidação em camadas mais profundas percebe-se incremento nos valores de pressão de pré-consolidação para a MATA, isso devido a redução da quantidade de material orgânico e da quantidade de bioporos.

Tabela 4- Valores Pressão de Pré-consolidação e Índice de Compressão de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejos em duas coletas. Santo Antônio do Planalto – RS, 2013.

Profundidade	Pressão de Pré-consolidação (kPa)				
	MATA	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G
-----1° Coleta-----					
0,00-0,05	44,53A ab $\alpha$	46,46 A a $\alpha$	52,24A b $\beta$	43,44 A c $\alpha$	31,23 A c $\alpha$
0,05-0,10	44,91 BC ab $\alpha$	33,39 C a $\beta$	74,74A a $\beta$	66,02AB ab $\alpha$	42,77 BC abc $\alpha$
0,10-0,15	30,92B b $\alpha$	50,87 AB a $\alpha$	58,92A ab $\alpha$	50,08 AB b $\alpha$	58,75 A ab $\alpha$
0,15-0,20	52,14AB ab $\alpha$	40,21 B a $\beta$	57,66AB ab $\alpha$	74,45A a $\alpha$	66,33A a $\alpha$
0,20-0,30	49,83ABCab $\alpha$	35,25 C a $\alpha$	59,32AB ab $\alpha$	64,01A abc $\alpha$	41,41BC b $\alpha$
0,30-0,40	64,43A a $\alpha$	45,11 A a $\beta$	64,91 A ab $\alpha$	53,05A abc $\alpha$	42,97 A abc
-----2° Coleta-----					
0,00-0,05	28,97B ab $\alpha$	42,85 B c $\alpha$	83,51A b $\alpha$	31,05B a $\alpha$	32,61B b $\alpha$
0,05-0,10	45,32B a $\alpha$	67,33 B b $\alpha$	109,80A a $\alpha$	52,23B a $\alpha$	45,34B b $\alpha$
0,10-0,15	25,19C ab $\alpha$	54,98 B bc $\alpha$	82,53A b $\alpha$	39,95BC a $\alpha$	32,00 C b $\beta$
0,15-0,20	19,70D b $\beta$	97,96Aa $\alpha$	71,06B b $\alpha$	43,11C a $\beta$	37,77 CD b $\beta$
0,20-0,30	33,51Aab $\alpha$	53,26A bc $\alpha$	42,96A c $\alpha$	29,80 A a $\beta$	47,89A b $\alpha$
0,30-0,40	32,42 D ab $\beta$	109,51A a $\alpha$	56,54BC c $\alpha$	47,47 CD a $\alpha$	71,73B a $\alpha$
-----Índice de Compressão-----					
-----1° Coleta-----					
0,00-0,05	0,694A a $\alpha$	0,266C ab $\alpha$	0,321C a $\alpha$	0,480B a $\alpha$	0,304C a $\alpha$
0,05-0,10	0,560A b $\alpha$	0,203C b $\alpha$	0,262C ab $\alpha$	0,380B b $\alpha$	0,231C ab $\alpha$
0,10-0,15	0,510A bc $\alpha$	0,224C b $\alpha$	0,211C b $\alpha$	0,375B b $\alpha$	0,187C b $\alpha$
0,15-0,20	0,417A de $\beta$	0,209B b $\alpha$	0,263B ab $\alpha$	0,261B c $\alpha$	0,220B b $\alpha$
0,20-0,30	0,442A cd $\alpha$	0,242B ab $\alpha$	0,248B b $\alpha$	0,266B c $\alpha$	0,216B b $\alpha$
0,30-0,40	0,361A e $\beta$	0,299AB b $\alpha$	0,245B b $\alpha$	0,257B c $\alpha$	0,250B ab $\alpha$
-----2° Coleta-----					
0,00-0,05	0,606A a $\beta$	0,260C a $\alpha$	0,237C a $\beta$	0,345B a $\beta$	0,337B a $\alpha$
0,05-0,10	0,371A d $\beta$	0,226BC ab $\alpha$	0,203C a $\alpha$	0,275B ab $\beta$	0,197C b $\alpha$
0,10-0,15	0,568A ab $\alpha$	0,246B ab $\alpha$	0,207B a $\alpha$	0,206B b $\beta$	0,202B b $\alpha$
0,15-0,20	0,513A bc $\alpha$	0,188B ab $\alpha$	0,211B a $\alpha$	0,232B b $\alpha$	0,213B b $\alpha$
0,20-0,30	0,407A c $\alpha$	0,213B ab $\alpha$	0,251B a $\alpha$	0,226B b $\alpha$	0,213B b $\alpha$
0,30-0,40	0,442A cd $\alpha$	0,186B b $\beta$	0,229B a $\alpha$	0,221B b $\alpha$	0,222B b $\alpha$

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha, médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas de mesma letra grega não diferem entre as duas coletas pelo teste T ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para a segunda coleta os maiores valores de pressão de pré-consolidação são encontrados no SPD, nas camadas superficiais, 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, os demais tratamentos não apresentam diferença significativa entre si. Nas camadas de 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, os menores valores de pressão de pré-consolidação foram encontrados na MATA e nos sistemas onde houve mobilização do solo, SPD+E e SPD+E+G, mesmo com o tempo

para a acomodação das partículas esses sistemas ainda mantiveram uma porosidade elevada, consequentemente uma susceptibilidade a compactação elevada.

Na primeira coleta o sistema ILP não apresentou diferença significativa entre as profundidades para a pressão de pré-consolidação. Já na segunda o sistema ILP apresentou maiores valores de pressão de pré-consolidação nas camadas 0,15-0,20 e 0,30-0,40 m, isso provavelmente está atribuído ao efeito somatório das pressões geradas pelo tráfego de máquinas com o pisoteio animal, gerando maiores valores de densidade do solo (COLLARES et al., 2006; COLLARES et al., 2011; SECCO et al., 2004). Para o sistema SPD, na primeira e na segunda coleta os maiores valores foram encontrados nas profundidades 0,05-0,10 m evidenciando o efeito compactante do tráfego de máquinas em subsuperfície.

Logo após a mobilização do solo no sistema SPD+E os valores de pré-consolidação foram reduzidos na camada superficial, 0,00-0,05 m, e os maiores valores encontrados nas camadas de 0,15-0,20 e 0,20-0,30 m. Para a segunda avaliação o sistema SPD+E não apresentou diferença significativa entre as camadas avaliadas, provavelmente pelo tempo transcorrido entre as duas coletas suficiente para a que houvesse a reestruturação do solo.

Avaliando as duas coletas observa-se aumento do valor de pressão de pré-consolidação dos tratamentos onde não houve mobilização do solo (ILP e SPD), principalmente na camada subsuperficial, 0,05-0,10 m. Segundo Scariot et al. (2009) os maiores valores de pressão de pré-consolidação, na área de lavoura, concentram-se na camada que vai de 0,05 a 0,30 m de profundidade. Já o sistema SPD+E+G apresentou um menor estado de compactação na segunda época, havendo recuperação dos efeitos causados pela gradagem em subsuperfície, “pé-de-grade”, apresentando uma redução nos valores de pressão de pré-consolidação da primeira para a segunda coleta.

O índice de compressão apresentou correlação positiva com a porosidade total e com a macroporosidade e negativa com a densidade do solo (Figura 4). A MATA apresentou maior índice de compressão em todas as camadas avaliadas em ambas as coletas realizadas. Na primeira coleta, na camada de 0,00-0,05, o segundo maior valor encontrado no sistema SPD+E, isso indica maior probabilidade de compactação desses sistemas, já os demais não diferiram estatisticamente entre si, o que indica que os mesmos já se encontram em um grau de compactação mais acentuado. Sendo fato semelhante encontrado na camada de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m.



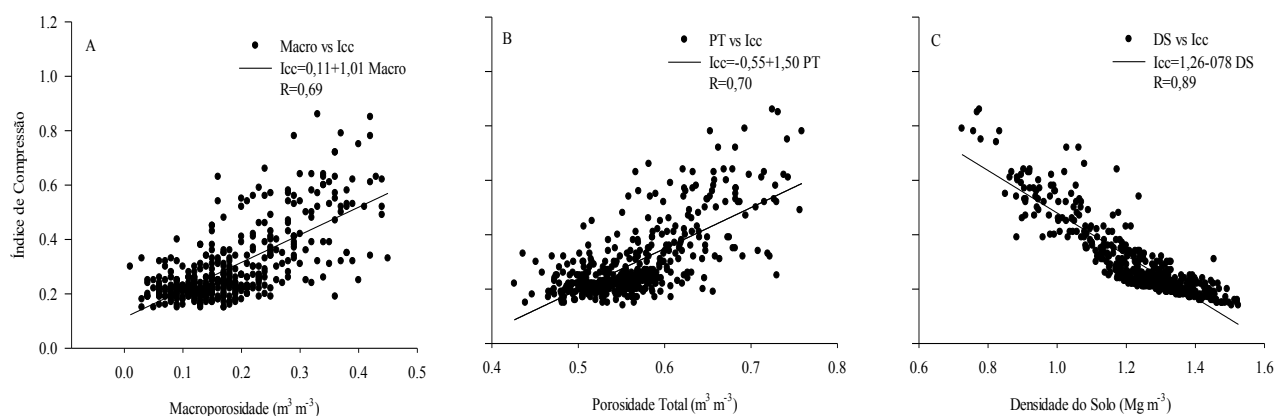


Figura 4. Correlação entre o (A) Índice de Compressão e a Macroporosidade; (B) Índice de Compressão e Porosidade Total; e (C) Índice de Compressão e a Densidade do Solo.

Ao analisarmos os dados da segunda coleta é possível observar que os sistemas de uso agrícola que apresentam maior índice de compressão, na camada de 0,00-0,05 m, são SPD+E e SPD+E+G, resultado da mobilização do solo, que deixa o solo com maior quantidade de poros, conseqüentemente mais propenso a compactação. Nas camadas situadas em profundidades abaixo de 0,15 m o índice de compressão não apresenta diferença significativa entre os sistemas de uso agrícola. Interpretando os valores de índice de compressão nas profundidades maiores é possível observar que assim como nos outros parâmetros avaliados o efeito do manejo vai reduzindo conforme há um aumento na profundidade.

O sistema SPD apresentou maior índice de compressão na camada de 0,00-0,05 m, porém houve uma redução significativa desse índice na camada, 0,10-0,15 m. Para o sistema ILP, na primeira coleta os valores mais reduzidos do índice de compressão são na camada de 0,05-0,10 m. Segundo Conte et al. (2011) o pisoteio animal causa um aumento na resistência a penetração, e esse aumento é mais pronunciado na camada de 0,00-0,10 m.

Na primeira coleta o sistema SPD+E apresenta valores reduzidos de índice de compressão na camada 0,00-0,05 m, havendo uma leve redução nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, já nas camadas mais profundas, 0,15-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, essa redução é ainda mais significativa, mostrando que não havendo efeito do revolvimento nessas profundidades. Para a segunda avaliação nesse sistema o efeito da mobilização se limita a profundidade de 0,05-0,10 m, abaixo disso não há diferença significativa entre as camadas. Efeito semelhante é encontrado no sistema SPD+E+G, porém a mobilização apresenta efeito

significativo apenas nas camadas 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m na primeira coleta, já para a segunda coleta essa camada se limita apenas a superfície do solo, 0,00-0,05 m.

Os valores de índice de compressão na MATA foram reduzidos em profundidade, esse fato pode estar vinculado com a redução na quantidade de material orgânico e uma menor estruturação com valores mais elevados de densidade do solo que possui menores quantidades de espaços vazios para o solo se deformar.

Avaliando as duas coletas é possível observar que no sistema SPD+E houve uma redução nos valores de índice de compressão nas camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, da primeira para a segunda coleta. Outro tratamento que houve redução do índice de compressão foi o SPD, na camada de 0,00-0,05 m, que na primeira coleta apresentou uma média de 0,321 e na segunda coleta reduziu para 0,237, correlacionando-se com os valores de densidade do solo (Figura 4).

## 2.6 Conclusão

A MATA apresenta os maiores valores de porosidade total e índice de compressão e os menores valores de densidade do solo, densidade máxima, densidade relativa e pressão de pré-consolidação.

A intervenção mecânica por meio de escarificadores promove redução do estado de compactação do solo. Os efeitos da mobilização do solo têm duração maior que 320 dias.

Na camada de 0,05-0,20 m é verificado valores menores de porosidade total nos sistemas sem revolvimento do solo, sistema plantio direto e integração lavoura pecuária em ambas as coletas.

## 2.7 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER M. Efeitos da Integração Lavoura-Pecuária nas Propriedades Físicas do Solo e Características da Cultura do Milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, V.25, p.717-723, 2001.

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

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.29, p.789-796, 2005.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C. L. Evolução de Atributos Físicos de Solo Em Sistema de Integração Lavoura - Pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.46, p.1301-1309, 2011.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade Física do Solo na Produtividade da Cultura do Feijoeiro num Argissolo . **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.41, p.1663-1674, 2006.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação Superficial de Latossolos sob Integração Lavoura – Pecuária de Leite no Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, p.246-250, 2011.

CUNHA, J. P. A. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação Causada pelo Tráfego de Trator em Diferentes Manejos de Solo. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 31, p. 371-375, 2009.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, p.1180-1186, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1997. 212 p.

GIRARDELLO, V. C.. **Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto submetido à escarificação de sítio específico e o rendimento da soja**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L.; KUNZ, M. Intervalo Hídrico Ótimo no Perfil Explorado Pelas Raízes de Feijoeiro em Um Latossolo Sob Diferentes Níveis de Compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.845-855, 2009.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K.. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.221-227, 2007.

KLEIN, V. A.. Densidade relativa – um indicador de qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista Ciência Agroveterinaria**, v.5, p.26-32, 2006.

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

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; R SILVA, A. R. Resistência Mecânica à Penetração Sob Diferentes Sistemas se Uso Do Solo. **Scientia Plena**. v. 9, 2013.

LOPES, M. L. T.; CARVALHO, P. F.; ANGHINONI, I; SANTOS, D. T.; AGUINAGA, A. A. Q.; FLORES, J. P. C.; MORAES, A. Sistema De Integração Lavoura-Pecuária: Efeito do Manejo da Altura em Pastagem de Aveia Preta e Azevém Anual Sobre o Rendimento da Cultura da Soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, V. 39, p.1499-1506, 2009.

MARASCA, I.; LANÇAS, K. P.; SILVA, R. B.; ASSIS, R. L.. Capacidade de suporte de carga e densidade do solo em áreas de plantio direto com e sem escarificação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 27, p.81-91 outubro-dezembro, 2012.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M. DA; JUNIOR, J. DE D. G. DOS S.; SÁ, M. A. C. DE; LOURIVAL VILELA, L.; BECQUER, T.. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.873-882, jun. 2007.

MARCOLIN, C. D. & KLEIN, V. A. Determinação da Densidade Relativa do Solo Por Uma Função de Pedotransferência para a Densidade do Solo Máxima. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 33, p. 349-354, 2011.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de Preparo de Solo: Alterações na Estrutura do Solo e Rendimento das Culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.1197-1206, 2011.

MENTGES, M. I.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.. Densidade Máxima pelo Ensaio de Proctor Normal para Seis Solos em Diferentes Manejos e sua Relação com o Teste de Compressão Uniaxial. **Anais**, XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado, Rio Grande do Sul. 2007.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; ROSA, D. P. DA; VIEIRA, D. A.; ROSA, V. T. DA; REINERT, D. J.. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.315-321, mar. 2010.

MORENO, J. A.. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, **Secção de Geografia**, 1961, 38p

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

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; MARIA, I. C. Avaliações Visuais como Índice de Qualidade do Solo e sua Validação por Análises Físicas e Químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com Usos e Manejos Distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1271-1282, 2010.

ROSA, D. P.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A.; VOGELMAN, E. S.; ROSA, V. T.; REINERT, D. J.. Métodos de obtenção da capacidade de suporte de carga de um argissolo cultivado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1561-1568, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T.. **Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo de um Latossolo do cerrado**. Congresso brasileiro de ciência do solo, Uberlândia, MG: SBCS, 2011.

SCARIOT, J. J.; BRAIDA, J. A.; GASPARETTO, E. C.; CARNEIRO, M.; SCARIOT, A. V. Compressibilidade do Solo em um Latossolo Vermelho Sob Lavoura Anual e Mata Nativa. **Synergismus scyentifica UTFPR** , Pato Branco, v.04 2009.

SECCO, D; REINERT, D. J. ; REICHERT, J. M.; ROS, C. O. Produtividade de Soja e Propriedades Físicas de um Latossolo Submetido a Sistemas de Manejo e Compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 28, p. 797-804, 2004.

SOUZA, C. H. E.; LOURENÇÃO, W.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SAFATLE, T. C.; SOARES, I. A. P.; FIGUEIREDO, C. C.. Alterações das propriedades físicas do solo do cerrado sob sistemas de manejo na região do Alto Paranaíba – MG. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.16, p. 255-264. 2009.

SUZUKI, L.E.A.S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 149p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; MOURA, G. B. A.; ROLIM, M. M.; MONTENEGRO, C. E. V. Compactabilidade de um Latossolo Amarelo Distrocoeso dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas Sob Diferentes Sistemas de Manejo da Cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.537-545, 2012.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos Físicos e Carbono Orgânico em Latossolo Vermelho Sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2105-2114, 2011.

### 3. ARTIGO II

#### ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO

##### 3.1 Resumo

A qualidade física do solo traz consequências diretas no fluxo de água no solo, principalmente na taxa de infiltração e na disponibilidade hídrica. O objetivo desse trabalho foi avaliar as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho manejado sob diferentes sistemas de uso e manejo. Os sistemas analisados foram: i) sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP); ii) sistema plantio direto contínuo (SPD), por um período superior a 15 anos; iii) sistema plantio direto escarificado (SPD+E); iv), sistema plantio direto escarificado com uma gradagem (SPD+E+G) e; v) Mata nativa (MATA). A MATA apresentou as maiores taxas de infiltração ( $5.200 \text{ mm h}^{-1}$ ) enquanto o sistema lavoura pecuária apresentou menor taxa de infiltração ( $140 \text{ mm h}^{-1}$ ). Os maiores valores de água disponível foram encontrados na MATA, isso por não haver efeito da ação antrópica nas propriedades físicas, favorecendo a estruturação do solo, conseqüentemente maior armazenamento de água. A escarificação rompe camadas compactadas, favorecendo a infiltração de água no solo, a disponibilidade de água além de causar incrementos no valor do índice S. Os sistemas integração lavoura pecuária e sistema plantio direto, associados a mais de 15 anos sem revolvimento apresentam maior estado de compactação, evidenciado pela baixa taxa de infiltração, disponibilidade de água e valores de índice S reduzidos em zonas subsuperficiais.

**Palavras-chave:** Infiltração de Água, Retenção de Água, Índice S, Água Disponível.

##### 3.2 Abstract

The low physical quality of the soil has direct consequences on the flow of water in the soil, mainly reducing the infiltration rate and lowering the water availability. The aim of this study was to evaluate the hydro-physical properties of an Oxisol managed under different management systems. The systems that were analyzed are: i) continuous no-tillage with

integrated crop livestock (ICL); ii) continuous no-tillage (NT); for a period exceeding 15 years; iii ) tillage chisel plow (T+CP); iv ) tillage scarified with a harrowing (T+S+H); v) native Forest (FOREST). The system composed of the FOREST showed the highest infiltration rates ( $5200 \text{ mm h}^{-1}$ ) while the integrated crop livestock system showed lower infiltration rate ( $140 \text{ mm h}^{-1}$ ). The highest values of available water were found in FOREST, because there are no effects of human action on the physical properties, promoting greater water storage. Scarification breaks compacted layers, favoring water infiltration into the soil and water availability while cause a increments in the value of index S. Integrated crop livestock systems and tillage associated with more than 12 years without revolving exhibit more compacted, evidenced by the low infiltration rate, water availability and reduced values of S index near the subsurface zones.

**Keywords:** Infiltration of Water, Water Retention, S Index, Water Available.

### 3.3 Introdução

A infiltração e a retenção de água no solo são fortemente alteradas pela intensa mecanização na agricultura, com o uso de máquinas de grande porte e de alta pressão de contato dos pneus com o solo. A ausência de revolvimento do solo preserva as características físicas, porém, se o tráfego de máquinas for superior à sua capacidade de suporte do solo, ocorre compactação adicional.

O sistema plantio direto é um sistema conservacionista, baseado na ausência ou mínimo revolvimento do solo, garantindo que a palha permaneça sobre o solo atuando como uma proteção contra processos danosos, tais como a erosão (LUCIANO et al., 2010). Porém devido as operações de plantio, tratos culturais e colheita pode haver o surgimento de zonas com maior estado de compactação. O movimento de água no solo está intimamente ligado com as características físicas do solo, sendo que a compactação afeta diretamente a distribuição e continuidade dos poros do solo.

Klein & Libardi (2002) destacam a importância do sistema poroso do solo para o fluxo de água. Os autores ressaltam que alterações na estrutura do solo, como aumento da densidade, redução da porosidade total e alteração na distribuição do diâmetro dos poros, diminuiriam a condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho distroférico. O efeito negativo de um maior estado de compactação, principalmente nas camadas superficiais do solo é a diminuição de poros, que conseqüentemente acarretam em uma menor infiltração de



água, menor condutividade hidráulica do solo e maior resistência mecânica a penetração (SOUZA & ALVES, 2003).

A maior disponibilidade de água no solo é um fator determinante para aumento da produtividade agrícola, e esta intimamente relacionada com a estrutura do solo. A capacidade de armazenamento de água no solo tem um determinado limite que é regido por características físicas do solo inerentes à sua composição mineralógica e a fatores relacionados ao manejo, estrutura, densidade e porosidade (SCHEER et al., 2011).

Tradicionalmente, tem-se considerado como água disponível a quantidade de água compreendida entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (KLEIN et al., 2006). A capacidade de campo é a quantidade de água retida após a drenagem da água gravitacional ter sido drenada, que acontece entre 24 a 48 horas depois do solo estar completamente saturado. Autores como Vieira e Klein (2007) propõem a utilização dos valores de umidade no potencial de -6 kPa. Segundo Reichardt (1988) em solos tropicais os potenciais matriciais na capacidade de campo estão entre -6 e -10 kPa, enquanto o ponto de murcha permanente é determinado a partir a de água retida no potencial de -1.500 kPa.

Segundo Panachuki et al. (2006) ao avaliarem os tratamentos em que há uma menor densidade do solo e um maior volume de macroporos, ocorreu um aumento na taxa de infiltração, pode-se dizer então que a mesma atua como indicadora hidrodinâmica da qualidade estrutural do solo. A permeabilidade do solo à água e a resistência mecânica à penetração variam, de acordo com a condição estrutural que o solo se encontra, tais como a porosidade e o grau de compactação do solo, sendo necessário realizar avaliações quanto à esses parâmetros para quantificar o efeito dos sistemas de uso e manejo sobre a qualidade do solo (SOUZA & ALVES, 2003). Bono et al. (2012) avaliando o uso do solo com sistema de lavoura contínua, pecuária contínua e integração lavoura-pecuária observaram redução na taxa de infiltração básica e infiltração acumulada em relação ao solo com vegetação natural.

O tráfego de máquinas, associado a condições inadequadas de umidade, geram uma redução da macroporosidade na camada subsuperficial do solo em sistema plantio direto, o que reduz a taxa de infiltração de água no solo. Em solos submetidos a mais de 12 anos em sistema plantio direto, ocorre redução relevante na macroporosidade do solo, levando em consideração que a taxa de infiltração de água está diretamente relacionada à porosidade, o tráfego de máquinas e o pisoteio animal geram efeitos negativos a esta taxa (ASSIS & LANÇAS, 2005).

A compactação do solo é resultado de uma soma de ações degradantes, seja ela de ação antrópica direta, pelo tráfego de máquinas, ou indireta, pelo pisoteio animal durante o

pastejo. Segundo Prando et al. (2010), em situações extremas de compactação do solo, o manejo mais usual é a intervenção mecânica por meio da escarificação do solo, que utiliza hastes para a movimentar e romper as camadas compactadas, gerando condições apropriadas para a infiltração e fluxo de água no solo e também, para o crescimento e desenvolvimento radicular das culturas.

A adoção de diferentes métodos para avaliação das condições estruturais do solo é de suma importância, principalmente para quantificar a sustentabilidade de cada sistema de uso e manejo. Usualmente os parâmetros utilizados para quantificar as condições estruturais do solo são porosidade, densidade do solo e resistência mecânica a penetração. Recentemente Dexter (2003) propôs o índice S, o qual leva em consideração a umidade do solo em diferentes potências matriciais. Segundo Andrade et al. (2008) a declividade do índice S é regida, principalmente pela porosidade macroestrutural, poros entre fendas e bioporos portanto o índice S influencia diretamente muitos dos atributos físicos do solo. O índice S é de grande relevância para os estudos da qualidade do solo, principalmente pela possibilidade de ser usado em avaliações para o comparativo entre o manejo e a qualidade física, outro fator que contribui, é facilidade de mensuração, pois utiliza equipamentos e equações que são rotineiramente empregadas nos laboratórios de física do solo (ARATANI et. al., 2009).

O objetivo desse trabalho foi avaliar as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho manejado sob sistema de plantio direto contínuo, sistema plantio direto escarificado, sistema plantio direto escarificado com gradagem, sistema plantio direto com integração lavoura pecuária e mata nativa.

### **3.4 Material e Métodos**

A área em estudo localiza-se no município de Santo Antônio do Planalto- RS, na região do planalto médio rio-grandense, micro região Alto – Jacuí. Latitude 28°24' Sul e longitude 52°41' Oeste e altitude de 516 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico argiloso (SANTOS et. al., 2006). O Clima, segundo a classificação de Köppen, (Cfa) é subtropical úmido com precipitação e temperatura média anual de 1.560 mm e 19,3°C (MORENO, 1961), respectivamente. Os sistemas analisados foram: i) sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP); ii) sistema plantio direto contínuo (SPD), por um

período superior a 15 anos; iii) sistema plantio direto escarificado (SPD+E); iv), sistema plantio direto escarificado com uma gradagem (SPD+E+G) e; v) Mata nativa (MATA).

A escarificação foi realizada com subsolador de 7 hastes, espaçadas 0,30 m entre si, com ação média de 0,30 m de profundidade. A gradagem foi realizada com grade de ação leve, até 0,10 m de profundidade.

Foram realizadas duas coletas de solos para determinação das condições físicas do solo, sendo que a primeira coleta foi realizada dois meses após as operações de escarificação e a gradagem, e a segunda, 320 dias após esses manejos. Para a determinação da taxa de infiltração e infiltração acumulada de água no solo foi utilizada a metodologia dos anéis concêntricos. Foram dois anéis sendo um maior com 0,30 metros de diâmetro e 0,10 metros de altura, e um anel menor com 0,20 metros de diâmetro e 0,15 metros de altura, cravados no solo de forma concêntrica. O anel interno cravado até uma profundidade de 0,10 metros e o externo à 5 metros, a lâmina de água mantida nos anéis foi de 0,03 metros, com oscilação máxima de 0,005 metros, procedimento adaptado a partir de metodologia proposta por de Bernardo et. al. (2008). As leituras foram realizadas nos tempos de 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 minutos. Sendo que decorrido os 120 minutos, assumiu-se que foi alcançada a taxa de infiltração constante. Foram coletadas amostras para a determinação de umidade do solo no momento da avaliação.

Ajustou-se os parâmetros  $n$  e  $k$  da equação de Kostiakov (1932), a partir dos dados obtidos da lâmina de água acumulada (Equação 1) em função do tempo ( $t$ ). Para a obtenção da taxa de infiltração foi realizada a derivação da equação da infiltração acumulada em função do tempo ( $TI=dI/dt$ ), a partir dai obteve-se a equação 2.

$$I=k.t^n \quad \text{Eq. 1}$$

$$TI=k.n.t^{n-1} \quad \text{Eq. 2}$$

As curvas de retenção de água no solo foram determinadas a partir de amostras indeformadas e deformadas coletadas em seis camadas (0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m). As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. A inserção dos anéis volumétricos no solo foi realizada de maneira manual, com a utilização de um extrator e um martelo pedológico. A curva característica de retenção de água no solo foi determinada submetendo as amostras a tensões -2; -6; -33 e -100 kPa, em câmaras de pressão de Richards com placa porosa (EMBRAPA, 1997). Os pontos de -500; -800; -1.000 e -1.500 kPa foram

determinados a partir de medidas de água no solo obtidas em um psicrômetro de ponto de orvalho (“dew point potentiometer”- WP4) da Decagon a partir das amostras deformadas, peneiradas em malha de 2 mm. Ajustou-se a equação proposta por van Genuchten (VAN GENUCHTEN, 1980) considerando m independente de n com umidade residual e umidade de saturação fixas. (Eq.3) utilizando o programa computacional SWRC, versão 2.0 (DOURADO NETO et al., 2000).

$$\theta = \theta_{res} + \frac{(\theta_{sat} - \theta_{res})}{[1 + (\alpha\psi)^n]^{-m}} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que  $\theta$  = conteúdo de água no solo ( $m^3 m^{-3}$ ),  $\theta_{sat}$  = conteúdo de água na condição de solo saturado ( $m^3 m^{-3}$ ),  $\theta_{res}$  = conteúdo de água do solo ( $m^3 m^{-3}$ ) na tensão de -1.500 kPa,  $\psi$  = potencial mátrico da água no solo (kPa) e a, m, n = parâmetros empíricos da equação, para o ajuste de equação foi considerado m independente de n.

A umidade na capacidade de campo foi determinada a partir da equação de van Genuchten ajustada, considerando um potencial de -6 kPa e o ponto de murcha permanente um potencial de -1.500 kPa.

O índice S (DEXTER, 2003) foi determinado pela inclinação da reta traçada tangencialmente ao ponto de inflexão da curva de retenção de água, para a determinação do índice S foi utilizada a equação 4, a qual utiliza os parâmetros obtidos no ajuste realizado pela equação de van Genuchten (Equação 3).

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{(m-1)} \quad \text{Eq. 4}$$

### 3.5 Resultados e Discussão

A taxa de infiltração inicial de água no solo apresentou uma amplitude de 5.060 mm hora<sup>-1</sup>, sendo que o menor valor foi de 140 mm hora<sup>-1</sup> no sistema com Integração Lavoura-Pecuária e a maior 5.200 mm hora<sup>-1</sup> na MATA (Figura 1). Tal amplitude indica a capacidade de infiltração de água destes solos e que, quando mal manejados podem diminuir em mais de 30 vezes a sua capacidade de infiltração inicial de água (LUCIANO et. al., 2010; ARAÚJO et. al., 2007). No momento da determinação da taxa de infiltração de água no solo, a umidade

gravimétrica média na primeira coleta era de  $0,23 \text{ g g}^{-1}$  nos 4 manejos, e de  $0,32 \text{ g g}^{-1}$  na MATA, e na segunda coleta de  $0,26 \text{ g g}^{-1}$  nos 4 manejos e na MATA de  $0,30 \text{ g g}^{-1}$ .

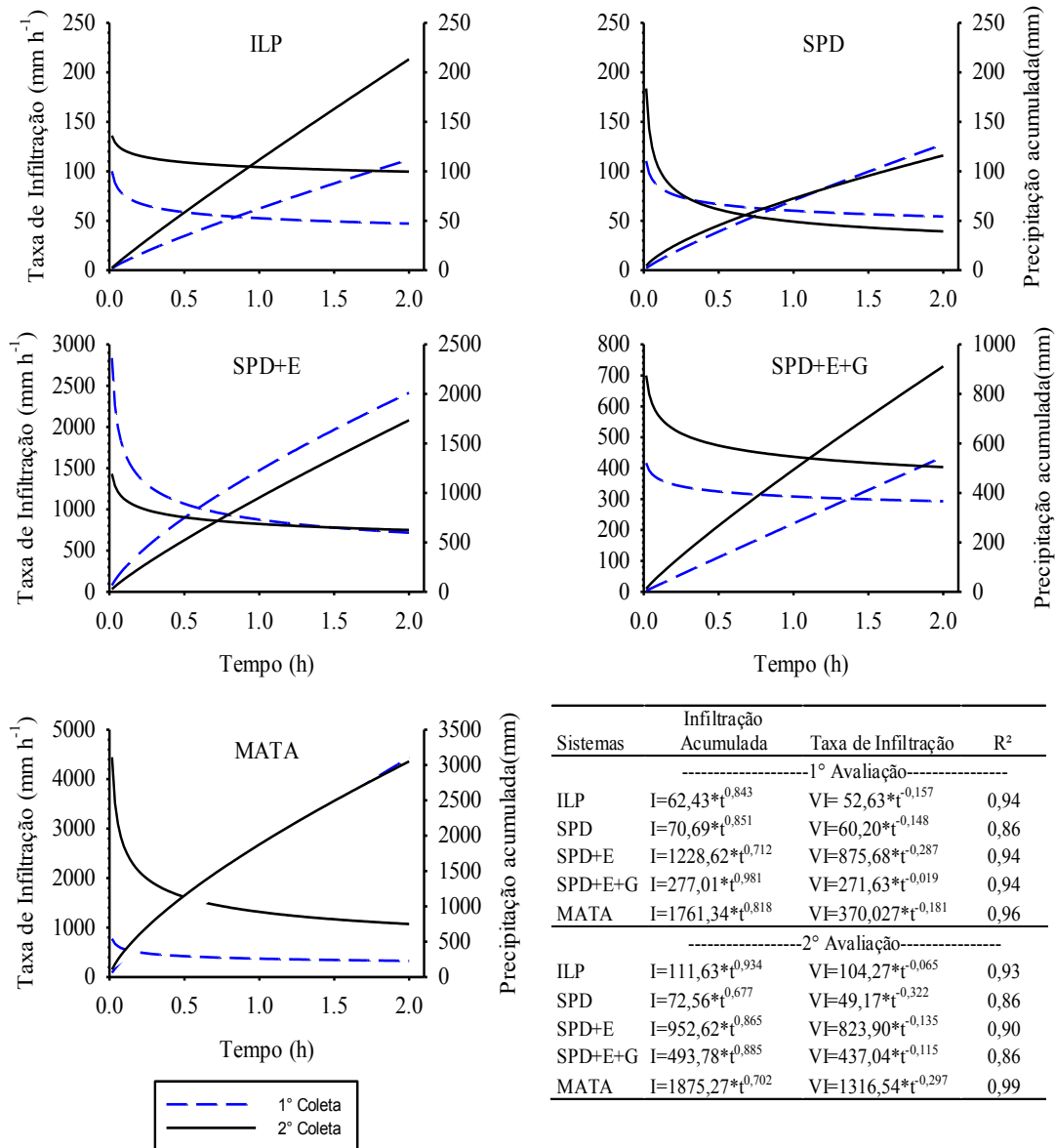


Figura 1. Curvas ajustadas da taxa de infiltração e infiltração acumulada média da água no solo sob sistema de plantio direto (SPD), sistema plantio direto escarificado (SPD+E), sistema plantio direto escarificado com gradagem (SPD+E+G), sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP) e mata nativa (MATA).

Os sistemas SPD+E e MATA apresentaram os maiores valores de taxa de infiltração inicial para as avaliações realizadas. Em condições naturais (MATA), este tipo de solo apresenta elevados valores de infiltração de água por possuir uma condição de solo mais estruturado com poros em maior número e com uma maior continuidade, quando comparada com os sistemas de uso e manejo do solo. Outro fator que contribuiu para a MATA apresentar elevados valores de infiltração é a serrapilheira e a cobertura florestal que interceptam as

gotas da chuva e protegem a superfície do solo do selamento superficial e manutenção da porosidade, facilitando a entrada de água para maiores profundidades (COSTENARO et al., 2009).

No sistema SPD+E os maiores valores de infiltração, encontrados na primeira avaliação, estão associados à redução do estado de compactação do solo, promovida pelas hastes do escarificador. Na segunda avaliação o sistema SPD+E apresentou valores inferiores ao da primeira, isso devido, principalmente, ao tempo para a realocação das partículas.

Girardello et al. (2011) observaram que a prática da escarificação contribui para o aumento da taxa de infiltração de água em um Latossolo Vermelho distrófico, tanto 14 dias após a operação quanto após a colheita da soja, cerca de 170 dias após o revolvimento do solo. Drescher et al. (2011) constatou melhoria nas condições físicas do solo no sistema plantio direto com escarificação, em até dois anos meses após a realização da escarificação. Vieira & Klein (2007) constataram que os efeitos da escarificação em Latossolo Vermelho podem perdurar por até 24 meses, melhorando as condições de solo para a infiltração de água e ao crescimento radicular.

O sistema SPD+E+G apresentou menores valores de infiltração, se comparado com o SPD+E e com a MATA, isto é devido ao fato da gradagem promover uma pulverização do solo, favorecendo o rearranjo das partículas e a ocorrência de selamento superficial com a obstrução de poros (RODRIGUES et al., 2011). Outro fator que contribuiu para diminuir a taxa de infiltração de água nesse sistema, é que a operação de gradagem gera mais um evento de tráfego do trator sobre uma condição de solo suscetível a recompactação. Tormena et al. (2002) encontraram menores valores de macroporosidade na camada superficial após a realização da gradagem em sistema plantio direto escarificado.

Os sistemas de ILP e SPD contínuo apresentaram os menores valores de infiltração de água, evidenciando o maior estado de compactação, provocado por um histórico de mais de 15 anos sem revolvimento do solo, com tráfego intenso de máquinas e pisoteio animal sem o controle da umidade do solo. Collares et al. (2011) verificaram resultados semelhantes em um Latossolo argiloso.

Comparando as duas épocas de avaliação da infiltração de água, o sistema ILP apresentou valores mais elevados na segunda avaliação em comparação com a primeira. Esse resultado era esperado, pois a primeira avaliação foi realizada logo após o pastejo. A segunda avaliação foi realizada após a colheita da cultura da soja, permitindo dessa forma, uma leve recuperação da estrutura do solo durante os meses sem a ação do pisoteio animal e da decomposição dos resíduos vegetais e sistema radicular da forrageira utilizada para o pastejo

dos animais. Resultados semelhantes foram encontrados por Zwirtes et al. (2011), onde as áreas com pastejo bovino apresentam uma taxa de infiltração reduzida, em comparação a sistemas onde é realizado cultivo de grãos. Luciano et. al. (2010), relataram que a velocidade de infiltração esta diretamente ligada à quantidade de macroporos existente no solo.

A retenção de água foi diferenciada nos sistemas de uso e manejo e nas camadas, indicando que o uso e o manejo do solo influenciaram o conteúdo de água retido nas diferentes tensões (Figura 2). Souza et al. (2009) e Figueiredo et al. (2009) encontraram redução na porosidade total e macroporosidade, respectivamente, no sistema integração lavoura pecuária comparada ao sistema plantio direto e preparo convencional.

Em todas as camadas de todos os tratamentos se observou redução gradual no conteúdo de água com o aumento da tensão aplicada. Isso demonstra que há uma distribuição uniforme nos tamanhos dos poros, proporcionando uma adsorção de maior conteúdo de água e um decréscimo mais gradual da umidade do solo com aumento da tensão.

Na camada superficial (0,00-0,05 m) e nos menores potenciais próximos à capacidade de campo, é possível observar que a MATA apresentou o maior volume de água retida, na primeira e na segunda coleta. Este maior volume de água está associado ao maior aporte de material orgânico, a porosidade existente nas camadas superficiais e a agregação do solo, que contribuem para retenção e armazenamento de água. Confirmando o efeito da estrutura do solo, cobertura vegetal e teor de matéria orgânica, o sistema plantio direto continuo também apresentou uma grande quantidade de água retida na capacidade de campo. Silva et al. (2011) avaliando sistema plantio direto concluíram que este sistema com grande acúmulo de palhada contribuiu para minimizar os efeitos da compactação, principalmente na camada superficial.

Os menores valores de umidade encontrados na capacidade de campo foram nos sistemas ILP e SPD+E+G. Essa baixa quantidade de água retida no sistema SPD+E+G se deve ao revolvimento do solo provocar uma desestruturação do solo, e gerar uma quantidade maior de macroporos, esses não possuem capacidade de reter água, apenas transmitem água da superfície para camadas inferiores, como foi discutido na Figura 1. No sistema ILP, ao contrario do sistema SPD+E+G, a baixa retenção está vinculada a baixa porosidade dessa camada, sendo que esta além de apresentar uma baixa retenção também apresentou reduzida taxa de infiltração de água (Figura 1).

Para a profundidade de 0,00-0,05 m, os tratamentos ILP e SPD foram os que apresentaram valores mais elevados de água retida no ponto de murcha permanente, evidenciando maior estado de compactação, pois apesar de haver elevado volume de água

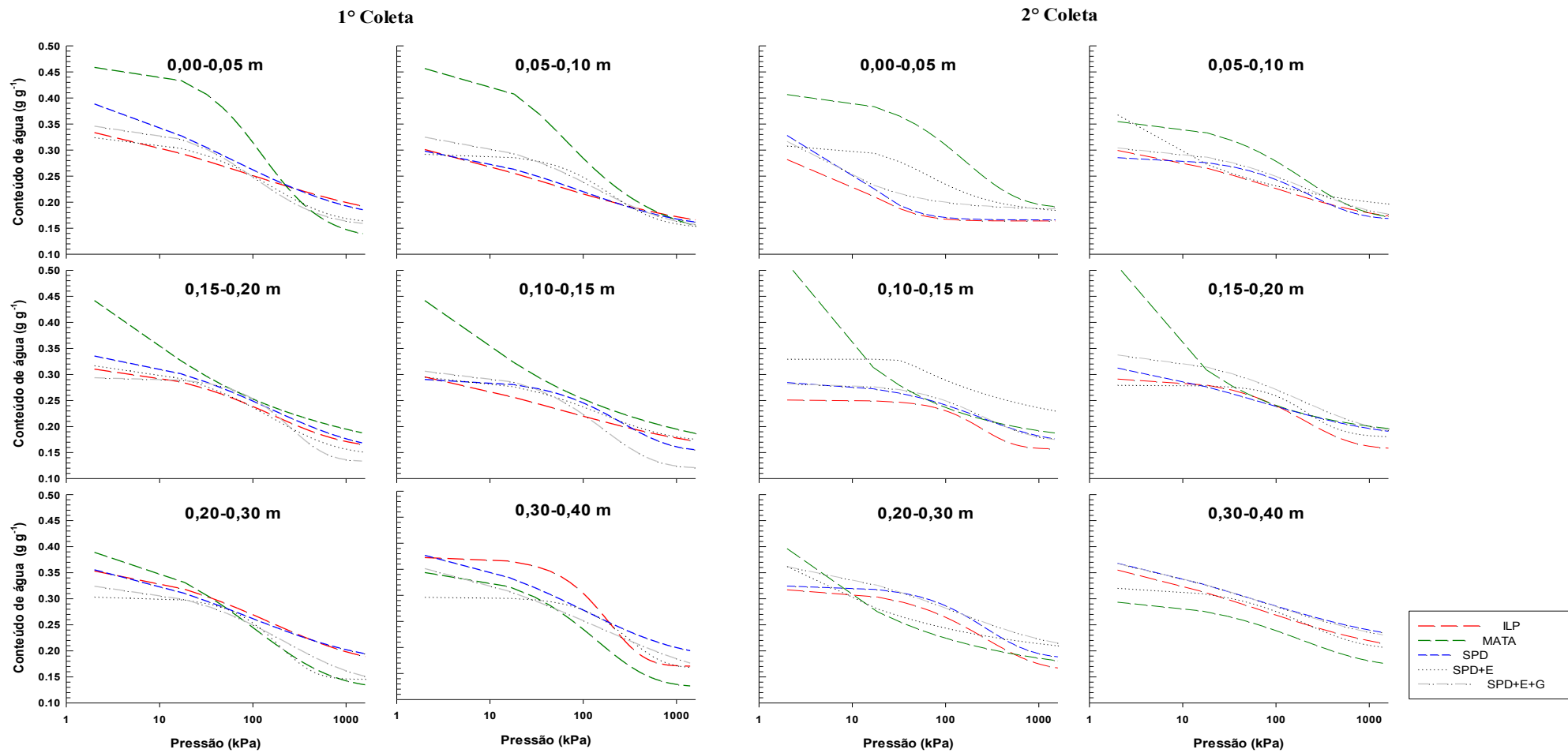


Figura 2. Curvas de retenção de água em um Latosolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, em seis profundidades. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013.



Tabela1. Valores de Umidade na capacidade campo, ponto de murcha permanente e água disponível e de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto - RS, 2013.

-----1° Coleta-----															
Profundidade (m)	MATA	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G	MATA	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G	MATA	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G
	-----Capacidade De Campo ( $m^3 m^{-3}$ )*-----					--Ponto de Murcha Permanente ( $m^3 m^{-3}$ )*--					-----Água Disponível ( $m^3 m^{-3}$ )-----				
0,00-0,05	0,45	0,31	0,36	0,32	0,34	0,14	0,19	0,19	0,16	0,16	0,31	0,12	0,18	0,15	0,18
0,05-0,10	0,40	0,28	0,28	0,29	0,31	0,15	0,17	0,16	0,15	0,16	0,29	0,11	0,12	0,14	0,16
0,10-0,15	0,39	0,28	0,28	0,29	0,30	0,19	0,17	0,16	0,18	0,12	0,20	0,10	0,13	0,11	0,18
0,15-0,20	0,39	0,30	0,32	0,31	0,29	0,17	0,17	0,17	0,15	0,13	0,22	0,14	0,15	0,16	0,16
0,20-0,30	0,37	0,34	0,34	0,30	0,31	0,14	0,19	0,19	0,15	0,15	0,23	0,15	0,14	0,16	0,16
0,30-0,40	0,33	0,33	0,36	0,30	0,33	0,13	0,16	0,19	0,16	0,17	0,21	0,21	0,17	0,13	0,16
-----2° Coleta-----															
0,00-0,05	0,40	0,25	0,29	0,31	0,27	0,19	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,09	0,12	0,12	0,08
0,05-0,10	0,35	0,28	0,28	0,31	0,30	0,17	0,17	0,17	0,20	0,18	0,18	0,11	0,11	0,12	0,12
0,10-0,15	0,39	0,25	0,28	0,33	0,28	0,19	0,16	0,18	0,23	0,17	0,20	0,09	0,10	0,10	0,11
0,15-0,20	0,39	0,29	0,30	0,28	0,33	0,20	0,16	0,19	0,18	0,19	0,19	0,13	0,10	0,10	0,14
0,20-0,30	0,33	0,31	0,32	0,32	0,35	0,18	0,17	0,19	0,21	0,22	0,15	0,15	0,13	0,11	0,13
0,30-0,40	0,29	0,33	0,35	0,32	0,35	0,17	0,21	0,23	0,21	0,23	0,11	0,12	0,11	0,11	0,12

\*capacidade de campo determinada a uma tensão de -6 kPa e ponto de murcha permanente -1.500 kPa.

armazenada, a mesma se encontra em um potencial muito baixo, muitas vezes indisponível há algumas espécies de plantas (CARDUCCI et. al., 2011). Dentre os sistemas de uso agrícolas avaliados, na camada de 0,00-0,05 m, os sistemas SPD e SPD+E+G foram os que apresentaram maior quantidade de água disponível (Tabela 1), na primeira coleta. Já para a segunda coleta os sistemas de uso e manejo que apresentaram maior armazenamento de água foram SPD e SPD+E. O sistema ILP apresentou os menores valores de água disponível na primeira coleta. Todos os sistemas de uso e manejo apresentaram grande decréscimo nos valores de água disponível, resultado do grande tráfego de máquinas que ocorre durante o ciclo da cultura.

Nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, novamente a MATA apresentou maior quantidade de água retida na tensão referente à capacidade de campo, isso por essas camadas ainda sofrerem grande interferência da serrapilheira. Já os demais tratamentos tiveram comportamento bastante semelhante, com exceção do sistema SPD+E na segunda coleta, que apresentou valores um pouco mais acentuados quanto à água retida na capacidade de campo. Isso demonstra que a mobilização do solo, em primeiro momento não se identifica grandes benefícios quanto à retenção de água, porém em um segundo momento, quando há tempo para o rearranjo das partículas e uma reestruturação do solo, a escarificação traz efeitos benéficos à retenção de água. Na primeira avaliação, a quantidade de água retida no ponto de murcha permanente, os sistemas de uso e manejo do solo praticamente não se diferenciaram, com exceção do sistema SPD+E+G que apresentou os menores valores de água disponível. Segundo Carvalho et al. (2011) o efeito da gradagem que reduz o estado de compactação, aumenta o número e tamanho dos poros nas camadas superficiais (0,00-0,20 m).

As curvas características de retenção de água são semelhantes nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m, porém a quantidade de água disponível teve resposta diferenciada. Na primeira coleta os sistemas ILP e SPD apresentaram os menores valores de água disponível, resultado do pisoteio animal e do tráfego de máquinas que geram compactação em subsuperfície. Os baixos valores encontrados nos sistemas de uso agrícola na segunda coleta, na camada de 0,10-0,15 m, evidenciam que há a formação de uma camada compactada em subsuperfície. Secco et al. (2009) avaliando sistema de plantio direto verificaram que a zona de maior compactação é na profundidade de 0,07 a 0,12 m.

Na camada de 0,15-0,20 m o tratamento SPD+E+G apresentou maiores valores de umidade na capacidade de campo, resquícios da formação do “pé-de-grade”, que promove a redução na porosidade de áreação e aumento do número de microporos, responsáveis pelo armazenamento de água. Os demais tratamentos praticamente não se diferenciaram entre si.

Nas camadas mais profundas (0,20-0,30 e 0,30-0,40 m), o efeito do manejo sobre as propriedades físicas é menos pronunciado. Ao observarmos essas profundidades verificamos comportamento semelhante dos tratamentos que, com o aumento gradativo do potencial aplicado há um decréscimo na umidade.

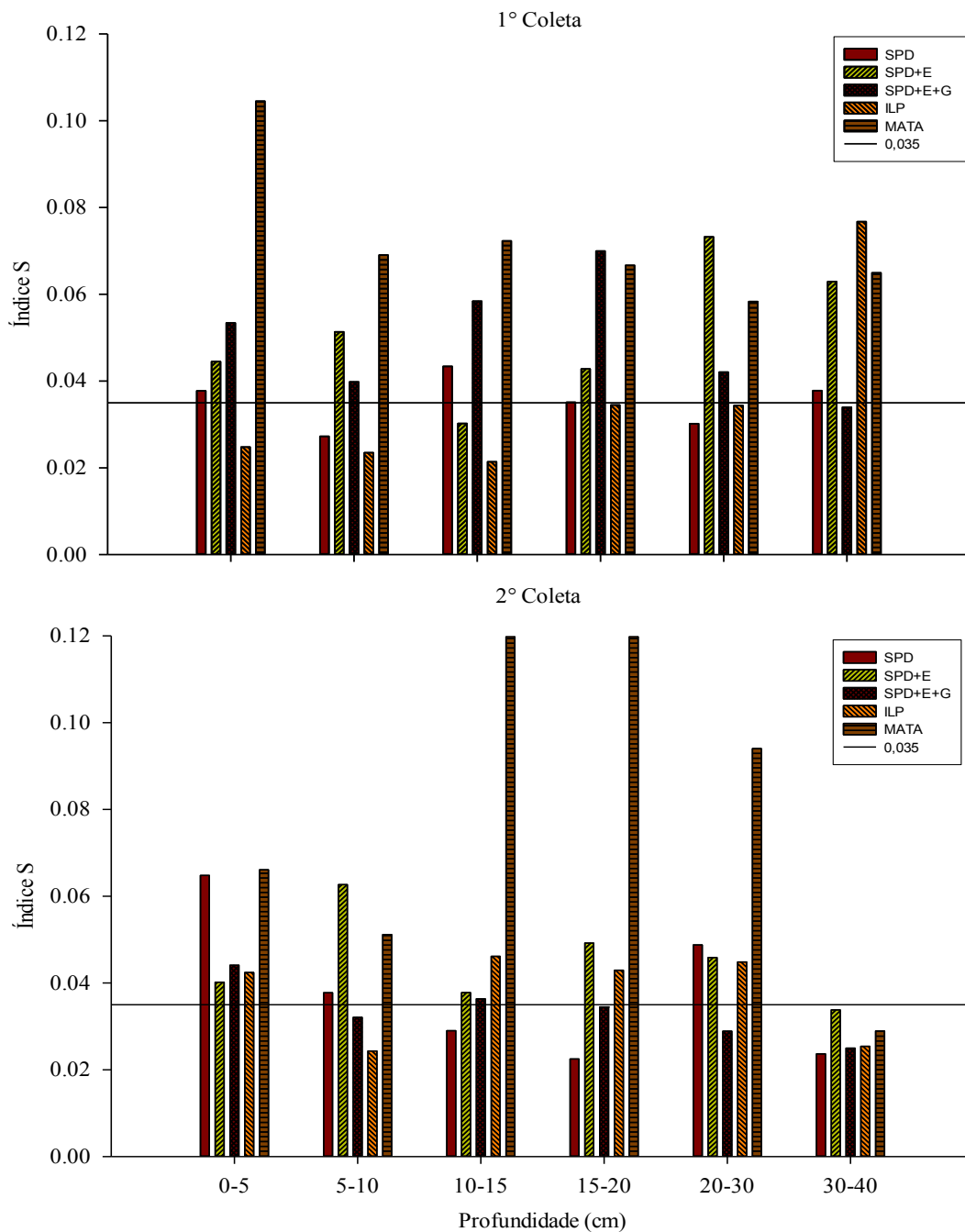


Figura 3. Valores do Índice S em sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP), sistema plantio direto (SPD), Sistema Plantio Direto escarificado (SPD+E), Sistema Plantio Direto escarificado com gradagem (SPD+E+G) e Mata

nativa (MATA) em um Latossolo Vermelho. Linha horizontal indica valor ideal do índice S, proposto por Dexter. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013.

O índice S foi proposto por Dexter (2003) para avaliar a qualidade estrutural do solo para o desenvolvimento de plantas. Em seus estudos, verificou que valores superiores a 0,035 condiziam a solos com melhores condições estruturais. Freddi et al. (2009) relatam que o índice S apresenta correlação positiva com a produtividade de milho, valores abaixo de 0,035 acarretam em perdas acentuadas na produtividade da cultura. Neste estudo, somente o sistema ILP apresentou valor do índice S inferior a 0,035 na camada superficial. Estando de acordo com os demais parâmetros avaliados, que mostraram que esse sistema se encontra em um maior estado de compactação nessa camada. Na segunda coleta, nessa mesma camada, todos os sistemas de uso e manejo apresentam valores acima do considerado adequado, mais uma vez evidenciando que o sistema ILP foi capaz de recuperar suas condições físicas nesse período sem pisoteio animal.

Na camada de 0,05-0,10 m, na primeira avaliação os sistemas ILP e SPD possuíam valores abaixo do considerado ideal. Figueiredo et al. (2009) relatam que o sistema de integração lavoura pecuária acarreta em uma maior compactação em subsuperfície. O sistema SPD+E, na primeira coleta, apresentou valores do índice S abaixo do considerado como ideal na camada de 0,10-0,15 m, provavelmente devido á coleta ter sido realizada em um período muito curto após o revolvimento, não havendo tempo para que houvesse uma reestruturação do solo e melhoria nas condições estruturais. Já o baixo valor verificado no sistema ILP esta relacionado ao pisoteio animal possuir efeito pronunciado até essa profundidade. Lanzasova et al. (2007) avaliando a integração lavoura pecuária, observaram efeito do pisoteio animal sobre a macroporosidade e porosidade total, até a profundidade de 0,15 m e sobre a resistência a penetração até a profundidade de 0,20 m.

Decorrido o ciclo da cultura da soja, período sem pisoteio animal, houve aumento no valor do índice S para o sistema ILP, ficando superior ao considerado limitante. No sistema SPD+E também houve aumento do valor do índice S, resultado do período decorrido entre a pratica de escarificação e a coleta, tempo suficiente para realocação das partículas e a reestruturação do solo. Na segunda coleta foi possível observar o efeito compactante em subsuperfície do sistema SPD, sendo que este foi o único sistema que apresentou o índice abaixo do considerado limitante nessa camada. Tavares & Tessier (2009) relatam o sistema plantio direto acarreta em compactação em subsuperfície, resultando numa redução da quantidade de macroporos.

Na primeira coleta, para a camada de 0,15-0,20 m, todos os tratamentos alcançaram o valor mínimo do índice S. Para a segunda coleta o sistema SPD apresentou valores limitantes, resultado provável seja o efeito somatório de cargas geradas pelo tráfego de máquinas, muitas vezes em condição de umidade inadequada, que acaba por gerar zonas de compactação em subsuperfície, reduzindo a qualidade estrutural do solo.

Para a profundidade de 0,20-0,30 m, na segunda coleta, evidenciou a formação do pé-de-grade, evidenciado pela redução dos valores do índice S nessa camada. Castro et al. (2010) encontraram aumento nos valores de densidade do solo em sistema de cultivo convencional, e também atribuíram esse efeito a gradagem.

### 3.6 Conclusão

A MATA apresenta as maiores taxas de infiltração de água e maior disponibilidade de água.

A escarificação rompe camadas compactadas, favorecendo a infiltração de água no solo, a disponibilidade de água além de causar incrementos no valor do índice S.

Os sistemas integração lavoura pecuária e sistema plantio direto, a mais de 15 anos sem revolvimento apresentam maior estado de compactação, evidenciado pela baixa taxa de infiltração, disponibilidade de água e valores de índice S reduzidos em zonas sub superficiais.

O sistema plantio direto e a integração lavoura pecuária acarretaram em uma redução de mais de 6 vezes na velocidade básica de infiltração, na primeira avaliação, na segunda avaliação o sistema plantio direto acarretou em uma redução de 27 vezes e a integração lavoura pecuária de 10 vezes.

### 3.7 Referências Bibliográficas

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade Física de um Latossolo Vermelho Acriférrico Sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, P. C. Qualidade de um Solo Sob Diferentes Usos e Sob Cerrado Nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos Atributos Físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico Sob Sistema Plantio Direto, Preparo Convencional e Mata Nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.515-522, 2005.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8ª ed. Viçosa: UFV. 2008. 625 p.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A.; NANNI, M. R.; GOMES, E. P.; MÜLLER, M. M. L.. Infiltração de água no solo em um Latossolo Vermelho da Região Sudoeste dos Cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1845-1853, 2012.

CASTRO, O. M.; MIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M.. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob diferentes sistemas de manejo. **Bragantia**, Campinas, v.69, p.433-443, 2010.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da Curva de Retenção de Água de Latossolos Utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.77-86, 2011.

CARVALHO, L. A.; JUNIOR, C. A. S.; NUNES, W. A. G. A.; MEURER, I.; JÚNIOR, W. S. S. Produtividade e Viabilidade Econômica da Cana-De-Açúcar em Diferentes Sistemas de Preparo do Solo no Centro-Oeste Do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**. p. 199-211. 2011.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação Superficial de Latossolos sob Integração Lavoura – Pecuária de Leite no Noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, p.246-250, 2011.

COSTENARO, T. C.; MAFFIA, V. P.; DIAS, H. C. T. Capacidade de Infiltração de Água no Solo em um Fragmento de Mata Atlântica no Município de Viçosa, MG. **Anais II Taubaté, Brasil**, p. 149-156. 2009.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do Efeito de Intervenções Mecânicas Para a Descompactação de Solos Sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.35, p.1713-1722, 2011.

DEXTER, A.R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Institute of Soil Science and Plant Cultivation (IUNG)**. Pulawy, V.8, p.24-100, 2003.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.. Software to model soil water retention curves (**SWRC**, version 2.00). *Scientia Agricola*, v.57, p.191-192, 2000.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1997. 212 p.

FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L.; JÚNIOR, J. A. Propriedades Físico-Hídricas em Latossolo do Cerrado sob Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, p.146–151, 2009.

FILHO, J. T.; TESSIER, D. Characterization Of Soil Structure And Porosity Under Long-Term Conventional Tillage And No-Tillage Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.33, p.1837-1844, 2009.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; LEONEL, C. L. Compactação do Solo e Produção de Cultivares de Milho em Latossolo Vermelho. I – Características de Planta, Solo e Índice S. **Revista Brasileira de. Ciência do Solo**, v.33, p.793-803, 2009.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; MASTRÂNGELLO, E. L.. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2115-2126, 2011.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867, 2002.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB.v.10, p.646–650, 2006.

Kostiakov, A. N. 1932. “On the dynamics of the coefficients of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purpose of amelioration.” Transactions of the 6<sup>th</sup> Communication of the Int. **Society of Soil Sciences**, Part A: 17–21.

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

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A.. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.9, p. 09-19, 2010.

MORENO, J. A.. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, **Seção de Geografia**, 1961, 38p.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A.. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy Maringá**, v.28, p. 129-137, 2006.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração De Água No Solo Sob Escarificação E Rotação De Culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.693-700, 2010.

RODRIGUES, J. G. L.; FERNANDES, J. C.; NASCIMENTO, F. M.; GAMERO, C. A.; BICUDO, S. J.. Caracterização física do solo e desempenho operacional de máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, p. 1813-1824, 2011.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.211-216, 1988.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.58-64, 2009.

SCHEER, M. B.; CURCIO, G. R.; RODERJAN, C. V.; Funcionalidades Ambientais de Solos Altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.35, p.1113-1126, 2011.



SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T; GONÇALVES, M. C. Aporte de Fitomassa pelas Sucessões de Culturas e Sua Influência em Atributos Físicos do Solo no Sistema Plantio Direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p.147-156, 2011.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.. Movimento De Água E Resistência A Penetração Em Um Latossolo Vermelho distrófico De Cerrado, Sob Diferentes Usos E Manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p.18-23, 2003.

SOUZA, C. H. E.; LOURENÇÃO, W.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SAFATLE, T. C.; SOARES, I. A. P.; FIGUEIREDO, C. C. Alterações das Propriedades Físicas do Solo do Cerrado Sob Sistemas de Manejo na Região do Alto Paranaíba – MG. **Revista da FZVA**.Uruguaiana, v.16, p. 255-264. 2009.

TORMENA, C. A.; Barbosa, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONSALVES, A. C. A.. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, p.795-801, 2002.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades Físico-Hídricas de um Latossolo Vermelho Submetido a Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1271-1280, 2007.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; ROHR, M. R.; MENEGOL, D. R.. Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** , v.4, p.51-66, 2011.

## Apêndices

Apêndice A. Parâmetros do ajuste dos pontos experimentais da curva de retenção de água no solo à equação de Van Genhuchten e água disponível de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013.

-----1° Coleta-----						
Profundidade (m)	$\alpha$	m	n	$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	R <sup>2</sup>
-----ILP-----						
0,00-0,05	0,0003	34,719	0,3417	0,161	0,386	0,80
0,05-0,10	0,0003	40,678	0,3151	0,145	0,372	0,75
0,10-0,15	0,0003	38,199	0,3264	0,150	0,351	0,79
0,15-0,20	0,0005	50,281	0,6352	0,158	0,320	0,88
0,20-0,30	0,0004	42,165	0,5190	0,172	0,373	0,61
0,30-0,40	0,0014	58,688	13,463	0,164	0,332	0,88
-----MATA-----						
0,00-0,05	0,0069	11,745	12,013	0,129	0,461	0,72
0,05-0,10	0,028	0,4745	12,494	0,119	0,413	0,82
0,10-0,15	0,3598	0,0187	131,389	0,119	0,442	0,90
0,15-0,20	0,0042	21,835	0,8928	0,165	0,413	0,79
0,20-0,30	0,0006	5,3070	0,6036	0,127	0,414	0,93
0,30-0,40	0,0008	63,344	0,842	0,124	0,350	0,88
-----SPD-----						
0,00-0,05	0,0002	55,214	0,3854	0,166	0,456	0,76
0,05-0,10	0,0004	46,695	0,4792	0,151	0,322	0,85
0,10-0,15	0,0006	56,137	0,9229	0,152	0,291	0,74
0,15-0,20	0,0004	42,303	0,5170	0,150	0,356	0,80
0,20-0,30	0,0004	40,238	0,4164	0,175	0,396	0,88
0,30-0,40	0,0004	48,924	0,4982	0,179	0,406	0,86
-----SPD+E-----						
0,00-0,05	0,0005	6,8060	0,7720	0,162	0,330	0,84
0,05-0,10	0,0035	16,305	12,722	0,151	0,293	0,91
0,10-0,15	0,0014	31,084	0,7313	0,171	0,301	0,88
0,15-0,20	0,0007	4,8740	0,7154	0,146	0,325	0,86
0,20-0,30	0,0018	44,387	13,992	0,146	0,304	0,91
0,30-0,40	0,0012	40,946	14,085	0,161	0,297	0,74
-----SPD+E+G-----						
0,00-0,05	0,0059	15,452	0,9655	0,153	0,350	0,91
0,05-0,10	0,0005	54,197	0,6348	0,151	0,337	0,94
0,10-0,15	0,0005	88,909	0,8823	0,120	0,310	0,94
0,15-0,20	0,0011	52,047	12,932	0,133	0,294	0,88
0,20-0,30	0,0005	41,281	0,6493	0,136	0,333	0,79
0,30-0,40	0,0003	34,568	0,3932	0,128	0,396	0,68

Apêndice B. Parâmetros do ajuste dos pontos experimentais da curva de retenção de água no solo à equação de Van Genhuchten e água disponível de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto-RS, 2013.

-----2° Coleta-----						
Profundidade (m)	$\alpha$	m	n	$\theta_{res}$	$\theta_{sat}$	R <sup>2</sup>
-----ILP-----						
0,00-0,05	0,025	29,755	0,9724	0,164	0,302	0,76
0,05-0,10	0,0004	44,201	0,4479	0,162	0,326	0,78
0,10-0,15	0,0018	34,971	15,214	0,157	0,251	0,77
0,15-0,20	0,0008	5,482	0,9355	0,157	0,293	0,86
0,20-0,30	0,0003	79,144	0,8198	0,162	0,32	0,93
0,30-0,40	0,0003	41,342	0,3579	0,192	0,408	0,83
-----MATA-----						
0,00-0,05	0,0010	50,063	0,8890	0,189	0,411	0,59
0,05-0,10	0,0005	59,573	0,7804	0,167	0,360	0,78
0,10-0,15	0,9011	0,0613	64,613	0,162	0,606	0,62
0,15-0,20	0,6210	0,0331	126,392	0,176	0,54	0,80
0,20-0,30	30,266	0,0881	33,932	0,147	0,574	0,62
0,30-0,40	0,0005	47,757	0,6571	0,168	0,300	0,92
-----SPD-----						
0,00-0,05	0,0660	14,086	13,249	0,166	0,344	0,61
0,05-0,10	0,0006	63,087	0,9225	0,167	0,287	0,89
0,10-0,15	0,0005	47,091	0,7319	0,169	0,288	0,81
0,15-0,20	0,0004	42,377	0,4014	0,178	0,348	0,76
0,20-0,30	0,0013	31,626	10,932	0,185	0,325	0,91
0,30-0,40	0,0003	39,873	0,3409	0,212	0,424	0,81
-----SPD+E-----						
0,00-0,05	0,0244	0,5159	15,723	0,178	0,309	0,79
0,05-0,10	17,940	0,0939	3,1700	0,170	0,460	0,68
0,10-0,15	0,5913	0,0299	97,090	0,181	0,330	0,82
0,15-0,20	0,0042	12,611	18,419	0,180	0,280	0,67
0,20-0,30	0,8275	0,0478	55,488	0,179	0,389	0,77
0,30-0,40	0,0006	56,116	0,8402	0,204	0,323	0,73
-----SPD+E+G-----						
0,00-0,05	0,3630	0,4706	1,419	0,185	0,351	0,63
0,05-0,10	0,0004	53,416	0,6802	0,170	0,31	0,82
0,10-0,15	0,0014	28,847	10,315	0,171	0,283	0,82
0,15-0,20	0,0005	44,606	0,6384	0,183	0,346	0,93
0,20-0,30	0,0004	39,766	0,4645	0,197	0,387	0,88
0,30-0,40	0,0001	58,527	0,3629	0,211	0,414	0,82

## 4. ARTIGO III

### RENDIMENTO DE SOJA EM UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO

#### 4.1 Resumo

A adoção de sistemas como plantio direto e integração lavoura pecuária acarretam em alterações na estrutura do solo, dessa forma torna-se fundamental realizar estudos sobre os efeitos de diferentes sistemas de uso e manejo na produtividade das culturas. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de uso e manejo na produtividade e nos componentes de rendimento da cultura da soja e nas variáveis químicas do solo. A cultura da soja foi implantada em uma área conduzida em quatro sistemas de uso e manejos, sendo eles: i) sistema plantio direto contínuo (SPD), ii) sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP). Essas áreas são conduzidas sob SPD a mais de 15 anos; iii) sistema plantio direto escarificado (SPD+E) e; iv) sistema plantio direto escarificado com gradagem (SPD+E+G). As práticas de escarificação e gradagem foram realizadas no período invernal, antes da semeadura da cultura de aveia. O Sistema plantio direto com grande aporte de palhada é eficaz para manter a alta produtividade das áreas. A intervenção mecânica proporciona ambiente mais propício para desenvolvimento de plantas, aumentando o número de nós por haste e número de nós produtivos por haste. Os sistemas de preparo do solo não acarretam em alterações nas propriedades químicas do solo.

**Palavras-chave:** Escarificação, Plantio Direto, Integração Lavoura Pecuária, Componentes de Rendimento.

#### 4.2 Abstract

The adoption of systems such as no-till farming and integration crop livestock lead changes in the soil structure thus becomes crucial to evaluate the influence of these management practices. The objective of this study was to evaluate the effect of different systems in productivity and yield components of soybean. Soybean was planted in an experiment conducted in four area managements systems, they were: i ) continuous no-tillage

(NT); ii ) tillage farming with integration crop livestock (ICL). These areas are conducted under this systems over 15 years; iii ) chisel plow tillage (T+CP) and iv ) tillage scarified with a harrowing (T+S+H). The practice of chiseling and harrowing were performed in the winter period before crop sowing oats. Tillage system with straw in high quantity is effective to maintain high productivity of the tillage. The intervention provides more conducive environment for plant growth, increasing the number of nodes per branch and number of nodes per branch productive. The tillage systems do not result in changes in soil chemical properties.

Keywords: Scarification, No-Tillage, Integration Crop Livestock, Yield Components.

### **4.3 Introdução**

A compactação do solo pode ser o responsável pela redução da produtividade de muitos sistemas de uso agrícolas. Em virtude de esta acarretar na redução do espaço poroso do solo, alteração na proporção macro e microporos, na continuidade dos poros, consequentemente em um menor fluxo e disponibilidade de água e nutrientes, também por solos com maior estado de compactação apresentam uma resistência ao crescimento radicular, havendo redução do espaço explorado pelas raízes.

O sistema plantio direto visa à conservação do solo por meio da manutenção da cobertura vegetal oriundo dos resíduos vegetais das culturas antecessoras, com mínimo revolvimento, contribuindo para que haja uma redução da perda de solo por processos erosivos, manutenção de matéria orgânica pela diminuição do revolvimento do solo e permanência de palha em superfície. Porém esse sistema, quando não bem conduzido, ou seja, pouco volume de material vegetal em cobertura, período invernal utilizado para produção pecuária com lotação animal demasiada e/ou tráfego de máquinas em condições inadequadas provocam danos a estrutura do solo e o surgimento de zonas de maior estado de compactação (PETEAN et al., 2010; ROSIM et al., 2012).

Na agricultura moderna os agricultores necessitam otimizar os rendimentos nas áreas agrícolas disponíveis e, neste cenário, a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) é uma alternativa para o período de outono e inverno no estado do RS. A ILP tem por objetivo a produção de grãos no período de verão e a produção pecuária (de carne ou leite) no período invernal. Entretanto, deve-se avaliar com extremo cuidado os efeitos gerados por esse sistema sobre as características do solo e a resposta das plantas em virtude da adoção desse sistema. Ferreira et

al. (2011) relatam que o sistema ILP não provocou redução na produtividade da cultura de verão, porém são diversos os trabalhos que indicam o contrário (CASTRO et al., 2009; NETO et al., 2013). As alterações geradas devido o efeito do pisoteio animal geraram perdas no rendimento das culturas agrícolas, provocadas pela redução da porosidade e aumento da densidade do solo (LAZANOVA et al., 2007).

Em áreas de cultivo intensivo onde há um maior estado compactação é verificado uma redução na infiltração de água, conseqüentemente o solo se torna mais propenso ao escoamento superficial e a processos erosivos, também há uma limitada disponibilidade de água e o fluxo de nutrientes é dificultado. Solos compactados apresentam uma maior resistência mecânica ao crescimento radicular, fazendo com que o sistema radicular se limite a camadas mais superficiais (BERGAMIN et al., 2010).

Em solos com elevado grau de compactação, Klein & Camara (2007) recomendam a intervenção mecânica para romper essas camadas compactadas. Segundo Reichert et al. (2009) a mobilização do solo pela lavração e pela escarificação reduz a densidade média do solo e aumenta sua porosidade total, também proporciona um maior crescimento de raízes secundárias. Porém a intervenção mecânica nem sempre contribui para incrementos na produtividade (COLLARES et al., 2008; SECCO et al., 2004).

Salvador et al. (2010) avaliando sistema de preparo do solo concluíram que o escarificador é o equipamento que necessita menor demanda energética. Porém, apesar de menor demanda, o consumo de combustível neste manejo é uma operação extra a ser realizada. Desta maneira, se faz necessária a avaliação minuciosa dos incrementos que essa prática traga à produtividade das culturas para decidir se essas operações são realmente necessárias.

Girardello et al. (2011) avaliando zonas de rendimento de áreas cultivadas com soja, verificaram que nas zonas de baixo rendimento apresentam também uma qualidade física inferior, maior densidade e menor porosidade. A redução da produtividade em sistema de plantio direto pode estar vinculada a compactação do solo acarretar em uma limitação do crescimento e desenvolvimento radicular.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do sistema plantio direto, sistema plantio direto escarificado, sistema plantio direto escarificado com gradagem e sistema plantio direto com integração lavoura pecuária na produtividade e nas componentes de rendimento da cultura da soja.

#### 4.4 Material e Métodos

A área em estudo localiza-se no município de Santo Antônio do Planalto- RS, no planalto médio rio-grandense, micro região Alto - Jacuí. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS et al., 2006). O Clima, segundo a classificação de Köppen, (Cfa) é subtropical úmido com precipitação e temperatura média anual de 1.560 mm e 19,3°C, (MORENO, 1961) respectivamente. A área experimental localiza-se geograficamente a latitude 28°24' Sul e longitude 52°41' Oeste e altitude de 516 m. Foram coletadas amostras deformadas nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m.

Foi implantada a cultura da soja em uma área conduzida em quatro sistemas de uso e manejos. Sendo que os mesmos consistem em: i) sistema plantio direto contínuo (SPD), ii) sistema plantio direto com integração lavoura pecuária (ILP). Essas áreas são conduzidas sob SPD a mais de 15 anos; iii) sistema plantio direto escarificado (SPD+E) e; iv) sistema plantio direto escarificado com gradagem (SPD+E+G). As praticas de escarificação e gradagem foram realizadas no período invernal, antes da sementeira da cultura de aveia.

A determinação da textura do solo foi pela metodologia da pipeta, após dispersão com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação mecânica no agitador horizontal, a uma frequência de 120 oscilações por minuto durante 4 horas, metodologia adaptada de Embrapa (1997).

Tabela 1. Valores médios do teor de argila, areia e silte do solo. Santo Antônio do Planalto, 2013.

Profundidade (m)	Argila	Silte	Areia	Textura
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			
0,00-0,05	0,39	0,42	0,17	Argilosa
0,05-0,10	0,49	0,34	0,17	Argilosa
0,10-0,20	0,47	0,41	0,11	Argilosa
0,20-0,30	0,47	0,39	0,14	Argilosa
0,30-0,40	0,45	0,41	0,14	Argilosa

Na figura 1 está representada a precipitação e a temperatura média diária durante o ciclo da cultura da soja. A precipitação acumulada durante o ciclo da cultura foi de 585 mm.

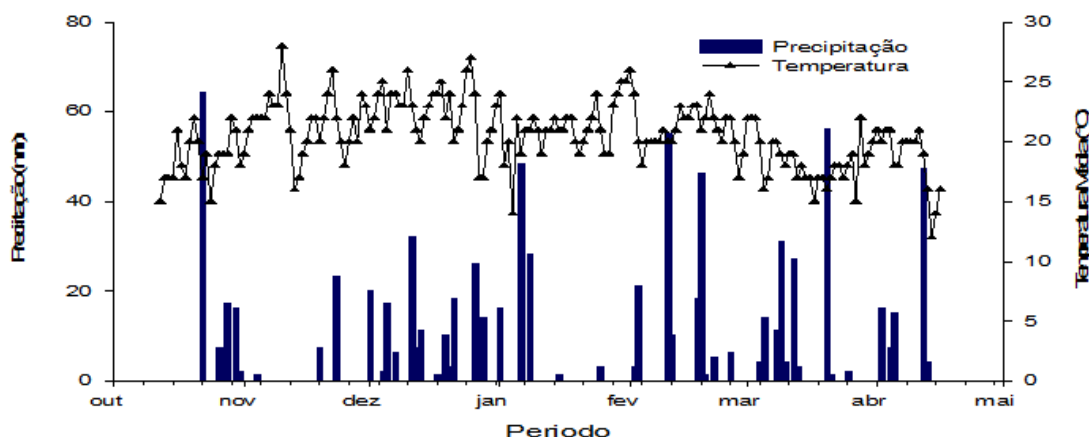


Figura 1. Precipitação e temperatura média no período de outubro 2012 a abril 2013. (INMET, 2013).

A implantação da cultura da soja foi realizada no dia 13 de outubro de 2012, utilizando uma semeadora mecanizada com 7 linhas, dotada de hastes sulcadoras com ação de até 0,15 m. O espaçamento foi de 0,45 m entre linhas, a adubação foi realizada na linha, com adubo mineral NPK 02-20-20, na proporção de 250 kg ha<sup>-1</sup>. A população foi de 300 mil plantas hectare<sup>-1</sup> da cultivar Nidera 5909, que possui habito de crescimento indeterminado, ciclo semi-precoce.

Para a determinação da produtividade e componentes de rendimento foram coletados dois metros lineares de plantas em 4 repetições. Foi realizada debulha manual e efetuada a pesagem para determinação da produtividade. O peso de mil grãos foi determinado segundo metodologia proposta pelas regras para análise de sementes (BRASIL, 2009). Para a determinação do número de nós por haste, número de nós produtivos, legumes de 1, 2 e 3 grãos foram selecionadas 3 plantas ao acaso de cada uma das 4 repetições para realização da contagem.

Também foram coletadas amostras deformadas de solo nas camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, logo após a colheita da soja para determinação de pH, índice SMP, fósforo disponível, potássio trocável, matéria orgânica, cálcio magnésio, e alumínio. As análises químicas foram realizadas seguindo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância, a 5% de probabilidade de erro. Os componentes de rendimento que apresentaram diferença significativa foram submetidos ao teste de Tukey. Já as variáveis referentes aos atributos químicos do solo por



estar em um esquema fatorial, 5x5, cinco tratamentos em cinco profundidades foram submetidas ao teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

#### **4.5 Resultados e Discussão**

De acordo com os resultados obtidos na análise da variância, constatou-se que não houve diferença entre os sistemas de uso e manejo para o número de legumes com dois e três grãos (Tabela 2). Para o número de nós por haste, número de nós produtivo e número de legumes de um grão houve diferença significativa entre os tratamentos.

Para o número de nós por haste os sistemas de uso e manejo que apresentaram maiores valores foram os sistemas SPD+E e SPD+E+G, isso devido a mobilização do solo ter acarretado em uma redução do estado de compactação do solo, favorecendo o desenvolvimento de plantas. Gubiani et al. (2013) avaliando desenvolvimento de plantas constataram que as propriedades físicas do solo estão diretamente relacionadas com o crescimento de plantas. O tratamento SPD apresentou menor quantidade de nós na haste principal. Os tratamentos SPD+E e SPD+E+G também foram os que apresentaram os maiores valores no número de nós produtivos por haste. Resultado da intervenção mecânica que promoveu a descompactação do solo, promovendo um ambiente mais favorável para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja.

O sistema de uso ILP e apresentou maior quantidade de legumes de um grão, isso por esse sistema apresentar maior estado de compactação, acarretando em maior stress a planta. Quanto ao número de legumes de dois e três grãos não houve diferença significativa entre os tratamentos, porém o sistema SPD apresentou resultados numericamente superiores aos demais tratamentos, tanto para legumes de dois quanto para legumes de três grãos. Pereira et al. (2010) avaliando a influencia de diferentes manejos nas componentes de produção da soja não encontraram influencia significativa dos mesmos.

Tabela 2. Média dos valores de número de nós na haste principal (Nós/Haste), nós produtivos na haste principal (Nós Prod.), legumes de um grão por planta (Leg. um Grão), legumes de dois grãos por planta (Leg. dois Grãos) e legumes de três grãos por planta (Leg. três Grãos). Santo Antônio do Planalto - RS, 2013.

Tratament	Nós/Haste	Nós Prod	Leg. Um	Leg. Dois	Leg. Três
ILP	19,50 ab*	15,10 ab	11,33 a	23,50	15,50
SPD	18,27 b	13,75 b	7,11 bc	28,00	18,63
SPD+E	20,50 a	15,60 ab	10,55 ab	21,00	16,55
SPD+E+G	20,36 a	15,90 a	5,37 c	20,89	13,60
CV(%)	9,50	10,71	33,27	24,72	35,31

\*médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro. ns = não significativo

A maior produtividade foi encontrada no sistema SPD contínuo, não diferindo das áreas que foi realizado revolvimento, corroborando com Tavares et al. (2012) que encontraram maiores produtividades em sistema de semeadura direta, quando comparado com sistema de cultivo mínimo e plantio convencional. Assim como na produtividade o sistema SPD também apresentou maior peso de mil grãos. Santos et al. (2006) avaliando diferentes sistemas de uso e manejo também encontraram incrementos nos valores de produtividade e peso de mil grãos em sistema plantio direto.

Tabela 3. Valores médios de produtividade e peso de mil grãos de soja cultivado em um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto - RS, 2013.

	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	PMG (g)
ILP	2.821 b*	292,9 ab
SPD	3.548 a	295,2 a
SPD+E	2.996 ab	282,3 c
SPD+E+G	2.960 ab	286,8 bc
CV	8,63	3,46

\*médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Camara & Klein (2005) avaliando sistema plantio direto escarificado observaram que a escarificação esporádica proporciona condições físico-hídrica-mecânicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, principalmente pela redução na resistência mecânica à penetração. Os autores não encontraram diferença para o rendimento de grãos nos

diferentes sistemas de uso e manejo avaliados e atribuem o fato da precipitação ter sido favorável durante todo o ciclo da cultura. Os mesmos autores afirmam ainda que o mecanismo sulcador é eficiente na redução do estado de compactação e proporciona aumento na produtividade da cultura. Suzuki et al. (2007) avaliando graus de compactação e rendimento de culturas constataram que a cultura da soja é favorecida por um grau de compactação intermediário em Latossolo.

Quanto às variáveis referentes à fertilidade: fósforo, potássio, matéria orgânica, cálcio e magnésio, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Já em profundidade, ocorreu diferenças significativas entre as camadas. Esta variação se deve ao fato da área estar a mais de uma década com adoção do sistema de plantio direto, onde os restos culturais permanecem na superfície do solo, favorecendo a proteção do solo e proporcionando a ciclagem dos nutrientes.

Para o fósforo os teores mais elevados foram encontrados na camada superficial 0,00-0,05 m, isso por esse nutriente ter uma mobilidade, no solo, extremamente reduzida. Filho et al. (2011) encontraram teores de fósforo bem maiores na camada superficial, de 0,00-0,20 m, em relação a camada mais profunda, de 0,20-0,40 m, os autores atribuem esse fato em virtude daquela camada ter recebido matéria orgânica, o que contribui para aumentar o fósforo disponível na camada superficial, e os valores reduzidos na camada inferior devido a pouca mobilidade do fósforo em razão dos compostos fosfatados terem pouca solubilidade. Assim como para o fósforo, o potássio apresentou valores mais altos na camada superficial 0,00-0,05, havendo uma redução abrupta para as demais camadas analisadas. Fato também vinculado a palha remanescente em cobertura, que auxiliou na ciclagem de nutrientes.

Como as áreas vinham sendo cultivada em sistema de plantio direto, os teores mais elevados de matéria orgânica foram encontrados na camada de 0,00-0,05 m, sendo os segundos maiores valores encontrados na camada 0,05-0,10 m. Resultado esse de um período de mais de 15 anos sem revolvimento, com manutenção constante de palha em cobertura, possibilitando a reposição da matéria orgânica. Pereira et al. (2010) avaliando diferentes sistemas de uso e manejo constataram que manejos que não ocorre revolvimento do solo favorecem aumento no estoque de carbono orgânico nas camadas superficiais do solo.

Tabela 4. Valores médios de Fósforo, Potássio, Matéria Orgânica, Cálcio e Magnésio de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto, 2013.

	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G	Média
Prof, (m)	Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ )				
0,00-0,05	13,31	6,08	7,40	14,24	10,26 a
0,05-0,10	8,41	3,14	4,23	5,84	5,41 b
0,10-0,20	2,69	1,22	2,04	1,03	1,75 bc
0,20-0,30	1,35	4,91	3,81	0,68	2,69 c
0,30-0,40	1,11	1,11	0,77	0,58	0,89 c
	Potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ )				
0,00-0,05	307,5	317,5	242,0	287,5	283,1 a
0,05-0,10	130,0	120,0	97,5	90,0	109,4 b
0,10-0,20	30,0	27,5	20,0	30,0	26,9 b
0,20-0,30	25,0	13,0	122,0	20,0	74,4 b
0,30-0,40	15,0	23,3	17,5	22,5	19,6 b
	Matéria Orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )				
0,00-0,05	0,33	0,32	0,21	0,28	0,28 a
0,05-0,10	0,19	0,22	0,20	0,22	0,21 b
0,10-0,20	0,16	0,14	0,14	0,15	0,15 c
0,20-0,30	0,13	0,17	0,16	0,13	0,15 c
0,30-0,40	0,14	0,12	0,09	0,10	0,12 c
	Cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )				
0,00-0,05	8,36	7,87	6,75	6,90	7,47 a
0,05-0,10	5,31	6,10	5,34	6,13	5,72 b
0,10-0,20	4,38	4,63	4,07	4,09	4,29 c
0,20-0,30	3,23	4,04	4,95	3,15	3,84 c
0,30-0,40	2,96	3,34	3,19	3,14	3,16 c
	Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )				
0,00-0,05	3,85	3,85	3,52	3,38	3,65 a
0,05-0,10	2,39	3,27	2,18	3,11	2,74 b
0,10-0,20	2,08	2,60	2,20	2,52	2,35 bc
0,20-0,30	1,60	2,04	2,70	2,07	2,10 bc
0,30-0,40	1,17	1,82	2,06	1,59	1,66 c

\*médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

As maiores médias de pH e índice SMP foram encontrados na camada superficial do solo, resultado decorrente da decomposição do material orgânico, que possibilita liberação de nitrogênio proveniente da mineralização do matéria orgânica, cujo resultado é a nitrificação seguido de lixiviação do nitrato, e, isso pode ser a provável causa para a acidificação (CONVENTRY & SLATTERY, 1991).

Tabela 5. Valores médios de pH, índice SMP e Alumínio de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Santo Antônio do Planalto, 2013.

	ILP	SPD	SPD+E	SPD+E+G	Média
Prof. (m)	pH				
0,00-0,05	5,70	5,67	5,64	5,57	5,65 a
0,05-0,10	5,30	5,68	5,30	5,53	5,45 b
0,10-0,20	5,30	5,50	5,26	5,37	5,36 bc
0,20-0,30	5,06	5,43	5,31	5,13	5,23 c
0,30-0,40	5,00	5,41	5,14	5,20	5,19 c
	Índice SMP				
0,00-0,05	6,14	6,24	6,15	6,16	6,17 a
0,05-0,10	6,00	6,17	5,95	6,04	6,04 b
0,10-0,20	6,04	6,28	6,10	6,18	6,15 ab
0,20-0,30	5,74	6,29	6,18	6,06	6,07 ab
0,30-0,40	5,88	6,24	6,09	6,04	6,06 ab
	Alumínio (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				
0,00-0,05	0,22 A b	0,20 A a	0,21 A b	0,20 A b	0,21
0,05-0,10	0,33 A b	0,27 A a	0,42 A ab	0,28 A b	0,32
0,10-0,20	0,25 A b	0,15 A a	0,23 A b	0,26 A b	0,22
0,20-0,30	1,40 A a	0,27 C a	0,43 BC	0,68 B a	0,69
0,30-0,40	1,31 A a	0,40 B a	0,73 B a	0,80 B a	0,81

\*médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente na linha, medias seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente na coluna.

## 4.6 Conclusão

Sistema plantio direto conduzido de forma adequada é eficaz para manter a produtividade acima de 3,000 kg ha<sup>-1</sup>.

A intervenção mecânica proporciona ambiente mais favorável para desenvolvimento de plantas, aumentando o numero de nós por haste e numero de nós produtivos por haste.

Os sistemas de preparo do solo não acarretam em alterações nos atributos referentes a fertilidade do solo.

#### 4.7 Referências Bibliográficas

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R.. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.681-691, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009, 399p.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A.. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v.35,p. 813-819, 2005.

CASTRO, A. M. C.; JUNG, R. D.; CHAVES, D. P. Produtividade da soja em área de palhada de milho com e sem pastejo. **Agrarian**, v.2, p.93-103, 2009.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.

CONVENTRY, D. R.; SLATERRY, W. J. Acidification of soil associated with lupins grown in a croprotation in North-eastern Victoria. Aust. **Journal Agricultural Research** v.12, p.391-397, 1991.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1997. 212 p.

FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I.; ANDRIGHETTI, M. H.; MARTINS, A. P.; CARVALHO, P. C. F.. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.161-169, 2011.

FILHO, R. S. F. H., SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; COELHO, E. F.; LIMA, V. L. A.. Água salina nos atributos químicos do solo e no estado nutricional da mandiocueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. v.15, p.60-66, 2011.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos Atributos Físicos de um Latossolo Vermelho Sob Plantio Direto Induzidas Por Diferentes Tipos de Escarificadores e o Rendimento da Soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2115-2126, 2011.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, Brasil. v. 37p.; 1-10, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Consulta Dados da Estação Automática: PASSO FUNDO (RS). Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo.php?QTgzOQ==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTgzOQ==)>. Acesso em 2013.

KLEIN, V. A.; CAMARA, R. K.; Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.221-227, 2007.

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

MORENO, J. A.. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, **Secção de Geografia**, 1961, 38p.

NETO, A. B.; CARVALHO, P. C. F. C.; LEMAIRE, G.; SBRISSIA, A. F.; CANTO, M. W.; SAVIAN, J. V.; AMARAL, G. A.; BREMM, C. Perfilamento em pastagens de azevém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, p.329-338, 2013.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R.. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.508-514, 2010.

PEREIRA, R. G.; MEDEIROS, P. V. Q.; BARROS, E. S.; SANTOS, J. P. A.; ARAUJO, D. F. D.. Influência de diferentes sistemas de manejo solo sobre os componentes de produção da soja (glycinemax [L.]) consorciada com brachiaria de cumbens. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.5, p. 125 – 131, 2010.

PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1515-1526, 2010.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B.. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.310-319, 2009.

ROSIM, D. C.; MARIA, I. C.; SILVA, R. L.; SILVA, A. P.. Compactação de um Latossolo vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p.502-508, 2012.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C.. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista acadêmica, Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba, v. 9, p. 27-32, 2011.

SALVADOR, N.; MION, R. L.; BENEZ, S. H.; VILIOTTI, C. A.. Estudo da demanda energética e desagregação do solo em diferentes sequências operacionais de preparo periódico. **Revista de Ciência Agronômica**, v. 41, p. 231-236, 2010.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; SPERA, S. T.. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo desolo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v.36, p.21-29, 2006.

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

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de Compactação, Propriedades Físicas e Rendimento de Culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p.1159-1167, 2007.

TAVARES, L. A. F.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A.. Características agronômicas e demanda energética de cultivares de soja sob efeito dos sistemas de preparo do solo. **Energia e Agricultura**, Botucatu, v. 27, p.92-108, 2012.



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

## 5. CONCLUSÃO GERAL

Os sistemas de uso agrícola acarretam em alterações das propriedades físico-hídrico-mecânica do solo. Principalmente os sistemas onde não há mobilização do solo. O sistema plantio direto e a integração lavoura pecuária, apresentam redução dos valores porosidade e aumento da densidade do solo, principalmente em camadas subsuperficiais.

Nota-se a relação direta entre os atributos físicos, hídricos e mecânicos do solo, sendo que onde houve aumento da porosidade há aumento do índice de compressão, redução da pressão de pré-consolidação e também uma redução da densidade relativa. Os tratamentos que apresentaram menor estado de compactação são os que apresentam maior taxa de infiltração, maior volume de água infiltrada, maior quantidade de água disponível e maiores valores de índice S.

A intervenção mecânica tem duração maior que 320 dias, sendo possível constatar seus efeitos em praticamente todos os atributos avaliados. Mesmo após esse período transcorrido o sistema plantio direto escarificado é o sistema agrícola que apresenta maior taxa de infiltração, maior porosidade, menor densidade do solo e maior porosidade.

A densidade do solo de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , influenciou no desenvolvimento das plantas, reduzindo o número de nós por haste e o número de nós produtivos, porém esse menor desenvolvimento não acarretou redução da produtividade da cultura da soja. Os sistemas de preparo do solo não acarretam em alterações quanto aos atributos químicos do solo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. v.13, p.382–388, 2009.

CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C. L.. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.1301-1309, 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization of the united nations. **Commissioned for the exclusive use of FAO - Conservation Agriculture**. Novembro de 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>>

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E.. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p.

GOMES, M. A.; LANI, J. L.; COSTA, L. M.; PONTES, L. M.; FIGUEREDO, N. A.; BARDALES, N. G. Solos, Manejo e Aspectos Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Araújos, Viçosa – MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, p.93-102, 2012.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L.; NOCOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R.. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1333-1342, 2010.

MENTGES, M. I.; REICHERT, H. M.; GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; XAVIER, A.. Alterações estruturais e mecânicas de solo de várzea cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.221-231, 2012.

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FRANCO, H. B. J.; PAREIRA, F. S.; JUNIOR, L. S. B.; ROSSETTI, K. V.. Qualidade Física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.587-597, 2012.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; NETO, A. E. F.; LIMA, J. M.; VILLANI, E. M. A.. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1157-1164, 2010.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B.. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.310-319, 2009.

SOUZA, C. H. E.; LOURENÇÃO, W.; FAGAN, E. B.; MARTINS, K. V.; SAFATLE, T. C.; SOARES, I. A. P.; FIGUEIREDO, C. C.. Alterações das propriedades físicas do solo do cerrado sob sistemas de manejo na região do Alto Paranaíba – MG. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.16, p. 255-264. 2009.