

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E HÍDRICAS  
DE UM ARGISSOLO SUBMETIDO AO PASTEJO DE  
OVINOS EM CAMPO NATIVO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Luiz Eugênio Jacobs**

**Santa Maria, 28 de maio de 2012**

**PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E HÍDRICAS DE  
UM ARGISSOLO SUBMETIDO AO PASTEJO DE OVINOS  
EM CAMPO NATIVO**

**Luiz Eugênio Jacobs**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dalvan José Reinert

Santa Maria, RS, Brasil  
2012

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

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

**PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E HÍDRICAS DE UM  
ARGISSOLO SUBMETIDO AO PASTEJO DE OVINOS EM CAMPO  
NATIVO**

elaborada por  
**Luiz Eugênio Jacobs**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Dalvan José Reinert, PhD.**  
(Presidente/Orientador)

**Jean Paolo Gomes Minella, PhD. (UFSM)**

**Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki, Dr. (UFPEL)**

Santa Maria, 28 de maio de 2012.

*Dedico este trabalho aos meus pais  
Célio Jacobs e Terezinha Jacobs  
pela motivação e apoio aos estudos, em  
especial a minha irmã Adriana Jacobs e a minha avó Eulália (in memoriam),  
a todos os meus amigos do peito colhidos ao longo da caminhada da vida.*

*“EU AMO MINHA FAMÍLIA E MEUS AMIGOS”*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Departamento de Solos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador, professor Dalvan José Reinert, pela amizade, orientação e ensinamentos.

Aos professores José Miguel Reichert e Thomé Lovato pela troca de conhecimentos durante todo este período, orientação e amizade.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da UFSM, pela oportunidade de cursar este curso.

Agradeço aos meus familiares Célio Jacobs, Terezinha Jacobs, minha irmã Adriana Jacobs e, em especial, a minha falecida avó paterna Eulália.

Aos colegas da Física do Solo: Mirian, Rafael Goulart, Espeto, Mentges, Lorenzo, Greice, Dinha, Eduardo, Neiva, Paulo, Elói, Charlote, Eracilda, Juliana, Suzana, Davi, Mayra, Rafael M., Júlio, Simone, pela amizade, apoio e os momentos de descontração e trabalho ao longo deste período em que trabalhamos juntos.

Ao amigo e funcionário do Laboratório de Física do Solo, Flávio Fontinelli.

Aos meus amigos(as) de graduação, em especial ao Carlos H. Grasel, Luis F. Grasel, Francis Copetti, Marcelo Mengtes, Anderson Weber, Cláudio G. da Silva.

Aos colegas de Mestrado e Doutorado, pelas trocas de informações e momentos de descontração.

Aos colegas da EMATER pela amizade e parceria nessa nova estrada da vida, em especial a Elimar dos Santos e Viviane Roerhs.

À Deus e à Nossa Senhora, pela sabedoria, saúde, amor e por tudo de bom que aconteceu e está acontecendo em minha vida.

À todos, meu MUITO OBRIGADO!

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E HÍDRICAS DE UM ARGISSOLO SUBMETIDO AO PASTEJO DE OVINOS EM CAMPO NATIVO**

AUTOR: LUIZ EUGÊNIO JACOBS

ORIENTADOR: DALVAN JOSÉ REINERT

Local e data da defesa: Santa Maria, 28 de maio de 2012.

As pastagens naturais caracterizam importante fonte alimentar para a criação de bovinos e de ovinos. Essas, muitas vezes, são submetidas a regimes intensivos de pastejo, o que pode resultar na degradação física do solo. Estratégias sustentáveis à tríade solo-planta-animal devem ser consideradas para potencializar a recuperação e manutenção da qualidade física do solo em ambientes frágeis e, conseqüentemente, melhorar a eficiência dos sistemas produtivos. Hipotetiza-se que o sistema de pastoreio rotativo da pastagem nativa conjuntamente com a melhoria da fertilidade do solo contribui para atingir esse equilíbrio, além de potencializar a recuperação física do solo quando em estágio de degradação. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento físico, mecânico e hídrico de um Argissolo submetido a diferentes sistemas de pastoreio de ovinos e manejo das pastagens em área de campo nativo. Os objetivos específicos foram (i) determinar a qualidade física do solo por meio de avaliações da densidade ( $D_s$ ), macroporosidade, microporosidade e porosidade total ( $P_t$ ) em diferentes camadas e diferentes épocas; (ii) avaliar as propriedades mecânicas do solo por meio da resistência do solo à penetração ( $RP$ ) e de indicadores da capacidade de suporte e compressibilidade do solo; (iii) avaliar as propriedades hídricas do solo por meio da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) e retenção de água do solo e, (iv) determinar a relação entre as propriedades físicas do solo com as propriedades mecânicas e hídricas. O estudo foi conduzido em uma propriedade rural situada no município de Itaara/RS. O solo do local é um Argissolo, cuja análise granulométrica indicou classe textural argilosa até a profundidade de 0,15 m. A área do estudo, em campo nativo, vinha sendo utilizada para pastejo animal intensivo de bovinos. Os sistemas de pastoreio contínuo e rotativo foram conduzidos em campo nativo melhorado e não melhorado quimicamente. Foi realizado determinações da granulometria,  $D_s$ ,  $P_t$ , macro, micro,  $RP$ , pressão de pré-consolidação, índice de compressão,  $K_{sat}$  e retenção de água do solo antes e após o ciclo de pastejo (época 1 e 2 respectivamente). Os resultados indicaram que após o ciclo de pastejo obteve-se, principalmente no tratamento de pastejo rotativo em campo melhorado (RM), não somente redução dos valores de  $D_s$  mas também da  $RP$ , além do aumento da macroporosidade do solo. O Índice de compressão apresentou maiores valores após o ciclo de pastejo em todos os tratamentos, principalmente no RM, o que indicou maior suscetibilidade do solo em sofrer compactação adicional independente dos diferentes sistemas de pastoreio dos ovinos e manejo das pastagens nativas, enquanto que a capacidade de suporte do solo não variou significativamente. Os diferentes sistemas de pastoreio dos ovinos não afetaram

significativamente a condutividade hidráulica saturada do solo. A retenção de água do solo nos diferentes potenciais apresentou tendência de ser menor após o ciclo de pastejo, o que pode ser devido à menor microporosidade.

**Palavras-chave:** Pastoreio rotativo. Propriedades físico-mecânico-hídricas. Recuperação física.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Post-Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria

### **PHYSICAL, MECHANICAL AND HYDRIC PROPERTIES FROM A ALFISOL SUBMITTED TO THE FIELD OF SHEEP IN NATIVE GRAZING**

**AUTHOR: LUIZ EUGÊNIO JACOBS**  
**ADVISER: DALVAN JOSÉ REINERT**

Place and date of the defense: Santa Maria, May 28, 2012.

The natural pastures characterize important food source for the creation of cattle and sheep. These often are subjected to intensive grazing schemes, which may result in physical deterioration of the soil. Sustainable strategies to the triad soil-plant-animal should be considered to enhance the restoration and maintenance of soil physical quality in fragile environments, and consequently improve the efficiency of production systems. It is hypothesized that the system of rotational native grazing pasture with the improvement of soil fertility, contributes to achieving this balance and empower soil physical recovery when it is stage of degradation. The aim of this study was to evaluate the physical, mechanical and water of an Alfisol submitted to different grazing of sheep and pasture management in an area of pasture. The specific objectives were: (i) determine the soil physical quality through evaluations of the density (Ds), macroporosity, microporosity and total porosity (Pt ) in different layers and different times, (ii) evaluate the mechanical properties by soil resistance to penetration (RP) and indicators of carrying capacity and compressibility of the soil, (iii) to assess the hydraulic properties of the soil by means of saturated hydraulic conductivity (Ksat) and soil water retention, and (iv) determine the relation between soil physical properties with the mechanical properties and water. The study was conducted on a farm in the municipality of Itaara / RS . The soil is an Alfisol, which particle size analysis indicated clay textural class to a 0,15 m depth. The studied area, in native, had been used for intensive animal beef grazing systems. The continuous and rotational grazing were conducted on native improved pasture and chemically not improved. Was carried out determinations of particle size, Ds, Pt, macro, micro, RP, pre-consolidation pressure, compression index, Ksat and water retention of soil before and after the grazing cycle (season 1 and 2 respectively). The results indicated that after the grazing cycle was obtained, especially in the treatment of improved rotational grazing field (RM), not only reduction of the values of the RP but also, besides increasing the macroporosity. The compression index showed higher values after the grazing cycle in all

treatment, especially in RM, which showed increased susceptibility to suffer soil compaction independent of the different systems of grazing sheep and management of native pastures, while the soil ability support did not vary significantly. The different systems of sheep grazing did not significantly affect the hydraulic conductivity of saturated soil. The water retention of soil in the various potential tended to be smaller after the grazing cycle, which may be due to reduced microporosity.

Keywords: Rotational grazing. Physical, mechanical and hydraulic properties. Physical recovery.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 2

<b>Figura 1</b> —Curva característica de retenção de água no solo em função da Umidade Volumétrica ( $U_v \text{ cm}^{-3}$ ) e do potencial aplicado (KPa), nas diferentes camadas para o Argissolo submetido à diferentes condições de pastejo de ovinos e manejo das pastagens.....	54
---	----

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

Tabela 1 - Teores de areia, silte e argila nas diferentes camadas do solo estudado.....	22
Tabela 2 – Densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de pastejo de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respec.....	25
Tabela 3 – Correlação de Pearson entre as variáveis físicas do solo e RP .....	28
Tabela 4 – Macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) nos diferentes sistemas de pastejo de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).....	28
Tabela 5 – Resistência do solo à penetração (RP) nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).....	32

### ARTIGO 2

Tabela 1 - Teores de areia, silte e argila nas diferentes camadas do solo estudado.....	44
Tabela 2 – Pressão pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressão (IC) nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).....	47
Tabela 3 – Correlação de Pearson entre as variáveis totais pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressão (IC) e demais propriedades físicas do solo.....	48
Tabela 4 – Grau de saturação das amostras (GS) e índices de vazios ( $I_v$ ), nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).....	49
Tabela 5 – Condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) nos diferentes sistemas de pastejo de ovinos, para a época 02, nas camadas estudadas.....	51
Tabela 6 – Correlação de Pearson para valores de $K_{sat}$ e variáveis físicas do solo.....	52
Tabela 7 – Disponibilidade de água às plantas nas diferentes camadas de solo estudadas antes e após o ciclo de pastejo dos ovinos (época 1 e 2 respectivamente).....	53

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Imagem da área experimental.....	64
Anexo 2 – Imagens das parcelas de cada tratamento.....	64
Anexo 3 – Análise de variância para a Densidade do solo.....	65
Anexo 4 – Análise de variância para a Macroporosidade.....	65
Anexo 5 – Análise de variância para a Microporosidade.....	66
Anexo 6 – Análise de variância para a Porosidade Total.....	66
Anexo 7 – Análise de variância para a RP.....	66
Anexo 8 – Análise de variância para a pressão de pré-consolidação.....	67
Anexo 9 – Análise de variância para o Índice de compressão.....	67
Anexo 10 – Análise de variância para a Ksat.....	67

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 HIPÓTESES.....</b>	<b>17</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
3.1 Objetivo geral.....	18
3.2 Objetivos específicos.....	18
<b>4 ARTIGO 1 – VARIABILIDADE DOS INDICADORES FÍSICOS DE UM ARGISSOLO SOB CAMPO NATIVO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PASTOREIO DE OVINOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 Resumo.....	19
4.2 Abstract.....	19
4.3 Introdução.....	20
4.4 Material e métodos.....	21
4.5 Resultados e discussão.....	24
4.6 Conclusão.....	33
4.7 Referências bibliográficas .....	34
<b>5 ARTIGO 2 – PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA-HÍDRICAS DE UM ARGISSOLO SUBMETIDO À DIFERENTES SISTEMAS DE PASTOREIO DE OVINOS EM CAMPO NATIVO.....</b>	<b>41</b>
5.1 Resumo.....	41
5.2 Abstract.....	42
5.3 Introdução.....	42
5.4 Material e métodos.....	43
5.5 Resultados e discussão.....	47
5.6 Conclusão.....	55
5.7 Referências bibliográficas .....	56
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>62</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>
<b>8 ANEXOS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ovinocultura é uma atividade econômica comercial expressiva em poucos países, embora esteja presente em todos os continentes devido à boa adaptabilidade às diversas condições edafoclimáticas. Dados sobre a densidade populacional no ano de 2008 revelaram, segundo Viana (2008), que o Brasil possuía em torno de 15,5 milhões de cabeças ovinas distribuídas por todo o país, mas concentradas em grande número no estado do Rio Grande do Sul e na região Nordeste. Atualmente esse número é superior a 20 milhões de unidades animais.

No Estado do Rio Grande do Sul a ovinocultura é uma das principais atividades pecuaristas desenvolvidas. O rebanho ovino gaúcho em 2006, apesar da grande diminuição da população em relação à década de 70, permanecia como o maior do Brasil (IBGE, 2006). No entanto, atualmente, o Nordeste é a região que possui o maior rebanho ovino do Brasil, com 58% de concentração do total (Agrosoft Brasil, 2009). A segunda maior é a região Sul do país, com 29%. Centro-Oeste, Norte e Sudeste possuem os 13% restantes (com 6%, 3% e 4%, respectivamente).

A tradição gaúcha da atividade entre os pecuaristas e a presença de recursos naturais disponíveis conferem um ambiente favorável para a criação ovina, com potencial para exploração empresarial tecnificada. A tendência atual crescente por carnes, peles e lãs, em nível de mercado local, nacional e internacional, pode levar novamente à expansão da atividade, direcionada às exigências do mercado consumidor, que se traduz em uma oportunidade de mercado praticamente inexplorada.

Embora a pecuária brasileira de modo geral apresente perspectivas econômicas positivas, na maioria das vezes a expansão da atividade pecuarista se torna sinônimo de insustentabilidade. A degradação das pastagens é um dos maiores problemas desencadeados por essa atividade, uma vez que a lucratividade norteia os produtores a aumentarem o número de animais por área e a superestimar as pastagens como fonte alimentar de baixo custo, sem considerar as conseqüentes alterações no sistema solo-planta, o que resulta em impactos negativos às características físicas do solo e, conseqüentemente à lucratividade a médio e longo prazo. Em nível nacional, estima-se que aproximadamente 30 milhões ha ocupados por pastagens encontram-se em algum estágio de degradação (Mapa, 2012).

No Rio Grande do Sul predomina a criação de caráter extensivo de animais, principalmente bovinos e ovinos, com expressiva exploração em campos naturais. Grande parte dessas áreas é submetida ao pastejo por períodos prolongados e, muitas vezes, com

lotação animal superior à capacidade de suporte do solo e das pastagens e em condições inadequadas de umidade do solo, o que resulta em condições de degradação. Em algumas regiões o solo apresenta baixa fertilidade, baixo pH e com níveis de fósforo (P) abaixo do crítico, determinando o desenvolvimento de pasto nativo insuficiente, quantitativa e qualitativamente, para atender às demandas nutricionais dos animais.

O pastejo intensivo das espécies forrageiras nativas determina composições botânicas e estruturas de vegetação distintas do ambiente natural e menor capacidade das forragens atenderem as demandas nutricionais de cada unidade animal, proporcionando baixos índices produtivos.

Esse sistema de manejo, tradicionalmente adotado, pode gerar situações precárias de cobertura do solo, compactação e baixa reposição de nutrientes, causando muitas vezes somente a retirada destes, na maior parte da área, e sua concentração em determinadas áreas preferenciais de descanso dos animais, contribuindo lentamente para a degradação do solo e das pastagens.

A compactação caracteriza-se pelo adensamento do solo, como resultado de cargas ou pressões aplicadas. O aumento da densidade altera a estrutura do solo, afetando a sua resistência à penetração, a porosidade total, a distribuição do diâmetro dos poros, porosidade de aeração e a dinâmica da água na superfície e no seu perfil (Klein et al., 1998). Tais alterações podem diminuir o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, em função do impedimento físico, e limitar a produção de biomassa aérea das pastagens.

Em síntese, solos do Rio Grande do Sul apresentam boa aptidão natural para pastagens, mas o sistema extensivo de criação de animais, com elevado tempo de permanência sobre as áreas de pastagens naturais, caracterizadas também pela sazonalidade produtiva, pode resultar na degradação das propriedades físicas, mecânicas e hídricas do solo, determinando menor qualidade e capacidade de produção forrageira, menor diversidade de espécies, e conseqüentemente baixos índices zootécnicos (sanidade e produtividade animal). Assim caracteriza-se grande parte do cenário atual das pastagens nativas destinadas à expansão e desenvolvimento da pecuária.

Práticas sustentáveis de manejo dos animais em sistemas de criação a base de pasto deve permitir o balanço positivo das taxas de reposição natural com as taxas de remoção, o que resulta em um ciclo integrado e equilibrado. Esse pode ser alcançado por meio da adoção de um sistema de manejo que possibilite equilibrar os três elementos solo-pastagem-animal, transformando o animal que passa de “predador” no sistema convencional para beneficiador do sistema, promovendo melhorias das características físicas e biológicas do solo e,

consequentemente, no desempenho produtivo da pastagem e do rebanho. Essas premissas oportunizam estudos sobre o sistema de manejo racional e rotativo da área, o que resulta em benefícios ao sistema, que podem ser intensificados com o melhoramento das pastagens.

Segundo Oliveira et al. (2008), no contexto do mercado atual da ovinocultura de corte no Estado do Rio Grande do Sul, está ocorrendo perda de espaço da ovinocultura gaúcha em relação à ovinocultura nacional, e um dos pontos negativos visualizados é a falta de informações sobre práticas eficientes e sustentáveis de manejo dos sistemas produtivos, destacando que a atividade ovinocultura é promissora, mas necessita de mudanças nos sistemas produtivos e maior eficiência produtiva. Nesse caso eficiência produtiva resume-se na melhoria da tríade solo-pastagem-ovino, em que o solo sob condições adequadas de manejo e uso condiciona o desenvolvimento de pastagens quali e quantitativamente suficientes às demandas nutricionais dos ovinos e, consequentemente resultam na melhoria dos índices zootécnicos de produção, o que nos permite considerá-lo como a base do sistema produtivo.

O solo caracteriza-se como um sistema dinâmico e suas propriedades temporais refletem o seu biofuncionamento e variam mediante aos diferentes sistemas de uso e manejo. Obter informações sobre a intensidade com que os atributos do solo variam e as relações destes com as demais propriedades tornam-se pré-requisito tanto para adotar sistemas de manejo sustentável do solo e das pastagens como potencializar a recuperação da qualidade do solo fisicamente degradado.

No entanto, muitos estudos centralizam maior ênfase na busca de informações sobre o desempenho produtivo animal, sem integrar os aspectos relacionados à sustentabilidade do “sistema solo”, o que induz a necessidade da base científica disponível atualmente complementar os conhecimentos sobre o uso sustentável do solo e das pastagens naturais.

Diante disso o desafio maior é buscar informações sobre práticas de manejo diferenciadas que permitem melhorar e preservar a qualidade física do solo ou potencializar a recuperação física de solos degradados. Esses desafios devem ser superados através de investigações científicas, ainda escassas neste modelo de sustentabilidade, que posteriormente poderão servir como base às políticas públicas e à assistência técnica e extensão rural, o que atenderá os anseios e demandas do meio rural visando à viabilidade econômica da ovinocultura.

## **2 HIPÓTESES**

1. As propriedades físicas do solo variam de acordo com os diferentes sistemas de manejo e pastoreio dos ovinos em pastagens naturais, de modo que sob sistema de pastejo contínuo essas são influenciadas negativamente, o que prejudica as relações solo-ar-água e solo-raiz.
2. O pastejo rotativo de ovinos em pastagens naturais melhoradas quimicamente potencializa a recuperação estrutural do solo degradado fisicamente.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento físico, mecânico e hídrico de um Argissolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes sistemas de pastoreio de ovinos e manejo das pastagens em área de campo nativo.

#### **3.1. Objetivos específicos**

Avaliar as propriedades físicas do solo, especificamente a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em diferentes camadas do solo e diferentes épocas;

Avaliar as propriedades mecânicas do solo, especificamente a resistência desse à penetração radicular e a compressibilidade do solo em diferentes épocas;

Avaliar as propriedades hídricas do solo, especificamente a condutividade hidráulica do solo saturado e a capacidade de retenção de água nos diferentes sistemas de pastoreio dos ovinos;

Avaliar a relação entre as propriedades físicas, mecânicas e hídricas do solo.

## VARIABILIDADE DOS INDICADORES FÍSICOS DE UM ARGISSOLO SOB CAMPO NATIVO SUBMETIDO A SISTEMAS DE PASTOREIO DE OVINOS

### RESUMO

Propriedades físicas relacionadas à compactação do solo e as relações dessas com o desenvolvimento radicular das plantas, caracterizam a qualidade física do solo, que responde aos diferentes sistemas de manejo dos animais e das pastagens nativas, podendo resistir à degradação e recuperar-se fisicamente. Objetivou-se nesse estudo avaliar o estado físico de um Argissolo degradado em área de campo nativo melhorado quimicamente, submetido a sistemas de pastoreio de ovinos. A densidade do solo (Ds), distribuição do tamanho de poros e a resistência à penetração (RP) foram avaliadas nas camadas de 0,00–0,05 e 0,10–0,15 m, antes e após o ciclo de pastejo, em áreas de campo nativo submetido à diferentes sistemas de pastoreio de ovinos e manejo da fertilidade da pastagem nativa. Após o ciclo de pastejo verificou-se que tanto a Ds como a microporosidade apresentaram valores menores em relação ao estado anterior, nos diferentes sistemas de pastejo, principalmente no sistema de pastoreio rotativo em campo nativo melhorado quimicamente, e ambas se correlacionaram positivamente com a RP. A proporção de macroporos apresentou tendência de aumento após o ciclo de pastejo, principalmente nas áreas submetidas ao melhoramento da fertilidade do solo, correlacionando significativamente inversa com a RP. A RP reduziu para valores inferiores ao limite considerado crítico ao desenvolvimento das plantas (2 Mpa) após o ciclo de pastejo. Independente da sua intensidade, o pastejo de ovinos contribuiu para a recuperação da qualidade física do solo, principalmente quando submetido à práticas integradas de manejo dos ovinos e das pastagens naturais, o que favorece o desenvolvimento radicular da pastagem.

**Termos de indexação:** pastejo rotativo, pastagem nativa, propriedade físicas, recuperação física.

### SUMMARY

Physical properties related to soil compaction and the relations with this root growth, characterize the soil physical quality, which responds to different management systems of animals and native pastures, and may resist degradation and recover physically. The objective of this study was to evaluate the physical condition of a degraded area in native Alfisol chemically enhanced, subject to sheep grazing systems. Soil bulk density (Ds), pore size distribution and resistance to root penetration (RP) were evaluated in layers of 0.00 to 0.05 and 0.10-0.15 m, before and after the grazing cycle in areas of native grassland submitted to

different systems of sheep grazing and fertility management of native pasture. After the grazing cycle was found that both, Ds and microporosity, showed lower values compared to the previous state regardless of the type and intensity of grazing, especially in the system of rotational grazing on native chemically enhanced, and both were significantly correlated positively with the RP. However the proportion of macropores tended to increase after the grazing cycle, especially in areas subjected to the improvement of soil fertility and correlated significantly inversely with the RP. Independent from the intensity of grazing, sheep grazing has contributed to the recovery of soil physical quality, especially when subjected to the practice of integrated management of natural pastures and sheep, which encourages root growth while increasing susceptibility to further compaction.

**Index terms:** rotational grazing, native pasture, physical properties, physical recovery.

## INTRODUÇÃO

Entre as atividades econômicas principais do sul do Brasil a pecuária apresenta-se expressiva e nessa destaca-se a ovinocultura. A tradição gaúcha da atividade entre os pecuaristas e a presença de recursos naturais disponíveis conferem um ambiente favorável para a criação ovina, com potencial para exploração empresarial tecnificada.

No entanto, o aspecto econômico pode limitar a sustentabilidade da cadeia produtiva, caracterizada pela busca imediata de lucratividade, o que determina o aumento do número de animais por área, sem considerar não somente a oferta de forragem e o manejo do solo e da pastagem, mas também as alterações que podem resultar no solo em decorrência disso, principalmente no que tange à compactação devido ao pisoteio.

As pastagens naturais representam a principal base alimentar na criação de ovinos (Emprapa Pecuária Sul, 2008). Naturalmente caracterizam-se como ambiente frágeis não somente pela baixa fertilidade natural mas também pela suscetibilidade física à degradação da estrutura do solo.

Essas pastagens, muitas vezes, são submetidas à elevada carga animal e exploradas em regime de pastejo contínuo e extensivo, com os rebanhos confinados em poteiros (Porto, 2002; Nabinger, 2006; Overbeck et al., 2007), o que resulta na degradação física do solo. Em consequência disso, o desenvolvimento das forrageiras fica limitado, ocorrendo redução na cobertura vegetal sobre o solo, o que eleva a suscetibilidade aos processos erosivos, principalmente em relação à erosão hídrica (Stone & Guimarães, 2005).

Em solos degradados a resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas que frequentemente restringe o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (Lapen et al., 2004; Collares et al., 2006). A densidade do solo (Drewry, 2006; Pereira Junior, 2006; Giarola et al., 2007; Fidalski et al., 2008; Carassai, 2011) e a distribuição do tamanho de poros (Silva et al., 2003; Siqueira Júnior, 2005; Carassai, 2011) são comumente utilizadas para avaliar os efeitos do pisoteio animal sobre a qualidade física do solo (Greenwood & Mckenzie, 2001; Lanzasova et al., 2007). Essas propriedades condicionam não somente a resistência que o solo oferece à penetração radicular (Tormena et al., 2004; Oliveira et al., 2007; Blainski et al., 2008), mas consequentemente o desenvolvimento do sistema radicular e a produção de massa da parte aérea das pastagens (Federer et al., 1961; Gradwell, 1966; Pinzón & Mesquita, 1991).

A recuperação natural de um solo degradado reflete em uma melhora as propriedades físicas do mesmo, incluindo a condutividade hidráulica, o volume de macroporos e densidade (Drewry, 2006). No entanto, a maioria dos estudos enfocam nas avaliações da qualidade física do solo submetido ao pisoteio animal, em sistemas insustentáveis, o que resulta em uma lacuna científica quando se busca informações sobre a capacidade do solo, com algum grau de degradação física, em se recuperar naturalmente, utilizando-se apenas a adoção de estratégias de manejo que sejam sustentavelmente adequadas ao sistema.

Áreas de pastagens degradadas, recuperadas física e quimicamente, apresentaram maior macroporosidade, porosidade total, densidade linear de raízes, diâmetro médio radicular, e menor densidade do solo e resistência à penetração, em relação a áreas de pastagens degradadas submetidas ao regime extensivo de pastoreio (Moreira et al., 2005).

As estratégias de manejo relacionadas a recuperação natural do solo e das pastagens nativas, em curtos períodos de tempo, constituem grande desafio para os sistemas agropecuários de produção, uma vez que a base científica disponível apresenta necessidade de complementar o entendimento sobre o efeito de determinadas práticas integradas de manejo, como o melhoramento da fertilidade das pastagens nativas, a rotação e o descanso de pastagens e alternância de rebanhos, na recuperação física do solo das áreas de pastagens degradadas.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o estado físico de um Argissolo degradado em área de campo nativo melhorado quimicamente e submetido à sistemas de pastoreio de ovinos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido em uma propriedade rural situada no município de Itaara, aos 29°37'28,62" de latitude Sul e 53°47'10,92" de longitude Oeste, inserido na região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido sem estiagem (Cfa). A temperatura média anual é de 19,4°C, sendo a temperatura média mínima de 14-15°C (julho a agosto) e média máxima de 23 a 25°C (dezembro a fevereiro) (Ipagro, 1989).

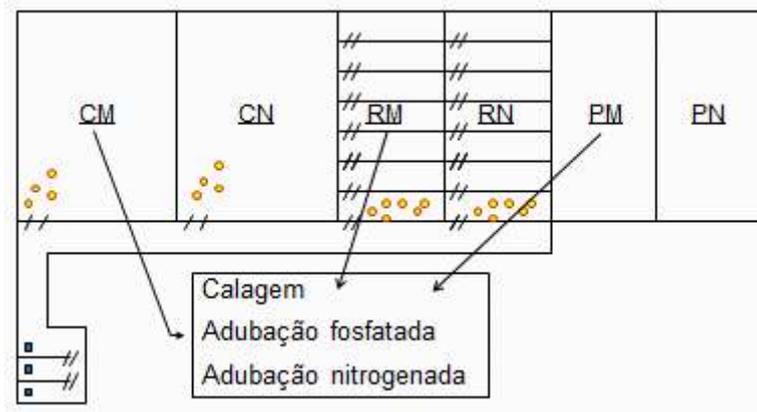
O solo do local é um Argissolo Vermelho Amarelo (Streck et al., 2010), cuja análise granulométrica indicou valores médios de 425 g kg<sup>-1</sup> de argila, 350 g kg<sup>-1</sup> de silte e 225 g kg<sup>-1</sup> de areia (Tabela 01), determinando classe textural argilosa até a profundidade de 0,15 m. O relevo apresenta-se homogêneo em toda a área experimental, sendo caracterizado como plano a suavemente ondulado.

Tabela 01 - Teores de areia, silte e argila nas diferentes camadas do solo estudado.

Camada (m)	Areia Total	Silte	Argila
	-----%-----		
0,00 – 0,05	24	36	40
0,10 – 0,15	21	34	45

A área do estudo, em campo nativo, vinha sendo utilizada para pastejo animal intensivo de bovinos ao longo de 20 anos. A vegetação natural é formada por campo misto e a identificação botânica realizada a campo por estudantes vinculados ao Laboratório de Ecologia de Pastagens Naturais (LEPAN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) indicou o predomínio de espécies de gramíneas, principalmente a grama-forquilha (*Paspalum notatum* Fluegge), e espécies de leguminosas em menor quantidade, como o pega-pega (*Desmodium* sp.).

Os sistemas de pastoreio foram conduzidos na área de campo nativo, tendo como tratamentos: pastejo contínuo em campo nativo melhorado (CM); pastejo contínuo em campo nativo sem melhoramento (CN); pastejo rotativo em campo nativo melhorado (RM); pastejo rotativo em campo sem melhoramento (RN); pousio de campo nativo melhorado (PM); pousio de campo nativo sem melhoramento (PN), conforme croqui:



Cada tratamento teve sua área delimitada na forma de piquete, utilizando-se cercas eletrizadas compostas por 3 fios de arame liso galvanizado presos por meio de materiais isoladores. As cercas foram sustentadas por palanques de madeira, espaçados em 4 m.

A condição de melhoramento do campo nativo foi efetuada mediante correção da acidez e fertilização, sendo realizado dois meses antes do início do ciclo de pastejo (junho de 2010), de acordo com a análise de solo coletado nas parcelas e com base na interpretação e recomendação de adubação para pastagens naturais com introdução de gramíneas (CQFS-RS/SC, 2004).

O pastejo foi realizado no período de primavera-verão, com início em agosto de 2010 e término em fevereiro de 2011. Em cada tratamento o pastejo dos ovinos foi efetuado de modo a atender a lotação de 20 animais  $\text{ha}^{-1}$ , com aproximadamente 40 kg por ovino, o que equivale a uma carga animal de 800 kg  $\text{há}^{-1}$ . Essa lotação apresenta-se superior a lotação média utilizada em pastagens nativas que seria em torno de 10 animais  $\text{há}^{-1}$ .

Cada piquete de pastejo contínuo teve área de 2000  $\text{m}^2$ , sendo pastejada por 4 ovinos durante 6 h por dia. O pastejo rotativo foi efetuado em uma área de 1000  $\text{m}^2$  para cada tratamento, subdivididos em 21 piquetes de 48  $\text{m}^2$  (sub-parcelas), sendo cada piquete pastejado por dois ovinos durante 6 horas em um dia e com posterior período de descanso de 21 dias. Os ovinos foram conduzidos aos pastejos de forma simultânea, em 3 sub-parcelas, o que possibilitou completar o ciclo de pastejo em uma semana. Essa condição foi definida em ambos os tratamentos de pastejo rotativo, para obter maior homogeneidade das repetições. Os piquetes mantidos em pousio (PN e PM) tiveram uma área de 1000  $\text{m}^2$  para cada tratamento.

Para avaliar a densidade e a distribuição do tamanho de poros do solo coletaram-se amostras de solo com estrutura preservada, antes e após seis meses do início do pastejo (Época 1 e Época 2, respectivamente), nas camadas de 0,0–0,05 e 0,10–0,15 m de profundidade. Em cada tratamento, foram determinados 3 pontos de amostragem, onde coletaram-se amostras de solo com 3 repetições para cada propriedade do solo avaliada. No

laboratório, as amostras foram saturadas por capilaridade, pesadas e submetidas às tensões de 6 kPa, em coluna de areia (Reinert & Reichert, 2006), sendo posteriormente secas em estufa a 105 °C até peso constante, para determinar a densidade do solo (Ds), a macroporosidade (Macro), a microporosidade (Micro) e a porosidade total (Pt).

Para avaliar a resistência do solo à penetração (RP), as amostras foram saturadas e submetidas ao potencial de 10 kPa (conteúdo de água equivalente a Capacidade de campo - CC) na coluna de areia. Posteriormente, a RP foi determinada utilizando-se um penetrômetro de bancada, com velocidade de penetração de 60 mm min<sup>-1</sup>, e cone com diâmetro de base de 4 mm e ângulo de 30°. Esse penetrômetro é equipado com um atuador linear e célula de carga de 20 kg, acoplada a um microcomputador para a aquisição dos dados (Tormena et al., 1998).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição de normalidade, onde todas as propriedades seguiram distribuição normal. Então, os dados de Ds, Macro, Micro e Pt foram submetidos à análise de variância multifatorial, com comparação múltipla pelo teste de Tukey. Assim, foi possível verificar se a resposta é alterada significativamente pelo Fator A (tratamentos), pelo Fator B (épocas) ou pelo Fator C (camadas). Além disso, foi aplicada a correlação de Pearson (r), que é usualmente utilizada no caso paramétrico (r), entre essas variáveis físicas e a variável RP. Esse cálculo estatístico exige mensuração dos escores no nível de intervalos equiespaçados, com escores provenientes de uma população normal, para que se possa comparar a significância de r.

Os dados foram processados e analisados utilizando-se o software Statistical Package for Social Science 15.0 (SPSS). Para a análise de variância multifatorial, utilizou-se o programa estatístico STATISTICA 7.0 StatSoft, com o nível de significância de  $p < 0,05$ .

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A densidade do solo (Ds) representa a relação entre a massa do solo e seu respectivo volume total incluindo os espaços ocupados pela água e pelo ar (Ds: massa solo/volume solo) (Lier, 2010), ou seja, é uma propriedade relacionada com alterações no volume do solo, altamente relacionadas com o sistema poroso e com a compactação do solo (Reichert, 2007). O aumento dos valores de Ds indicam redução do volume do solo ou dos espaços ocupados pela água e pelo ar, afetando diretamente o fluxo de água e ar no interior do solo, o que é prejudicial ao desenvolvimento e crescimento radicular das plantas.

A Ds foi elevada na área sob pastagem nativa, antes do início do ciclo de pastejo (Época 1), com valores acima de 1,5 g cm<sup>-3</sup>, sendo superiores aos valores de densidade

considerados críticos ao desenvolvimento das plantas, para a classe textural argilosa (Reichert et al., 2007). Essa condição indica um determinado nível de degradação física do solo, tanto na camada superficial (0,00 a 0,05 m) como na subsuperficial (0,10 a 0,15 m), uma vez que os valores de Ds não diferiram entre camadas, exceto para o sistema de pastoreio rotativo em campo nativo melhorado (RM) (Tabela 2). A densidade do solo (Ds) é uma propriedade física normalmente alterada pelas pressões estáticas exercida sobre ele (Hamza & Anderson, 2005), a qual pode ser influenciada pelo pisoteio ocasionado por ovinos (Drewry, 2006; Pereira Junior, 2006). Elevados valores de Ds indicam a degradação física do solo, principalmente nas camadas superficiais, quando ocasionada pelo pisoteio dos animais (Moreira, 2005; Drewry, 2006). Nesse estudo, o uso da pastagem nativa como fonte de alimento aos bovinos por longo período de pastejo contínuo e intensivo, pode ter proporcionado aumento na densidade do solo devido às pressões aplicadas pelo pisoteio animal. Segundo Ramos et al. (2010), o manejo extensivo dos animais em áreas de solo sob pastagem, ao longo dos setes anos, foi suficiente para provocar mudanças significativas, em razão da compressão do solo pelas pressões aplicadas, o que leva a expulsão do ar do solo e uma nova reorganização dos agregados no solo, tendo como consequência o aumento da densidade e a redução da porosidade total.

Tabela 2 – Densidade do solo (Ds) nos diferentes sistemas de pastejo de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).

Tratamento	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	
	Época 1	Época 2
0,00 a 0,05 m		
CM	1,59 (0,02) <sup>AB a X*</sup>	1,28 (0,04) <sup>A b X</sup>
CN	1,56 (0,02) <sup>AB a X</sup>	1,22 (0,01) <sup>A b X</sup>
RM	1,49 (0,05) <sup>B a X</sup>	1,10 (0,04) <sup>B b X</sup>
RN	1,57 (0,07) <sup>AB a X</sup>	1,25 (0,07) <sup>A b X</sup>
PM	1,64 (0,09) <sup>A a X</sup>	1,24 (0,06) <sup>A b X</sup>
PN	1,48 (0,05) <sup>B a X</sup>	1,18 (0,03) <sup>AB b X</sup>
0,10 a 0,15 m		
CM	1,60 (0,06) <sup>AB a X</sup>	1,32 (0,08) <sup>AB b Y</sup>
CN	1,64 (0,12) <sup>AB a X</sup>	1,27 (0,05) <sup>BC b Y</sup>
RM	1,71 (0,04) <sup>A a Y</sup>	1,36 (0,03) <sup>AB b Y</sup>
RN	1,64 (0,08) <sup>AB a X</sup>	1,35 (0,03) <sup>AB b Y</sup>
PM	1,59 (0,05) <sup>AB a X</sup>	1,39 (0,05) <sup>A b Y</sup>
PN	1,52 (0,11) <sup>B a X</sup>	1,22 (0,04) <sup>C b X</sup>

\* Letras maiúsculas indicam diferença estatística entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro; letras minúsculas indicam diferença estatística entre épocas a 5 % de probabilidade de erro; letras X e Y indicam diferença estatística entre camadas para cada época a 5 % de probabilidade de erro.

A Ds apresentou-se menor após os seis meses de pastejo (Época 2), em relação ao estado inicial, em ambas as camadas (Tabela 2), o que indica que o pisoteio de ovinos não proporcionou compactação adicional ao solo. Esse comportamento deve-se não somente ao efeito amortecedor que o campo nativo proporciona, devido ao sistema radicular superficial robusto (Andreola et al., 2000), mas também porque a pressão aplicada sobre o solo pelos cascos dos ovinos não deve ter excedido a capacidade de suporte do mesmo.

Os resultados corroboram aos observados por Carassai (2011), onde o autor verificou que as propriedades físicas do solo não foram afetadas de forma negativa pelos diferentes métodos de pastoreio dos ovinos e pelas diferentes intensidades de pastejo, quando comparadas a áreas não pastejadas. Entretanto, os estudos desenvolvidos por Proffitt (1995), Greenwood et al. (1997) e Pereira Junior (2006), demonstraram que diferentes intensidades de pastejo de ovinos podem resultar na deterioração da estrutura superficial do solo.

O sistema de pastoreio rotativo em campo nativo melhorado (RM) apresentou a menor Ds após o ciclo de pastejo, na camada de 0,00 a 0,05 m. Pode-se inferir que o efeito resultante da melhoria da disponibilidade de nutrientes não somente por meio de práticas de adubação e calagem, mas também como consequência do pastejo de ovinos proporcionou a melhoria da qualidade estrutural do solo com redução na Ds. Em áreas pastejadas com ovinos, ocorre tendência de aumento nos níveis de N, P, K, Ca e C devido a distribuição uniforme dos dejetos desses animais na área (Murphy et al., 1995), além de sua rápida mineralização devido a baixa relação C/N (Carran & Theobald, 2000). Essa condição associada ao descanso da pastagem após o pastejo dos animais possibilita melhor desenvolvimento do sistema aéreo e radicular das forrageiras nativas, onde uma das principais contribuições do sistema radicular está na estruturação do solo, o que implica na redução da Ds (Derner et al., 1997; Moraes & Lustosa, 1997; Imhoff, 2000).

Melhorias estruturais expressas como a redução da densidade do solo e aumento na condutividade hidráulica não saturada foram encontradas por Greenwood et al. (1997, 1998), em parcelas sem pastejo quando comparadas às áreas pastejadas por ovinos, entretanto as melhorias limitaram-se à camada de 0,00 a 0,04 m. Drewry (2006) ressalta que, para muitos solos, a resiliência natural da sua condição física ocorre, geralmente, até 0,10 m de

profundidade, quando proporcionada pelo efeito do crescimento e desenvolvimento radicular das pastagens.

A Ds foi significativamente menor após o ciclo de pastejo para todos os tratamentos, em relação ao estado antecedente, em ambas as camadas estudadas (Tabela 2). Isso indica que os diferentes sistemas de pastoreio e manejo das pastagens nativas proporcionaram recuperação físico-estrutural do solo também em profundidade, o que discorda dos resultados observados por Drewry (2006). Essa melhoria estrutural em profundidade pode ser devido ao desenvolvimento radicular das forrageiras nativas predominantes na área, onde pode ser visualizado à campo, durante as coletas de solo nas camadas estudadas, a elevada biomassa radicular. Segundo Pizarro (2000) a grama-forquilha, gramínea predominante na área sob estudo, se caracteriza como gramínea rizomatosa, vigorosa e com sistema radicular profundo (Pizarro, 2000).

Entretanto, contrapondo o bom desenvolvimento radicular das pastagens em profundidade, a Ds foi superior na camada de 0,10 a 0,15 m em relação à camada superficial do solo (0,00 a 0,05 m), exceto para o tratamento PN, sendo que, antes do ciclo de pastejo, essa diferença entre camadas foi pequena. Diante do exposto, pode-se inferir que os diferentes sistemas de pastoreio de ovinos e manejo das pastagens nativas, exerceram maior influência sobre a resiliência física do solo na camada superficial, o que a torna mais passível de se recuperar fisicamente. Essa condição pode ser devido a influência de um conjunto de fatores relacionados aos teores de MO, processos alternados de umedecimento e secagem, atividade biológica e biomassa radicular que podem ser mais expressivos na camada superficial do solo.

A macroporosidade do solo representa a proporção de poros maiores presente no solo, responsáveis pela infiltração e redistribuição da água, bem como pela circulação de ar no interior do solo. A degradação da estrutura do solo resulta em modificações no arranjo de suas partículas, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior (macroporos), o que reduz o fluxo de água e ar, afetando com isso o processo de infiltração (Alves et al., 2007).

A macroporosidade apresentou tendência de aumento para os diferentes sistemas de pastoreio de ovinos e manejo das pastagens, em relação ao estado inicial (Tabela 4). Sendo assim, a Ds apresentou correlação inversa significativa com a macroporosidade (Tabela 3), corroborando com os resultados obtidos por Spera et al. (2006), ao verificar que a redução da macroporosidade tende a se refletir na porosidade total e no aumento de densidade de solo.

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis mecânicas do solo RP e IC e variáveis físicas do solo.

Var	RP	Ds	Macro	Micro	Pt
RP	1	0,494**	-0,296**	0,398**	0,092
Ds		1	-0,692**	0,732**	0,088
Macro			1	-0,417**	0,023
Micro				1	0,564**
Pt					1

\*\*significante a 1%.

Essa tendência de aumento da macroporosidade pode ser atribuída ao não adensamento adicional do solo pelo pisoteio animal, que associado à melhoria do desenvolvimento radicular das forrageiras, resultou não somente na melhoria estrutural do solo com menor Ds, mas também no aumento da proporção de macroporos. Discordando aos resultados obtidos, Pereira (2006) verificou que áreas de coqueiral, submetidas ao pastejo de ovinos tiveram decréscimo nos valores médios da macroporosidade, na camada de 0,0–0,05 m, corroborando com os dados obtidos por Drewry et al. (1999).

Tabela 4 – Macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) nos diferentes sistemas de pastejo de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).

Tratamento	Macro		Micro		Pt	
	(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )					
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
0,00 a 0,05 m						
CM	0,07 (0,01) <sup>AbX*</sup>	0,15 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,51 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,41 (0,02) <sup>AbX</sup>	0,58 (0,02) <sup>BaX</sup>	0,56 (0,04) <sup>AaX</sup>
CN	0,10 (0,04) <sup>AaX</sup>	0,16 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,52 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,42 (0,01) <sup>AbX</sup>	0,62 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,58 (0,03) <sup>AaX</sup>
RM	0,10 (0,04) <sup>AbX</sup>	0,17 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,50 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,39 (0,01) <sup>AbX</sup>	0,60 (0,03) <sup>ABaX</sup>	0,56 (0,02) <sup>AaX</sup>
RN	0,12 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,14 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,48 (0,01) <sup>AaX</sup>	0,38 (0,01) <sup>AbX</sup>	0,60 (0,01) <sup>ABaX</sup>	0,52 (0,02) <sup>AbX</sup>
PM	0,08 (0,03) <sup>AbX</sup>	0,15 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,49 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,38 (0,02) <sup>AbX</sup>	0,57 (0,03) <sup>BaX</sup>	0,53 (0,02) <sup>AaX</sup>
PN	0,12 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,16 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,52 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,36 (0,01) <sup>AbX</sup>	0,62 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,55 (0,03) <sup>AaX</sup>
0,10 a 0,15 m						
CM	0,07 (0,03) <sup>AbX</sup>	0,12 (0,03) <sup>AaY</sup>	0,49 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,35 (0,01) <sup>ABbY</sup>	0,56 (0,04) <sup>AaX</sup>	0,47 (0,03) <sup>AbY</sup>
CN	0,07 (0,02) <sup>AbX</sup>	0,12 (0,01) <sup>AaX</sup>	0,49 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,35 (0,01) <sup>ABbY</sup>	0,57 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,48 (0,02) <sup>AbY</sup>
RM	0,07 (0,03) <sup>AbY</sup>	0,10 (0,01) <sup>AaY</sup>	0,48 (0,02) <sup>ABaX</sup>	0,36 (0,01) <sup>ABbY</sup>	0,56 (0,01) <sup>AaY</sup>	0,46 (0,01) <sup>AbY</sup>
RN	0,10 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,11 (0,01) <sup>AaY</sup>	0,46 (0,04) <sup>ABaX</sup>	0,34 (0,01) <sup>BaY</sup>	0,56 (0,04) <sup>AaX</sup>	0,45 (0,01) <sup>AbY</sup>
PM	0,06 (0,02) <sup>AbY</sup>	0,10 (0,02) <sup>AaY</sup>	0,53 (0,02) <sup>BaY</sup>	0,35 (0,01) <sup>ABbX</sup>	0,58 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,46 (0,02) <sup>AaY</sup>
PN	0,08 (0,03) <sup>AaX</sup>	0,13 (0,02) <sup>AaX</sup>	0,49 (0,01) <sup>AaX</sup>	0,37 (0,01) <sup>AbX</sup>	0,57 (0,01) <sup>AaX</sup>	0,51 (0,01) <sup>AaX</sup>

\* Letras maiúsculas indicam diferença estatística entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro; letras minúsculas indicam diferença estatística entre épocas a 5 % de probabilidade de

erro; letras X e Y indicam diferença estatística entre camadas para cada época a 5 % de probabilidade de erro.

A macroporosidade não diferiu entre tratamentos antes do ciclo de pastejo (Época 1), na camada de 0,00 a 0,05 m, porém os valores estiveram próximos ao limite crítico de  $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , considerado mínimo para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas (Vomocil & Flocker, 1966; Kiehl, 1979; Xu et al., 1992; Tormena et al., 2004). Para a camada subsuperficial (0,10 a 0,15 m), verificou-se que a maioria dos tratamentos apresentou macroporosidade inferior ao limite crítico, com diferença significativa entre tratamentos, sendo a menor macroporosidade observada para o PM ( $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ).

No entanto, após o final do ciclo de pastejo (Época 2), a macroporosidade aumentou atingindo valores superiores ao limite crítico, em ambas as camadas (0,00 a 0,05 e 0,10 a 0,15 m). De acordo com Hillel (1998), essa condição favorece a difusividade do oxigênio às raízes das plantas de forma não impeditiva e não limitante, mesmo após o período de chuvas, devido à influência direta da macroporosidade na capacidade de infiltração e na drenabilidade da água no solo. Além disso, os macroporos do solo podem ser locais *in situ* para o crescimento das raízes, que ocupam esses canais formados no solo. Ao mesmo tempo, o volume de raízes que se desenvolvem e crescem ao longo do perfil do solo permite a formação de novas redes de canais, resultando no aumento da oxigenação e, conseqüentemente do arejamento do solo (Moreira et al., 2005).

Na camada superficial do solo (0,00 a 0,05 m), os tratamentos CM, RM e PM apresentaram diferença significativa da macroporosidade entre Épocas (Tabela 4). Isso indica que a fertilização proporciona influência positiva para a recuperação estrutural, por meio da melhoria na distribuição do tamanho de poros do solo, em áreas de campo nativo. Assim, pode-se inferir que a fertilização e a adição dos dejetos de ovinos no momento do pastejo podem estimular biologicamente a atividade radicular e dos organismos do solo, permitindo o aumento da macroporosidade e, conseqüentemente, equilíbrio entre as relações solo-água-ar.

O aumento da macroporosidade para valores acima do limite crítico, também ocorreu na camada de 0,10 a 0,15 m, ao final do ciclo de pastejo (Época 2). Corroborando ao presente estudo, Pereira (2006) observou aumento na quantidade de poros maiores, ocupados por ar, embora não tenha ocorrido de forma significativa. No entanto, o estudo de Drewry et al. (1999) indicou que o pastejo intenso de ovinos não afetou a macroporosidade do solo nessa camada.

A macroporosidade apresentou correlação negativa não só com a densidade, mas também com a microporosidade do solo (Tabela 3). A microporosidade representa a proporção de poros menores presentes do solo, importantes para a retenção e armazenamento da água no solo. Reduções acentuadas de microporosidade prejudicam principalmente o armazenamento de água no solo e o seu aumento pode indicar compactação do solo, quando associado à diminuição da macroporosidade (Fonseca et al., 2007).

Assim como a  $D_s$ , a microporosidade apresentou, antes do ciclo de pastejo, valores elevados e pouco variáveis estatisticamente quando comparados entre tratamentos e entre camadas (Tabela 4), indicando que o pisoteio animal sobre o solo na área de pastagens nativa ao longo dos anos, resultou em uma distribuição homogênea da quantidade de microporos presente no solo tanto superficialmente, como em camadas mais profundas. Estudo desenvolvido na Mongólia relatou que o pastejo bovinos por longo período de tempo promoveu a homogeneização espacial das propriedades físicas do solo (Zhao et al., 2007).

A relação de microporos/macroporos, antes do ciclo de pastejo, foi consideravelmente superior a proporção 2:1, considerada a proporção ideal que caracteriza a adequada condição de aeração, permeabilidade e armazenamento de água ao solo (Ferreira et al., 2010). O armazenamento de água disponível no solo é condicionado principalmente pelos microporos (Portugal et al., 2008), entretanto, a elevada proporção desses poros menores pode resultar em aeração deficiente ao solo, com conteúdo de água próximo à capacidade de campo, o que dificulta a atividade microbiana e a respiração das raízes, tendo em vista que a maior parte dos poros poderão estar ocupados por água (Wendling et al., 2003).

O pisoteio animal dos ovinos proporcionou redução significativa da microporosidade após ciclo de pastejo, para todos os tratamentos, em ambas as camadas (Tabela 4). Os resultados contrariam a afirmação de Bertol et al. (1995) e Pereira et al. (2006), de que, principalmente na camada de 0,00 a 0,05 m, o pisoteio animal ovino pode resultar em aumento da microporosidade devido a aproximação das partículas do solo, que é dependente das cargas aplicadas e do conteúdo de água do solo.

A redução na microporosidade deve-se não somente ao fato de que as cargas aplicadas ao solo pelo pisoteio de ovinos não excederam a capacidade de suporte do solo, não ocasionando deformações adicionais, mas também pela capacidade natural de recuperar-se estruturalmente. Essa recuperação pode ser intensificada pelo efeito biológico benéfico da distribuição natural dos dejetos sobre a área, à medida que os ovinos pastejam, e pelo estímulo ao desenvolvimento radicular das forrageiras nativas, o que condiciona o aumento da macroporosidade em detrimento da proporção de microporos.

A porosidade total (Pt), que representa a proporção de macro e microporos, não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 4). De acordo com Zalamena (2008), a Pt apresenta comportamento inversamente proporcional a Ds e semelhante à macroporosidade, para vários tipos de solo. No entanto, observou-se que a Pt do solo somente se correlacionou positivamente com a microporosidade (Tabela 3), o que explica a tendência dos valores de Pt serem menores após o final do ciclo de pastejo. Infere-se que a tendência de redução dos valores de Pt pode ser atribuída a melhoria da disponibilidade de nutrientes às forrageiras nativas, tanto quimicamente como biologicamente, o que promove maior desenvolvimento das raízes das plantas, e estas ocupam os espaços vazios existente no solo.

Verifica-se que a Ds se correlaciona positivamente com a resistência do solo à penetração (RP) (Tabela 3), corroborando com os resultados obtidos na literatura (Silva et al., 2000a, 2000b; Ferreira et al., 2010), determinando que valores críticos de densidade do solo são relacionados a condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (Fonseca et al., 2007). Com o incremento da Ds, a maior fricção entre as partículas e o aumento da coesão no solo atuam como principais mecanismos para o aumento da RP (Vepraskas, 1984). A macroporosidade do solo não somente se correlaciona inversamente significativa com a Ds, mas também com a RP, indicando que o maior crescimento das raízes pode ocorrer onde há maior número e continuidade de macroporos (Hatano et al., 1988), devido a menor resistência que o solo oferece à penetração.

A resistência à penetração (RP) descreve a capacidade física que o solo oferece em suportar algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al., 2001), o que pode ser considerada como importante parâmetro físico para estimar a qualidade do solo em permitir bom desenvolvimento radicular das plantas, uma vez que, o crescimento radicular das plantas é negativamente relacionado com a RP (Collares et al., 2006).

Entre os tratamentos, a RP não apresenta distinção significativa, para as duas épocas de avaliação (Tabela 5). Essa condição pode ser devido à reduzida diferença significativa tanto da densidade do solo (Ds) como da macroporosidade (Macro) e da microporosidade (Micro) (Tabelas 2 e 4), uma vez que os valores de RP se correlacionaram com essas propriedades físicas (Tabela 3). A base científica demonstra que a RP varia positivamente com a Ds e negativamente com o conteúdo de água do solo (Boone & Veen, 1994; Silva et al., 1994; Hakansson & Lipiec, 2000; Imhoff et al., 2000; Araújo et al., 2004; Blainski et al., 2008), sendo que este último está associado tanto à redistribuição do tamanho de poros e, ou, à maior quantidade de sólidos por unidade de volume (Klein & Libardi, 2002).

Tabela 5 - Resistência do solo à penetração (RP) nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).

Tratamento	RP (kPa)	
	Época 1	Época 2
	0,00 a 0,05 m	
CM*	2,59 (0,67) <sup>A a X**</sup>	1,50 (0,72) <sup>A b X</sup>
CN	2,32 (0,56) <sup>A a X</sup>	1,84 (0,33) <sup>A a X</sup>
RM	2,33 (0,33) <sup>A a X</sup>	1,53 (0,38) <sup>A b X</sup>
RN	2,19 (0,89) <sup>A a X</sup>	1,58 (0,70) <sup>A a X</sup>
PM	2,33 (0,64) <sup>A a X</sup>	1,43 (0,42) <sup>A b X</sup>
PN	1,93 (0,51) <sup>A a X</sup>	2,08 (0,64) <sup>A a X</sup>
	0,10 a 0,15 m	
CM	3,17 (1,32) <sup>A a X</sup>	1,83 (0,55) <sup>A a X</sup>
CN	2,86 (0,71) <sup>A a X</sup>	1,99 (0,69) <sup>A a X</sup>
RM	3,23 (0,68) <sup>A a Y</sup>	2,32 (0,48) <sup>A b Y</sup>
RN	2,81 (0,96) <sup>A a X</sup>	1,83 (0,46) <sup>A a X</sup>
PM	3,20 (1,02) <sup>A a X</sup>	1,89 (0,34) <sup>A b X</sup>
PN	2,50 (0,99) <sup>A a X</sup>	1,77 (0,12) <sup>A a X</sup>

\* CM: pastejo contínuo em campo nativo melhorado; CN: pastejo contínuo em campo nativo sem melhoramento; RM: pastejo rotativo em campo nativo melhorado; RN: pastejo rotativo em campo sem melhoramento; PM: pousio de campo nativo melhorado; PN: pousio de campo nativo sem melhoramento. \*\* Letras maiúsculas indicam diferença estatística entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro; letras minúsculas indicam diferença estatística entre épocas a 5 % de probabilidade de erro; letras X e Y indicam diferença estatística entre camadas para cada época a 5 % de probabilidade de erro.

Entre camadas, para a época 1, a RP foi maior na camada subsuperficial em todos os tratamentos, diferindo estatisticamente da camada superficial apenas para a área submetida ao pastejo rotativo melhorado (RM) (Tabela 5). No entanto, em ambas as camadas a RP apresentou valores superiores a 2 MPa, considerado valor crítico para o adequado desenvolvimento das raízes (Reichert et al., 2007). Essa condição pode estar associada aos elevados valores de Ds. O aumento de Ds altera a porosidade do solo, bem como a distribuição do tamanho dos poros para menores tamanhos, refletindo no incremento da RP (Blainski et al., 2008).

Com base no exposto pode-se inferir que o pisoteio animal ocasionado pelo pastejo bovino ao longo dos anos, ao qual a área era submetida, resultou em um solo estruturalmente desfavorável ao crescimento radicular das forrageiras nativas, corroborando com outros estudos da literatura científica (Clark et al., 2004; Lanzanova et al., 2007; Ramos et al., 2010),

No entanto, a RP, que esteve acima do limite considerado crítico para o adequado desenvolvimento das plantas antes do início do pastejo, reduziu para valores abaixo desse (02 Mpa) ao final do período de pastejo, embora nem todas as reduções tenham sido estatisticamente significativas. Na época 2, a RP foi maior que o limite crítico apenas para o PN, na camada superficial (0,00 a 0,05 m) e para o RM na camada subsuperficial (0,10 a 0,15 m).

Estatisticamente, a RP diferiu entre as épocas para os tratamentos CM, RM e PM, na camada de 0,00 a 0,05 m, enquanto que na camada de 0,10 a 0,15 m as reduções significativas foram encontradas somente nos tratamentos RM e PM (Tabela 5).

Entre camadas, a RP diferiu estatisticamente apenas para o RM, demonstrando que a RP tem comportamento semelhante para as diferentes camadas de solo, quando submetido a diferentes sistemas de pastoreio de ovinos e manejo das pastagens.

Os resultados indicam a capacidade de recuperação do solo fisicamente degradado por meio das práticas de pousio da pastagem, melhoramento da fertilidade química e devido ao estímulo biológico ao solo resultante do pastejo de ovinos. Sob integração lavoura-pecuária o pisoteio animal de ovinos não influenciou de forma negativa as propriedades físicas do solo em comparação com áreas não pastejadas (Carassai et al., 2011; Hatfield et al., 2007).

Diante do exposto, pode-se inferir que a melhoria da fertilidade do solo em áreas de campo nativo degradado mediante correção da acidez e fertilização, nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, estimula o desenvolvimento radicular das forrageiras nativas e, assim promove melhor agregação e estruturação do solo, reduzindo a densidade e, conseqüentemente, a resistência que o solo oferece ao crescimento radicular.

## **CONCLUSÕES**

O pastoreio de ovinos em áreas de campo nativo, nos diferentes sistemas de pastejo, contribuiu para a recuperação da qualidade física do solo anteriormente degradado pelo pastejo contínuo de bovinos.

A resistência do solo à penetração reduziu de valores que estavam inicialmente acima de 2 MPa, considerado crítico ao desenvolvimento das culturas, para valores inferiores a esse limite, nos diferentes sistemas de pastoreio adotado.

Práticas de manejo integradas como o melhoramento da fertilidade química do solo associado ao pastejo rotacionado com períodos de descanso das pastagens naturais contribuíram para maior recuperação física-estrutural, principalmente na camada superficial

do solo, o que resultam em um solo estruturalmente mais adequado ao crescimento e desenvolvimento radicular das forrageiras nativas, devido à menor resistência do solo à penetração radicular.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 4, p. 617-625, 2007;
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.24, n.4, p.867-874, 2000;
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A. & SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.32, p. 337-345, 2004;
- BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no planalto Catarinense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 30, n.2, p.263-267, 1995;
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.32, p.975-983, 2008;
- BOONE, F. R. & VEEN, B. W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B. D. & van OUWERKERK, C., eds. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam, Elsevier, p.237-264, 1994;
- CARASSAI, I. J.; CARVALHO, P. C. F.; CARDOSO, R. R.; FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; NABINGER, C.; FREITAS, F. K.; MACARI, S.; TREIN, C. R. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, vol.46, n.10, p.1284-1290, 2011;
- CARRAN, R. A. & THEOBALD, P. W. Effects of excreta return on properties of a grazed pasture soil. *Nutr. Cycling Agroecosys.*, vol.56, p.79-85, 2000;
- CLARK, J. T.; RUSSELL, J. R.; KARLEN, D. L.; SINGLETON, P. L.; BUSBY, W. D. & PETERSON, B. C. Soil surface property and soybean yield response to corn stover grazing. *Agronomy Journal*, vol. 96, p.1364-1371, 2004;

- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.K. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.41, p.1663-1674, 2006;
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DOSOLO – RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre, p. 400, 2004;
- DERNER, J. D.; BRISKE, D. D.; BOUTTON, T. W. Does grazing mediate soil carbon and nitrogen accumulation beneath C4, perennial grasses along an environmental gradient? *Plant and Soil*, Dordrecht, vol.191, n.2, p.147-156, 1997;
- DREWRY, J. J. Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol.114, p. 159–169, 2006;
- DREWRY, J. J.; LOWE, J. A. H.; PATON, R. J. Effect of sheep stocking on soil physical properties and dry matter production on a Pallic Soil in Southland. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol.42, p.493-499, 1999;
- FEDERER, C. A.; TENPAS, G. H.; SCHMITZ, D. R.; TANNER, C. B. Pasture soil compaction by animal traffic. *Agronomy Journal*, Madison, vol.53, p.53-54, 1961;
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, vol.31, n.4, p.913-932, 2010;
- FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiás, v. 37, n. 1, p. 22-30. 2007;
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, vol.43, n.11, p.1583-1590, 2008;
- GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.31, p.863-873, 2007;
- GRADWELL, M. W. Soil moisture deficiencies in puddled pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, New Zealand, vol.9, p.127-136, 1966;

- GREENWOOD, K. L.; MCKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol.41, p.1231-1250, 2001;
- GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; HUTCHINSON, K. J. Long-term stocking rate effects on soil physical properties. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol.37, p.413-419, 1997;
- GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; SCOTT, J. M.; HUTCHINSON, K. J. Changes to soil physical properties after grazing exclusion. *Soil use and Management*.vol.14, p.1924, 1998;
- HAMZA, M. A. & ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Research.*, vol.82, p.121-145, 2005;
- HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, vol.34, n.4, p.535-546, 1988;
- HATFIELD, P. G.; GOOSEY, H. B.; SPEZZANO, T. M.; BLODGETT, S. L.; LENSSEN, A. W.; KOTT, R. W.; MARLOW, C. B. Incorporating sheep into dry land grain production systems III. Impact on changes in soil bulk density and soil nutrient profiles. *Small Ruminant Research*, vol.67, p.222-231, 2007;
- HAKANSSON, I. & LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Tillage Reserch*, vol.53, p.71-85, 2000;
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. New York: Academic Press, 771p. 1998;
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, vol. 35, n. 07, p.1493-1500, 2000;
- IPAGRO. Seção de Ecologia. *Atlas Agroclimático do estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, IPAGRO, 1989;
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:857-867, 2002;
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia: Relação solo-água-plantas*. São Paulo, Agronômica Ceres, p.262, 1979;

- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. DA 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*, vol.31, p.1131-1140, 2007;
- LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G. & CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. *Soil and Tillage Research*, vol. 78, p.151-170, 2004;
- MORAES, A. DE, LUSTOSA, S. B. C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: Simpósio sobre avaliação de pastagens com animais, Maringá, PR. Anais...Maringá :Universidade Estadual de Maringá, 149 p., p.129-149, 1997;
- MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperadas e degradadas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 35, p.155-161, 2005;
- MURPHY, W. M.; MENA-BARRETO, D.; SILMAN, J. P.; DINDAL, D. L. Cattle and sheep grazing effects on soil organisms, fertility and compaction in as mooth-stalked meadow grass dominat White clover sward. *Grass and Forage Science*, vol.50, p.191-194, 1995;
- NABINGER C. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtropico brasileiro. In: I SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS (eds. Dall’Agnol, M.; Nabinger, C.; Rosa L. M. et al.). ULBRA, Canoas, p. 25-76, 2006;
- OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, vol.11, n.3, 2007;
- OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. D.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R. & FORNECK, E.D. Brazil’s neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 9, p.101-116, 2007;
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; GOMES, A.S. & TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, p.521-529, 2001;
- PEREIRA JUNIOR, E. B. Efeito do pisoteio ovino sobre os atributos do solo, em área de coqueiral. 2006. 35p. Dissertação do Mestrado. Centro de Saúde e Tecnologia Rural – Patos - UFCG, 2006;

- PINZÓN, A.; MEZQUITA, E. Compactación de suelos por el pisoteo de animales em pastoreo em el piedmonte amazónico de Colombia. *Pasturas Tropicales*, vol.13, p.21-26, 1991;
- PIZARRO, E. A. Potencial forrajero del género *Paspalum*. *Pasturas Tropicales*, vol.22, nº01, 2000;
- PORTO M. L. Os Campos Sulinos. Sustentabilidade e manejo. *Ciência & Ambiente*, p.119-138, 2002;
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, vol.32, n.1, p.249-258, 2008;
- PROFFITT, A. P. B.; BENDOTTI, S.; MCGARRY, D. A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. I. Effects on soil physical characteristics. *Soil and Tillage Research*, vol. 35, p.199-210, 1995;
- RAMOS, F. T.; MONARI, Y. C.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um latossolo vermelho-amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. *Revista Caatinga*, vol. 23, p. 112-120, 2010;
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos Ciência do Solo*, vol.5, p.49-134, 2007;
- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, vol.30, n.5, p.795-801, 2000b;
- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho Amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol.4, p.239-249, 2000a;
- SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M. & FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.27, p.973-983, 2003;
- SILVA, A. P.; KAY, B. D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. *American Journal of Society Soil Science*, vol.58, p.1775-1781, 1994;
- SIQUEIRA JUNIOR, L. A. Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira. Dissertação, (Mestrado em agronomia) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, f. 107, 2005;

- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, vol.36, n.4, p.1193-1200, 2006;
- STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M. Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 15p., 2005;
- STRECK, E. V. Solos do Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, p.222, 2008;
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol.22, n.4, p.573-581, 1998;
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol.28, n.6, p.1023-1031, 2004;
- VEPRASKAS, M. J. Cone index of loamy sands as influenced by pore size distribution and effective stress. *American Journal of Society Soil Science*, vol.48, p.1220-1225, 1984;
- VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. *American Society Agricultural Engineering*, St. Joseph, vol.4, p.242-246, 1966;
- XU, X.; NIEBER, J. L. & GUPTA, S. C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. *American Journal of Society Soil Science*, vol.56, p.1743-1750, 1992;
- ZALAMENA, J. Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do planalto – RS. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2008;
- ZHAO, Y.; PETH, S.; KRUMMELBEIN, J.; HORN, R.; WANG, Z.; STEFFENS, M.; HOFFMANN, C.; PENG, X. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecological Modelling*, vol.205, p.241-254, 2007;

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2003;

## PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICA-HÍDRICAS DE UM ARGISSOLO SUBMETIDO À DIFERENTES SISTEMAS DE PASTOREIO DE OVINOS EM CAMPO NATIVO

### RESUMO

O uso sustentável do solo constitui-se numa preocupação crescente, principalmente quando sistemas inadequados resultam na sua degradação, o que caracteriza a maior parte das áreas de pastagens nativas submetidas ao pastejo animal. Fisicamente o solo apresenta-se sensível aos diferentes sistemas de uso e manejo das pastagens naturais e hidrologicamente condiciona as relações solo-água. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes sistemas de pastoreio de ovinos em campo nativo melhorado e não melhorado quimicamente sobre as propriedades físico-mecânica-hídricas de um Argissolo. O comportamento compressivo do solo, avaliado por meio da pressão de pré-consolidação e índice de compressão, foram avaliadas nas camadas de 0,00–0,05 m, antes e após o ciclo de pastejo, nos diferentes tratamentos. A condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ ) foi avaliada na camada de 0,00–0,05 e 0,10–0,15 m após o ciclo de pastejo, enquanto que, a capacidade de retenção de água do solo foram avaliadas nas camadas de 0,00–0,05 e 0,10–0,15 m, antes e após o ciclo de pastejo, em áreas de campo nativo submetido à diferentes sistemas de pastoreio de ovinos e manejo da fertilidade da pastagem nativa. A suscetibilidade do solo à compactação adicional aumentou, principalmente no pastejo rotativo em campo nativo melhorado quimicamente. A  $K_{sat}$  apresentou comportamento semelhante entre os tratamentos, sendo que os maiores valores foram encontrados na camada superficial do solo. O solo apresentou tendência de reter menor conteúdo de água após o ciclo de pastejo, o que pode ser atribuído à menor proporção de microporos nessa época. Concluiu-se que o solo fisicamente degradado, em áreas de campo nativo, quando submetido à ciclos de pastejo com ovinos e de pousio de pastagem são passíveis de recuperação da qualidade física-mecânica, sendo que o pastejo rotativo em áreas de campo nativo melhorado permite melhor equilíbrio entre a tríade solo-planta-animal. Entretanto tendem a reter menor conteúdo de água sob diferentes potenciais, o que afeta a disponibilidade de água às plantas, embora a condutividade hidráulica saturada do solo manteve-se inalterada.

**Termos de indexação:** pastejo rotativo, pastagem nativa, propriedades físico-mecânica-hídricas.

## ABSTRACT

The sustainable land use constitutes a growing concern, especially when inadequate systems results in their degradation, which characterizes most of the areas of native pasture submitted to grazing. The research objective was to evaluate the effect of different sheep grazing systems on natural pasture improved and unimproved chemically on the physical-mechanical properties of an Alfisol. The soil resistance to root penetration (RP) and compressive behavior of soil evaluated by pre-consolidation pressure and compression rate were measured in layers of 0.00 to 0.05 and 0.10-0.15 m, before and after the grazing cycle in areas of native submitted to different systems of sheep grazing and fertility management of native pasture. After the grazing cycle the RP values where low, considered critical to plant development (2 MPa), however the susceptibility of soils to compaction increased, especially in rotational grazing on native chemically enhanced. It was concluded that the physically degraded soil in areas of native grassland, when subjected to cycles of grazing by sheep and fallow pasture, regardless of method or grazing intensity, are capable of recovering quality physical-mechanical, and the rotational grazing in areas of improved pasture allows a better balance between the triad soil-plant-animal.

**Index terms:** rotational grazing, native pasture, physical-mechanical properties.

## INTRODUÇÃO

O sistema extensivo de criação de ovinos caracteriza o cenário atual da ovinocultura no Sul do Brasil, com tradicional exploração dos campos nativos. Esses são explorados predominantemente sob regime de pastejo contínuo e extensivo, com os rebanhos confinados em áreas delimitadas e submetidas a elevada carga animal (Nabinger, 2006; Overbeck et al., 2007). Essa condição proporciona o pastejo seletivo do pasto, resultando não somente na desuniformidade da pastagem (super-pastejo e sub-pastejo), mas também em pisoteio animal superior à capacidade de suporte do solo e das pastagens, o que condiciona a degradação desses.

Nas condições de super-pastejo, a pastagem se mantém nos estágios iniciais de crescimento, limitando o acúmulo das substâncias de reservas e o rápido crescimento da forrageira após um período de pastejo. Persistindo essa condição as plantas ficam com o porte reduzido resultando em menor cobertura vegetal e menor presença de resíduos sobre a superfície do solo, o que proporcionará maior suscetibilidade desse aos efeitos das pressões

aplicadas sobre o mesmo (Braidá, 2006). Conseqüentemente, o decréscimo da cobertura vegetal resulta em aumento do tempo de pastejo e deslocamento dos animais na busca pela forragem (Carvalho et al., 2005), o que pode duplicar as pressões aplicadas por unidade de área (Nie et al., 2001), e tornar maior a probabilidade de compactação do solo (Carassai et al., 2011).

A compactação do solo afeta negativamente as relações solo-água-ar, de modo a resultar em aumentos na densidade, microporosidade e resistência do solo à penetração das raízes assim como redução da macroporosidade (Canillas & Salokhe, 2001; Beutler et al., 2004), o que determina menor capacidade de infiltração de água no solo e, conseqüentemente afeta a sua suscetibilidade à erosão hídrica.

Desta maneira, a vulnerabilidade natural do sistema solo-pastagem está hidrológicamente relacionada com a necessidade de adoção de práticas sustentáveis que integrem o animal ao sistema solo-planta. O solo é um sistema dinâmico e suas propriedades podem variar no tempo de acordo com os diferentes sistemas de uso e manejo. Assim, ao mesmo tempo em que o uso e manejo inadequado da tríade solo-planta-animal podem potencializar a degradação desse sistema, a adoção de sistemas que permitem equilibrar os elementos solo-pastagem-ovino, pode potencializar a recuperação de sistemas degradados, manter a sua sustentabilidade e, conseqüentemente, maior desempenho produtivo da pastagem e do rebanho.

Propriedades físico-mecânicas do solo, a exemplo da pressão de pré-consolidação, como indicativo da capacidade física de suporte do solo (Dias Júnior & Pierce, 1996; Kondo & Dias Júnior, 1999; Flores et al., 2007), e o índice de compressão, que indica a susceptibilidade do solo à compactação, tem sido amplamente utilizadas para avaliar o comportamento compressivo do solo. Além dessas, conhecer as propriedades físico-hídricas do solo em diferentes sistemas de manejo significa entender a capacidade do solo conduzir e armazenar a água ao longo do perfil, podendo servir como parâmetro relacionado aos processos erosivos do solo e de disponibilidade de água às plantas, essencial para manter boa cobertura vegetal sobre o solo.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes sistemas de pastoreio de ovinos em campo nativo melhorado e não melhorado quimicamente sobre as propriedades físico-mecânica-hídricas de um Argissolo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido em uma propriedade rural situada no município de Itaara, aos 29°37'28,62" de latitude Sul e 53°47'10,92" de longitude Oeste, inserido na região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido sem estiagem (Cfa). A temperatura média anual é de 19,4°C, sendo a temperatura média mínima de 14-15°C (julho a agosto) e média máxima de 23-25°C (dezembro a fevereiro), (Ipagro, 1989).

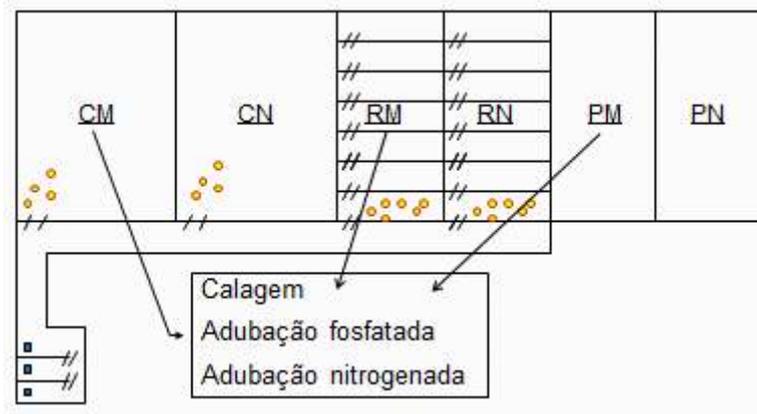
O solo do local é um Argissolo Vermelho Amarelo (Streck et al., 2010), cuja análise granulométrica indicou valores médios de 425 g kg<sup>-1</sup> de argila, 350 g kg<sup>-1</sup> de silte e 225 g kg<sup>-1</sup> de areia (Tabela 1), determinando classe textural argilosa até a profundidade de 0,15 m. O relevo apresenta-se homogêneo em toda a área experimental, sendo caracterizado como plano a suavemente ondulado.

Tabela 01 - Teores de areia, silte e argila nas diferentes camadas do solo estudado.

Camada (m)	Areia Total	Silte	Argila
	-----%-----		
0,00 – 0,05	24	36	40
0,10 – 0,15	21	34	45

A área do estudo, em campo nativo, vinha sendo utilizada para pastejo animal intensivo de bovinos. A vegetação natural é formada por campo misto e a identificação botânica realizada a campo por estudantes vinculados ao Laboratório de Ecologia de Pastagens Naturais (LEPAN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) indicou o predomínio de espécies de gramíneas, principalmente a grama-forquilha (*Paspalum notatum* Fluegge), e espécies de leguminosas em menor quantidade, como o pega-pega (*Desmodium* sp.).

Os sistemas de pastoreio foram conduzidos na área de campo nativo, tendo como tratamentos: pastejo contínuo em campo nativo melhorado (CM); pastejo contínuo em campo nativo sem melhoramento (CN); pastejo rotativo em campo nativo melhorado (RM); pastejo rotativo em campo sem melhoramento (RN); pousio de campo nativo melhorado (PM); pousio de campo nativo sem melhoramento (PN), conforme croqui:



Cada tratamento teve sua área delimitada na forma de piquete, utilizando-se cercas eletrizadas compostas por 3 fios de arame liso galvanizado presos por meio de materiais isoladores. As cercas foram sustentadas por palanques de madeira, espaçados em 4 m.

A condição de melhoramento do campo nativo foi efetuada mediante correção da acidez e fertilização, sendo realizado dois meses antes do início do ciclo de pastejo (junho de 2011), de acordo com a análise de solo coletado nas parcelas e com base na interpretação e recomendação de adubação para pastagens naturais com introdução de gramíneas (CQFS-RS/SC, 2004).

O pastejo foi realizado no período de primavera-verão, com início em agosto de 2010 e término em fevereiro de 2011. Em cada tratamento o pastejo dos ovinos foi efetuado de modo a atender a lotação de 20 animais  $ha^{-1}$ , com aproximadamente 40 kg por ovino, o que equivale a uma carga animal de 800 kg/há.

Cada piquete de pastejo contínuo teve área de 2000  $m^2$ , sendo pastejada por 4 ovinos durante 6 h por dia. O pastejo rotativo foi efetuado em uma área de 1000  $m^2$  para cada tratamento, subdivididos em 21 piquetes de 48  $m^2$  (sub-parcelas), sendo cada piquete pastejado por dois ovinos durante 6 horas em um dia e com posterior período de descanso de 21 dias. Os ovinos foram conduzidos aos pastejos de forma simultânea, em 3 sub-parcelas, o que possibilitou completar o ciclo de pastejo em uma semana. Essa condição foi definida em ambos os tratamentos de pastejo rotativo, para obter maior homogeneidade das repetições. Os piquetes mantidos em pousio (PN e PM) tiveram uma área de 1000  $m^2$  para cada tratamento.

Para avaliar os parâmetros compressivos do solo (compressibilidade e pressão de pré-consolidação) amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas antes e após seis meses do início do pastejo (Época 1 e Época 2, respectivamente), enquanto que para avaliar tanto as propriedades físicas do solo como densidade e a porosidade como as propriedades hídricas, especificamente a capacidade de retenção de água no solo (CRA) e a condutividade

hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), as amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0–0,05 e 0,10–0,15 m de profundidade, sendo que a  $K_{sat}$  foi avaliada somente após o ciclo de pastejo.

Em cada tratamento, foram determinados 3 pontos de amostragem, onde coletaram-se amostras de solo com 3 repetições para cada propriedade do solo avaliada. No laboratório, as amostras foram saturadas por capilaridade, pesadas e submetidas às tensões de 6 kPa, em coluna de areia (Reinert & Reichert, 2006), sendo posteriormente secas em estufa a 105 °C até peso constante, para determinar a densidade do solo ( $D_s$ ), a macroporosidade (Macro), a microporosidade (Micro) e a porosidade total (Pt).

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado com aplicações sequenciais de cargas estáticas de 12,5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, com um tempo de carga de 5 minutos. Com base na variação vertical, medido na prensa depois da aplicação de cada uma das cargas, calcularam-se os correspondentes índices de vazio (volume de vazios dividido pelo volume de sólidos) e as densidades das amostras de solo, com os quais foram obtidas as curvas de compressão, a fim de determinar o índice de compressão (IC) e a pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ), pelo método de Casagrande (Holtz & Kovaks, 1981), sendo que os parâmetros da curva foram obtidos pelo SAS.

Para o cálculo da quantidade de água disponível considerou-se a diferença do conteúdo de água compreendido entre o limite superior de disponibilidade de água às plantas, chamada de capacidade de campo (CC), e o limite inferior de disponibilidade, conhecido como ponto de murcha permanente (PMP), (Hillel, 1980), correspondente a 10 kPa e 1500 kPa respectivamente.

A capacidade de retenção de água no solo, estimada pela CRA, foi avaliada por meio de amostras de solo equilibradas em diferentes tensões de sucção, sendo usadas para calcular a distribuição do tamanho de poros nos potenciais de -1, -6, -10 kPa, em mesa de tensão com coluna de areia, e -33 e -100 KPa, em câmara de Richards. A retenção de água para os potenciais -500, -1000 e - 1500 kPa foi determinada utilizando o psicrômetro (WP4, “Dewpoint potentiometer” da Campbell Scientific; Decagon Devices, 2000). Aos valores da umidade volumétrica e do potencial matricial foi ajustado a equação de Van Genuchten, para a construção das CRAs.

Para avaliar a condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ ) as amostras foram saturadas e submetidas à determinação da  $K_{sat}$  com o auxílio de um permeâmetro de carga decrescente, conforme descrito em Hartge & Horn (1992).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição de normalidade, onde todas as propriedades seguiram distribuição normal. Então, os dados foram

submetidos à análise de variância fatorial, com comparação múltipla pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Assim, foi possível verificar se a resposta é alterada significativamente pelo Fator A (tratamentos), pelo Fator B (épocas) ou pelo Fator C (camadas). Além disso, foi aplicada a correlação de Pearson ( $r$ ) entre as variáveis, que é usualmente utilizada no caso paramétrico ( $r$ ). Esse cálculo estatístico exige mensuração dos escores no nível de intervalos equiespaçados, com escores provenientes de uma população normal, para que se possa comparar a significância de  $r$ .

Os dados foram processados e analisados utilizando-se o software Statistical Package for Social Science 15.0 (SPSS). Para a análise de variância fatorial, utilizou-se o programa estatístico STATISTICA 7.0 Stat Soft, com o nível de significância de  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento compressivo do solo pode ser medido e avaliado por meio da curva de compressão do solo (Dias Júnior et al., 2004), que representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e a densidade do solo ou o índice de vazios. A pressão de pré-consolidação divide essa curva em uma região de deformações recuperáveis e em uma de deformações não-recuperáveis (Parente et al., 2011), sendo que, nesse último caso, ocorrerá compactação adicional e, conseqüentemente degradação da estrutura do solo. Desta maneira a pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) tem sido usada como uma estimativa da capacidade de suporte de carga do solo, indicando que a aplicação de pressões menores que a  $\sigma_p$  causa deformações elásticas (recuperáveis) e as propriedades físicas mantêm-se constante, enquanto a aplicação de pressões mais elevadas causa deformações plásticas (não-recuperáveis) e as propriedades físicas do solo alteram-se consideravelmente (Lier et al., 2010).

A  $\sigma_p$  não diferiu entre tratamentos, tanto antes como ao final do ciclo de pastejo (Tabela 2). Essa propriedade delimita as deformações reversíveis e irreversíveis (Dias Junior & Pierce, 1996) que podem ocorrer quando o solo é submetido à determinadas cargas ou pressões, o que afeta diretamente a degradação do solo.

Tabela 2 - Pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressão (IC) nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).

Tratamento	$\sigma_p$		IC	
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
	0,00 a 0,05 m			
CM	76,21 (32,60) <sup>A a*</sup>	106,41 (17,83) <sup>A a</sup>	0,30 (0,02) <sup>BC b</sup>	0,39 (0,05) <sup>AB a</sup>
CN	56,30 (17,58) <sup>A b</sup>	107,27 (44,82) <sup>A a</sup>	0,29 (0,02) <sup>BC b</sup>	0,37 (0,03) <sup>AB a</sup>
RM	86,78 (50,64) <sup>A a</sup>	90,78 (42,61) <sup>A a</sup>	0,38 (0,02) <sup>A b</sup>	0,44 (0,06) <sup>A a</sup>
RN	89,33 (23,23) <sup>A a</sup>	97,72 (22,09) <sup>A a</sup>	0,30 (0,03) <sup>C b</sup>	0,40 (0,04) <sup>AB a</sup>
PM	104,71 (48,45) <sup>A a</sup>	148,59 (40,95) <sup>A a</sup>	0,30 (0,03) <sup>BC b</sup>	0,37 (0,03) <sup>B a</sup>
PN	92,47 (19,73) <sup>A a</sup>	99,08 (43,76) <sup>A a</sup>	0,35 (0,02) <sup>A b</sup>	0,43 (0,05) <sup>AB a</sup>

\* Letras maiúsculas indicam diferença estatística entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro; letras minúsculas indicam diferença estatística entre épocas a 5 % de probabilidade de erro.

A  $\sigma_p$  esta relacionada com o histórico de pressões que o solo foi submetido, o que indica que se um solo já experimentou pressões prévias, as deformações adicionais, expressas pelo aumento da Ds, somente ocorrerão se as cargas aplicadas forem maiores que essas (Stone & Larson, 1980). Na literatura são mencionados que o gado exerce maior pressão estática (160-192 kPa) sobre o solo em relação as pressão exercidas pelos ovinos (83 kPa), embora essas pressões duplicam-se quando os animais estão andando (Willatt & Pullar, 1983). Esse fato justifica a não ocorrência de deformações adicionais no solo pelo pisoteio dos ovinos, uma vez que a mesma área de pastagem era submetida anteriormente ao pastejo de bovinos. Além disso, pode-se inferir que essa condição seja devido ao efeito amortecedor resultante do sistema radicular adensado do campo nativo.

Entre épocas, o pastejo contínuo em campo nativo sem melhoramento foi o único sistema que aumentou, de maneira significativa, a capacidade de suporte de carga do solo indicada pela pressão de pré-consolidação, desde antes até o final do ciclo de pastejo (Tabela 2).

A  $\sigma_p$  apresenta variabilidade relacionada com a densidade do solo (Silva et al., 2002a; Imhoff et al., 2004), onde os menores valores de Ds condicionam a menor pressão de pré-consolidação e, conseqüentemente, a menor capacidade de suporte de carga. No entanto, nesse estudo verificou-se que a redução significativa da Ds entre as épocas (Tabela 2 – artigo 1) não se correlacionou significativamente positivo com a  $\sigma_p$  (Tabela 3).

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis totais pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) e índice de compressão (IC) e demais propriedades físicas do solo.

Var	$\sigma_p$	IC	Iv	GS	Ds	Pt	Macro	Micro	MO
$\sigma_p$	1	0,16	-0,14	-0,34**	0,10	-0,22	0,33*	-0,39**	0,09

IC	1	0,87**	-0,86**	-0,87**	-0,11	0,63**	-0,64**	0,20
Iv		1	-0,72**	-0,79**	0,17	0,50**	-0,35**	0,37**
GS			1	0,68**	0,12	-0,63**	0,73**	-0,11
Ds				1	0,09	-0,69**	0,40**	0,02
Pt					1	-0,02	0,56**	0,38**
Macro						1	-0,42**	0,10
Micro							1	0,01
MO								1

\* significativa a 0,05%; \*\*significante a 1%

Além da Ds a  $\sigma_p$  varia de acordo com o conteúdo de água no solo (Lier et al., 2010). O grau de saturação do solo se correlacionou negativamente com a  $\sigma_p$  (Tabela 3). Baseado nisso pode-se inferir que a tendência de aumento dos valores de  $\sigma_p$  na época 02 pode ser devido ao menor grau de saturação das amostras de solo utilizadas nas avaliações dessa época (Tabela 4). A água atua como "lubrificante" entre as partículas do solo (McNabb et al., 2001; Lima et al., 2006), reduzindo não somente a superfície de contatos mas também as forças de ligação entre elas, o que favorece o deslocamento dessas partículas a medida que ocorre incremento do conteúdo de água do solo e, conseqüentemente, reduz a sua capacidade de suporte de carga (Silva et al., 2002). O menor grau de saturação das amostras de solo pode ser resultante da variação da distribuição do tamanho dos poros entre as épocas, onde na época 02 observa-se aumento da macroporosidade e redução da microporosidade, o que, respectivamente, pode ter favorecido a drenagem da água no solo e diminuído a retenção dessa quando as amostras de solo foram submetidas ao potencial de sucção de 10 Kpa. Verifica-se que a macroporosidade do solo se correlacionou negativamente com o grau de saturação do solo, enquanto que a microporosidade positivamente (Tabela 3).

Tabela 4 - Grau de saturação das amostras (GS) e índices de vazios (Iv), nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, antes e ao final do ciclo de pastejo (Épocas 1 e 2, respectivamente).

Tratamento	GS		Iv	
	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
	0,00 a 0,05 m			
CM	0,75 (0,01) <sup>AB a*</sup>	0,56 (0,03) <sup>AB b</sup>	0,99 (0,04) <sup>BC b</sup>	1,10 (0,07) <sup>AB a</sup>
CN	0,78 (0,03) <sup>AB a</sup>	0,61 (0,09) <sup>AB b</sup>	0,99 (0,03) <sup>BC a</sup>	1,03 (0,08) <sup>BC a</sup>
RM	0,66 (0,05) <sup>B a</sup>	0,60 (0,05) <sup>AB b</sup>	1,15 (0,08) <sup>A a</sup>	1,23 (0,11) <sup>A a</sup>
RN	0,70 (0,05) <sup>AB a</sup>	0,57 (0,03) <sup>AB b</sup>	0,88 (0,03) <sup>C b</sup>	1,16 (0,10) <sup>AB a</sup>
PM	0,79 (0,07) <sup>A a</sup>	0,64 (0,04) <sup>A b</sup>	0,84 (0,10) <sup>C a</sup>	0,92 (0,07) <sup>C a</sup>
PN	0,69 (0,06) <sup>AB a</sup>	0,54 (0,03) <sup>B b</sup>	1,01 (0,05) <sup>B b</sup>	1,19 (0,10) <sup>AB a</sup>

\* Letras maiúsculas indicam diferença estatística entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro; letras minúsculas indicam diferença estatística entre épocas a 5 % de probabilidade de erro.

O Índice de compressão (IC), que representa a suscetibilidade do solo a compactação, foi maior para o sistema de pastoreio rotativo melhorado, em ambas as épocas (Tabela 2). Este diferiu estatisticamente do sistema de pousio melhorado e do sistema de pastoreio contínuo sem melhoramento, nas épocas 1 e 2 respectivamente, os quais apresentaram os menores valores de IC.

O IC aumentou, diferindo de forma estatística, desde antes até o final do ciclo de pastejo, para todos os sistemas de pastoreio (Tabela 2). Essa diferença estatística pode ser atribuída à relação inversa com a densidade do solo (Tabela 3), onde as maiores densidades condicionarão menor suscetibilidade do solo à degradação estrutural nos sistemas de pastejo (Rao & Revanasiddappa, 2003) e conseqüentemente a menores índices de compressão.

O maior valor de IC, verificado no pastejo rotativo melhorado (RM), possivelmente deve-se a menor densidade do solo encontrada após seis meses de pastejo (Tabela 2-Artigo1). A melhoria química do solo mediante calagem e fertilização potencializa o desenvolvimento da biomassa aérea e radicular, sendo esse efeito mais evidente quando o sistema de pastoreio integra a decomposição dos dejetos de ovinos, com períodos de pousio das pastagens, o que permite a renovação da biomassa aérea. Por sua vez, os dejetos de ovinos estimulam a atividade biológica e, conjuntamente à ação mecânica das raízes resultam em menor densidade do solo, resultando em maior IC.

Estudos demonstraram que, no caso de um solo do cerrado, apresenta maior suscetibilidade a deformar-se para conteúdo de água mais elevado, o que está relacionado com sua menor densidade e com o maior espaço poroso disponível à deformação (Oliveira et al., 2003).

Os maiores valores de IC, observados por Debiasi et al. (2008) em um solo submetido ao consórcio de aveia preta+ervilhaca, foram atribuídos à redução da  $D_s$  e ao aumento da porosidade total proporcionados pelo sistema radicular das plantas. De acordo com Braidá et al. (2010), os maiores teores de carbono orgânico e a maior biomassa radicular presentes na camada superficial do solo afetam a suscetibilidade deste à deformação quando submetido a pressões.

A maior compressibilidade do solo advém da proporção de vazios em seu interior, onde o maior índice de vazios pode resultar em solo com estrutura mais densa após sofrer

aplicações de cargas, e conseqüentemente seu IC será maior. Essa afirmação se justifica devido à significativa correlação positiva entre o IC e o índice de vazios (Tabela 3).

A condutividade hidráulica saturada (Ksat) expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso, que varia de solo para solo e até no mesmo solo, dependendo, portanto, das propriedades do meio e do fluido (Libardi, 2000). O aumento do nível de compactação do solo acarreta aumento dos microporos e principalmente diminuição dos macroporos, determinando redução na condutividade hidráulica saturada, devido a redução dos poros maiores.

A camada superficial do solo apresentou maior condutividade hidráulica saturada em relação a camada subsuperficial, exceto para o tratamento CM (Tabela 05). Pode-se inferir que essa condição resulta do comportamento da Ds e da macroporosidade do solo, onde os valores tendem a ser maiores e menores, respectivamente, na camada subsuperficial estudada (Tabela 02 e 04 – Artigo 01).

Tabela 05 – Condutividade hidráulica saturada (Ksat) nos diferentes sistemas de pastoreio de ovinos, para a época 02, nas camadas estudadas.

Tratamentos	Ksat (mmh <sup>-1</sup> )	
	0,00 a 0,05 m	0,10 a 0,15 m
CM	183,04 (156,38) <sup>B a *</sup>	99,27 (132,7) <sup>B b</sup>
CN	177,49 (135,72) <sup>B a</sup>	48,29 (49,7) <sup>B b</sup>
RM	166,92 (29,49) <sup>B a</sup>	53,42 (20,8) <sup>B b</sup>
RN	170,99 (73,56) <sup>B a</sup>	64,13 (66,4) <sup>B b</sup>
PM	144,82 (45,07) <sup>B a</sup>	52,98 (37,9) <sup>B b</sup>
PN	180,54 (60,05) <sup>B a</sup>	78,43 (30,0) <sup>B b</sup>

\* Letras maiúsculas indicam diferença estatística entre os tratamentos a 5% de probabilidade de erro; letras minúsculas indicam diferença estatística entre as diferentes camadas a 5% de probabilidade de erro.

Verifica-se que a condutividade hidráulica saturada apresentou alta correlação negativa com a Ds e se correlacionou positivamente com a macroporosidade do solo (Tabela 06). Com o adensamento, as partículas ou poros do solo se rearranjam, causando anisotropia das funções do poro (Horn, 2003) e, conjuntamente ao aumento da Ds, a redução da porosidade total às custas dos poros maiores, resultam na redução da condutividade hidráulica do solo (Reichert, 2007). Os macroporos são os principais responsáveis pelo fluxo de água no

solo (Boone & Veen, 1994), o que determina a condutividade hidráulica do solo saturado e esta condiciona tanto a infiltração de água no solo, bem como a redistribuição e troca gasosa (Hillel, 1998).

Tabela 06 - Correlação de Pearson para valores de Ksat e variáveis físicas do solo.

VAR	Ksat	Densidade	Macro	Micro	Ptotal
Ksat	1	-0,291*	0,193*	-0,176	0,040
Densidade		1	-0,692**	0,732**	0,088
Macro			1	-0,417**	0,023
Micro				1	0,564**
Ptotal					1

\*significante a 5%, \*\*significante a 1%

Estudos demonstram que o pisoteio de ovinos em áreas de pastagens sob pastejo intensivo resultaram no aumento da porosidade e da Ds e, conseqüentemente reduções na condutividade hidráulica saturada, limitando-se aos primeiros 0,05 m do solo (Greenwood et al., 1998). Entretanto, no presente estudo, as propriedades físicas do solo como a Ds e macroporosidade apresentaram melhoria positiva, verificados respectivamente, pela redução e aumento dos seus valores após o ciclo de pastejo, principalmente na camada superficial do solo, o que determinou a maior condutividade hidráulica saturada nessa camada.

A Ds do solo variou entre diferentes tratamentos, entretanto, a condutividade hidráulica saturada se comportou semelhantemente entre os mesmos, em ambas as camadas estudadas, com exceção do CM. Essa condição pode ser atribuída ao comportamento da macroporosidade entre os tratamentos, onde verifica-se variabilidade não significativa entre esses (Época 02/Tabela 03 – Artigo 01). O fluxo de água em solo saturado ocorre preferencialmente nos macroporos (volume de poros de diâmetro maior que 50  $\mu$ m), portanto, ocorre comportamento semelhante entre a condutividade hidráulica do solo saturado e a macroporosidade (Mesquita & Moraes, 2004). Outros estudos também demonstram a relação entre a variável macroporosidade com a Ksat (Sampaio et al., 2006; Ribeiro et al., 2007; Silva et al., 2005; Kaiser, 2006).

A variabilidade na distribuição dos tamanhos dos poros entre as épocas estudadas pode afetar diretamente a capacidade de retenção de água no solo e sua disponibilidade para as plantas. Na Tabela 7 são apresentados os valores do conteúdo de água no solo disponível para as plantas, para as diferentes épocas e camadas estudadas, em função dos diferentes potenciais

aplicados (10 kPa e 1500 kPa). Verifica-se que antes do ciclo de pastejo (época 1) o solo apresentava maior conteúdo de água retido entre a faixa de umidade da Capacidade de Campo (10 KPa) e do Ponto de Murcha Permanente (1500 KPa). Pode-se inferir que essa condição resulta da maior quantidade de microporos presentes inicialmente no solo, antes do ciclo de pastejo. A maior microporosidade do solo, associada a redução da macroporosidade, possibilita maior armazenamento de água na capacidade de campo e, conseqüentemente maior quantidade de água disponível às plantas (Bertol & Santos, 1995).

Tabela 07 - Disponibilidade de água às plantas nas diferentes camadas de solo estudadas antes e após o ciclo de pastejo dos ovinos (época 1 e 2 respectivamente).

Tratamento	Camada (m)	CC*		PMP		AD	
		Época 1	Época 2	Época 1	Época 2	Época 1	Época 2
-----cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> -----'							
CM	0,00 a 0,05	0,48	0,37	0,26	0,21	0,22	0,16
	0,10 a 0,15	0,47	0,33	0,27	0,20	0,19	0,13
CN	0,00 a 0,05	0,49	0,35	0,27	0,21	0,21	0,15
	0,10 a 0,15	0,45	0,34	0,34	0,19	0,11	0,15
RM	0,00 a 0,05	0,50	0,36	0,23	0,20	0,26	0,17
	0,10 a 0,15	0,45	0,34	0,24	0,19	0,22	0,15
RN	0,00 a 0,05	0,46	0,35	0,23	0,17	0,23	0,18
	0,10 a 0,15	0,44	0,33	0,33	0,18	0,10	0,15
PM	0,00 a 0,05	0,48	0,36	0,22	0,16	0,26	0,20
	0,10 a 0,15	0,41	0,34	0,26	0,21	0,15	0,13
PN	0,00 a 0,05	0,49	0,35	0,22	0,18	0,27	0,17
	0,10 a 0,15	0,48	0,36	0,19	0,20	0,29	0,16

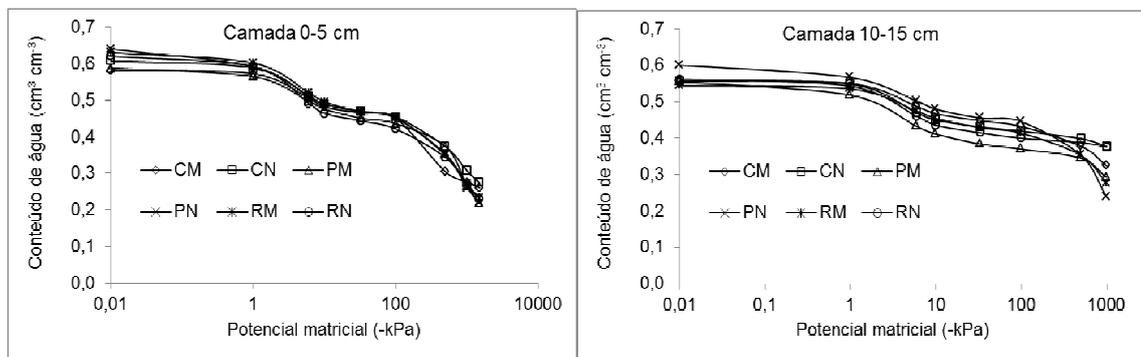
\* CC: Capacidade de campo (10 kPa); PMP: Ponto de Murcha Permanente (1500 kPa); AD: Água disponível (CC-PMP).

Na literatura, considera-se como limite crítico de disponibilidade hídrica para as plantas a faixa de conteúdo de água compreendido entre 0,15 e 0,25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (Cockrooft & Olsson, 1997). Desta maneira pode-se inferir que o conteúdo de água disponível, principalmente após o ciclo de pastejo está limitando o desenvolvimento das plantas. No entanto, essa inferência é um tanto empírica, uma vez que, as propriedades e atributos do solo atuam de forma conjunta e complexa sobre os fatores de crescimento e, assim, a análise isolada de uma propriedade poderia ter significado muito limitado.

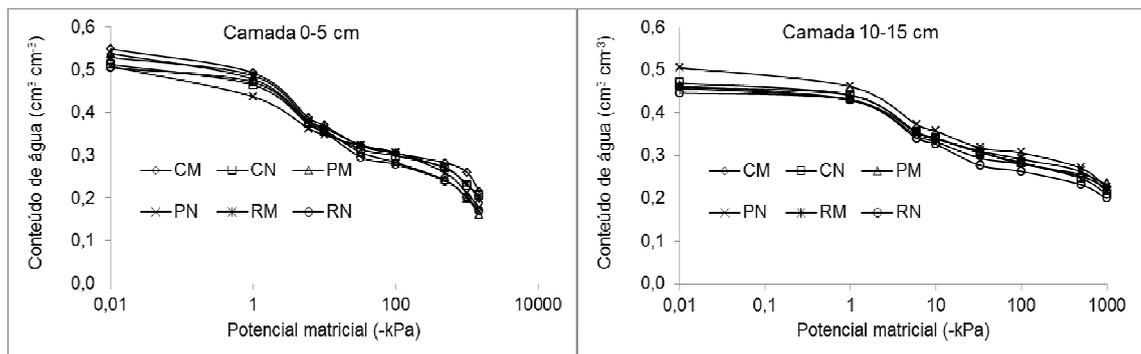
A retenção de água do solo é característica específica de cada solo, dependente de fatores como o teor de argila (Ferreita et al., 1999), teor de matéria orgânica, estrutura e densidade do solo (Beutler et al., 2001). A curva de retenção de água (CRA) representa a

relação entre o potencial da água no solo ( $\Psi$ ) e conteúdo de água ( $\theta$ ) (Figura 01). O formato da curva é influenciado predominantemente pela estrutura do solo, nos potenciais mais elevados, enquanto que a textura (relação direta com a ASE do solo) é quem mais afeta a curva nos menores potenciais (Brady, 1983).

a) Antes do ciclo de pastejo:



b) Após o ciclo de pastejo:



**Figura 1.** Curva característica de retenção de água no solo em função da Umidade Volumétrica ( $U_v \text{ cm}^{-3}$ ) e do potencial aplicado (KPa), nas diferentes camadas para o Argissolo submetido à diferentes condições de pastejo de ovinos e manejo das pastagens.

A umidade de saturação do solo foi semelhante entre os sistemas de pastoreio de ovinos e de pousio da pastagem, variando de 0,58 no CM a 0,64  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  no PN e de 0,51 no CN, RN e PN a 0,55 no CM, antes e após o ciclo de pastejo respectivamente, na camada superficial do solo (Figura 1). Entretanto, entre as diferentes épocas, constata-se que antes do ciclo de pastejo (época 01) o solo apresentou maior conteúdo de água em condições de saturação (Figura 01), principalmente na camada de 0,00 a 0,05 m. Essa condição pode ser atribuída a maior porosidade total verificada na camada superficial do solo antes do ciclo de pastejo.

Os diferentes tratamentos, em ambas as épocas e camadas estudadas, tendem a se comportar semelhantemente à medida que o potencial aplicado aumenta. Com base nesse comportamento podemos inferir que os diferentes sistemas de pastoreio de ovinos não afetaram significativamente a retenção de água no solo sob diferentes potenciais. Entretanto, se considerar entre épocas, verifica-se que, antes do ciclo de pastejo, o conteúdo de água retido à medida que o potencial aplicado aumenta apresenta-se maior em relação ao final do pastejo, principalmente até o potencial de 100 kPa. A maior quantidade de microporos presentes no solo antes do ciclo de pastejo pode ter contribuído para essa condição. Os microporos são capilares intra-agregados com diâmetro menor que 0,05 mm, responsáveis pela retenção da água no solo. Quanto menor o diâmetro dos poros, maior é a força de retenção da água (Hillel, 1980). Nesse caso o aumento da microporosidade favorece a retenção de água no solo (Oliveira et al., 2004), entretanto compromete o fluxo de ar e água no solo (Cavenage et al., 1999).

A partir do potencial de 1 kPa até 10 kPa ocorre redução mais acentuada do conteúdo de água retido, principalmente na camada superficial do solo avaliado na época 02. Essa condição pode ser atribuída à macroporosidade do solo, a qual apresentou maiores valores na camada superficial do solo após o ciclo de pastejo.

A camada subsuperficial do solo (0,10 a 0,15 m), em ambas as épocas, apresentou maior conteúdo de água retido à medida que o potencial aumentava, a partir do potencial de -10 kPa, o que pode ser devido a influência da textura do solo e da área superficial específica da fração sólida do solo. Em tensões maiores, a retenção não depende da estrutura do solo, mas da composição granulométrica e da mineralogia do solo, devido à área superficial específica, estritamente relacionada com a adsorção de água (Gupta & Larson, 1979). A camada subsuperficial do solo apresenta maior teor de argila em relação à camada superficial (Tabela 1). Partículas com maior área superficial específica, como a argila, apresentam capacidade de reter água com maior energia potencial, devido à interação entre as cargas desbalanceadas da superfície das partículas com a molécula bipolar da água, a qual fica retida mais fortemente à medida que o solo está sendo dessaturado.

## CONCLUSÕES

O pisoteio dos ovinos em diferentes sistemas de pastoreio e manejo das pastagens nativas não afetou negativamente a capacidade de suporte do solo, em comparação a áreas não pastejadas.

A suscetibilidade do solo à compactação adicional aumentou após o ciclo de pastejo e manejo da pastagem nativa, como resultado da redução da densidade do solo.

Os diferentes sistemas de pastoreio de ovinos não afetaram a condutividade hidráulica saturada do solo, refletindo o mesmo comportamento da macroporosidade do solo.

A camada superficial do solo apresentou os maiores valores de  $K_{sat}$ , sendo esses condicionados pelos menores valores de  $D_s$  e maior proporção de macroporos presentes nessa camada.

Após o ciclo de pastejo, nos diferentes sistemas de pastejo, o solo apresentou tendência de reter menor conteúdo de água, principalmente nas menores tensões aplicadas, devido a anisotropia das funções dos poros ocasionados pelo aumento da macroporosidade e redução da microporosidade após o ciclo do pastejo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X. de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.1047-1054, 2000;
- BERTOL, I.; SANTOS, J. C. P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no planalto Catarinense. Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 30, n.2, p.263-267, 1995;
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol. 39, n.6, p.581-588, 2004;
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, F. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos Cerrados no Estado de MG. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa, MG, vol.25, n. 1, p. 129-136, 2001;
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol.32, p.975-983, 2008;
- BOONE, F. R.; VEEN, B. W. Mechanisms of crop responses to soil compaction. In: SOANE, B. D.; VAN OUWERKWRK, C. Soil compaction in crop production. Amsterdam: Elsevier, p. 237-264, 1994;
- BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos, p. 647, 1983;

- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.14, p.131–139, 2010;
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J., Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 30, p. 605-614, 2006;
- CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. Regression analysis of some factors influencing soil compaction. *Soil and Tillage Research*, vol.61, p.167-178, 2001;
- CARASSAI, I. J.; CARVALHO, P. C. F.; CARDOSO, R. R. ; FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; NABINGER, C.; FREITAS, F. K.; MACARI, S.; TREIN, C. R. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio com cordeiros em integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, vol.46, p.1284-1290, 2011;
- CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. de; TREIN, C. R.; FLORES, J. P. C.; CEPIK, C. T. C.; LEVIEN, R.; LOPES, M. T.; BAGGIO, C.; LANG, C. R.; SULC, R. M.; PELISSARI, A. O estado da arte em integração lavoura e pecuária. In: GOTTSCHELL, C. S.; SILVA, J. L. S.; RODRIGUES, N. C. (Org.). *Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia*. Canoas: ULBRA, p.7-44, 2005;
- CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999;
- COCKROOFT, B., OLSSON, K. A. Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. IN: GREGORICH, E. G., CARTER, M. R. Eds., *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. *Developments in Soil Science*, vol. 25. Elsevier, New York, NY, p. 339– 350, 1997;
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. & KAISER, D. K. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.41, p.1663-1674, 2006;
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DOSOLO – RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 10 ed. Porto Alegre, 400p., 2004;
- DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. vol.32, p.2629-2637, 2008;

- DECAGON DEVICES, I. Operator's manual version 1.3 WP4 dewpoint potentiometer. Washington: Decagon., p.70, 2000;
- DIAS JÚNIOR, M. S. & PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 20, p.175-182, 1996;
- DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, A. R.; FONSECA, S.; LEITE, F. P. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um permeâmetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 28, p. 805-810, 2004;
- GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; SCOTT, J. M.; HUTCHINSON, K. J. Changes to soil physical properties after grazing exclusion. *Soil use and Management*.vol.14, p.1924, 1998;
- GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. *Water Resources Research*, Washington, vol.15, n.6, p.1633-1635, 1979;
- HARTGE, K. H.; HORN, R. *Die Physikalische Untersuchung Von Böden*. Stuttgart: Bodenkunde, Universität Kiel, Kiel. p. 177, 1992;
- HORN, R. Stress- strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulical processes. *Geoderma*, vol.116, p.7-88, 2003;
- HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. New York, Academic Press. p.413, 1980;
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. San Diego: Academic Press, p.771, 1998;
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolo da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, vol. 23, p. 513-524, 1999;
- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, G. D. B. J.; BRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura/pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, p.771-780, 2007.
- HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. *An introduction to geotechnical engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, 733 p., 1981;
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of Hapludox. *American Journal of Society Soil Science*, vol.68, p.17-24, 2004;
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, vol. 35, n. 07, p.1493-1500, 2000;

- KAISER, D. R. Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. f.114, 2006;
- KONDO, M. K. & DIAS JÚNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 23, p.211-218, 1999;
- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. DA 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*, vol.31, p.1131-1140, 2007;
- LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G. & CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. *Soil and Tillage Research*, vol. 78, p.151-170, 2004;
- LEAO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 28, p.415-422, 2004;
- LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 30, nº. 02, 2006;
- MCNABB, D. H.; STARTSEV, A. D.; NGUYEN, H. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *American Journal of Society Soil Science*, vol.65, p.1238-1247, 2001;
- MESQUITA, M. G. B. F. & MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, vol.34, p.963-969, 2004.;
- NABINGER, C. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtropico brasileiro. In: I SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS (eds. Dall’Agnol, M.; Nabinger, C.; Rosa, L. M., et al.). ULBRA, Canoas, p. 25-76, 2006;
- NIE, Z. N.; WARD, G. N.; MICHAEL, A. T. Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil on south-western Victoria. *Australian Journal of Agricultural Research*, vol.52, p.37-43, 2001;
- OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e fisico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 28, n. 2, p. 327-336, 2004;
- OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.D.; BLANCO, C.C.; BOLDRINI, I.I.; BOTH, R. & FORNECK, E.D. Brazil’s neglected biome:

- The South Brazilian Campos. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, vol. 9, p.101-116, 2007;
- PEREIRA JUNIOR, E. B. Efeito do pisoteio ovino sobre os atributos do solo, em área de coqueiral. 2006. 35p. Dissertação do Mestrado. Centro de Saúde e Tecnologia Rural – Patos - UFCG, 2006;
- RAMOS, F. T.; MONARI, Y. C.; NUNES, M. C. M.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um latossolo vermelho-amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. Revista Caatinga, vol. 23, p. 112-120, 2010;
- RAO, S.M.; REVANASIDDAPPA, K. Role of soil structure and matric suction in collapse of a compacted clay soil. Geotechnical Testing Journal, vol. 26, p. 102–110, 2003;
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações. São Paulo: Editora Manole. p. 478, 2004;
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. Tópicos Ciência do Solo, vol.5, p.49-134, 2007;
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência e Ambiente, vol.27, p.29-48, 2003;
- REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. Ciência Rural, vol. 36, p.1931-1935, 2006;
- RIBEIRO, K. D. et al. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, vol.31, n. 4, p. 1167-1175, 2007;
- SAMPAIO, F. M. T. et al. Correlações entre a permeabilidade e os atributos físicos do solo da sub-bacia do córrego centenário da cidade de Lavras-MG. Ciência e agrotecnologia, Lavras, vol. 30, n. 4, 2006;
- SILVA, M. A. S. da, et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. Ciência Rural, Santa Maria, vol. 35, n. 3, p. 554-552, 2005;
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I Estado inicial de compactação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, p.1-8, 2002;

- SILVA, V. R.; REINERT, D.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 24, p.191-199, 2000;
- STONE, J. A.; LARSON, W. E. Rebound of five one-dimensionally compressed unsaturated granular soil. *American Journal of Society Soil Science*, vol.44, n.4, p.819-822, 1980;
- STRECK, E. V. Solos do Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, p.222, 2008;
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 22, p. 573-581, 1998;
- VEPRASKAS, M. J. Cone index of loamy sands as influenced by pore size distribution and effective stress. *American Journal of Society Soil Science*, vol.48, p.1220-1225, 1984;
- WILLATT, S. T., PULLAR, D. M. Changes in soil physical conditions under grazed pastures. *Australian Journal of Soil Research*, vol.22, p.343-348, 1983;

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Áreas de campo nativo fisicamente degradadas pelo pastejo bovino, quando submetidas à ciclos de pastejo com ovinos e de pousio de pastagem, nos diferentes sistemas de pastejo, tendem a ser passíveis de recuperação da qualidade física do solo. Por alterarem atributos físicos relacionados com a compactação do solo, como no caso da Ds, essas alterações também podem determinar o comportamento mecânico e hídrico do solo. Diante do exposto, verificou-se que após o ciclo de pastejo e de pousio da pastagem nativa o solo apresenta maior suscetibilidade à deformar-se com aplicação de cargas, em função da redução da Ds e aumento da macroporosidade do solo, enquanto que a resistência do solo à penetração radicular foi reduzida, determinando ambiente melhor favorável ao crescimento e desenvolvimento das raízes das forrageiras nativas.

A redução da microporosidade do solo após o ciclo de pastejo, associados ao aumento da proporção de macroporos, tende a comprometer a disponibilidade de água para as plantas, devido a influência dos poros, principalmente os microporos, nos fenômenos de adsorção e retenção de água.

A camada superficial do solo apresenta maior sensibilidade física, mecânica e hídrica aos efeitos dos diferentes sistemas de pastoreio dos ovinos e manejo das pastagens, enquanto que sistema de pastoreio rotativo em áreas de campo nativo melhorado quimicamente apresenta maior tendência em servir como estratégia em permitir o equilíbrio entre a tríade solo-planta-animal.

A variabilidade do comportamento do solo, expressa pelas suas propriedades físicas, mecânicas e hídricas caracterizam a condição de campo e estudo referente à esse trabalho. Entretanto, pode servir como base para estudos futuros, com o intuito de avaliar a dinâmica do solo em uma escala temporal maior e sob paisagens de campo nativo diferenciadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSOFT BRASIL, **Ovinocultura se aprimora com foco na sustentabilidade** Informativo, publicado em 12/06/2009 e impresso em 01/05/2010 [www.agrosoft.org.br/agropag/210688.htm](http://www.agrosoft.org.br/agropag/210688.htm);

- EMBRAPA PECUÁRIA SUL. **Sistema de Criação de Ovinos nos Ambientes Ecológicos do Sul do Rio Grande Do Sul**. SSN 1679-3641 Versão Eletrônica Agosto/2008;
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. (<http://www.ibge.gov.br>);
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. **Resistência mecânica do solo a penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998;
- MAPA. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas>. Acessado em 28 de fevereiro de 2012;
- OLIVEIRA, T. E. et al. **Percepções dos “experts” quanto à caracterização da cadeia produtiva de ovinos no Rio Grande do Sul**. Associação Brasileira de Zootecnia, maio de 2008, João Pessoa, PB – UFPB/ABZ;
- VIANA, J. G. A. & SILVEIRA, V. C. P. **Cadeia produtiva da ovinocultura no Rio Grande do Sul: um estudo descritivo**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.2, n.1, p. 9-20, jan./abr. 2009 - ISSN 1981-9951.

## ANEXOS

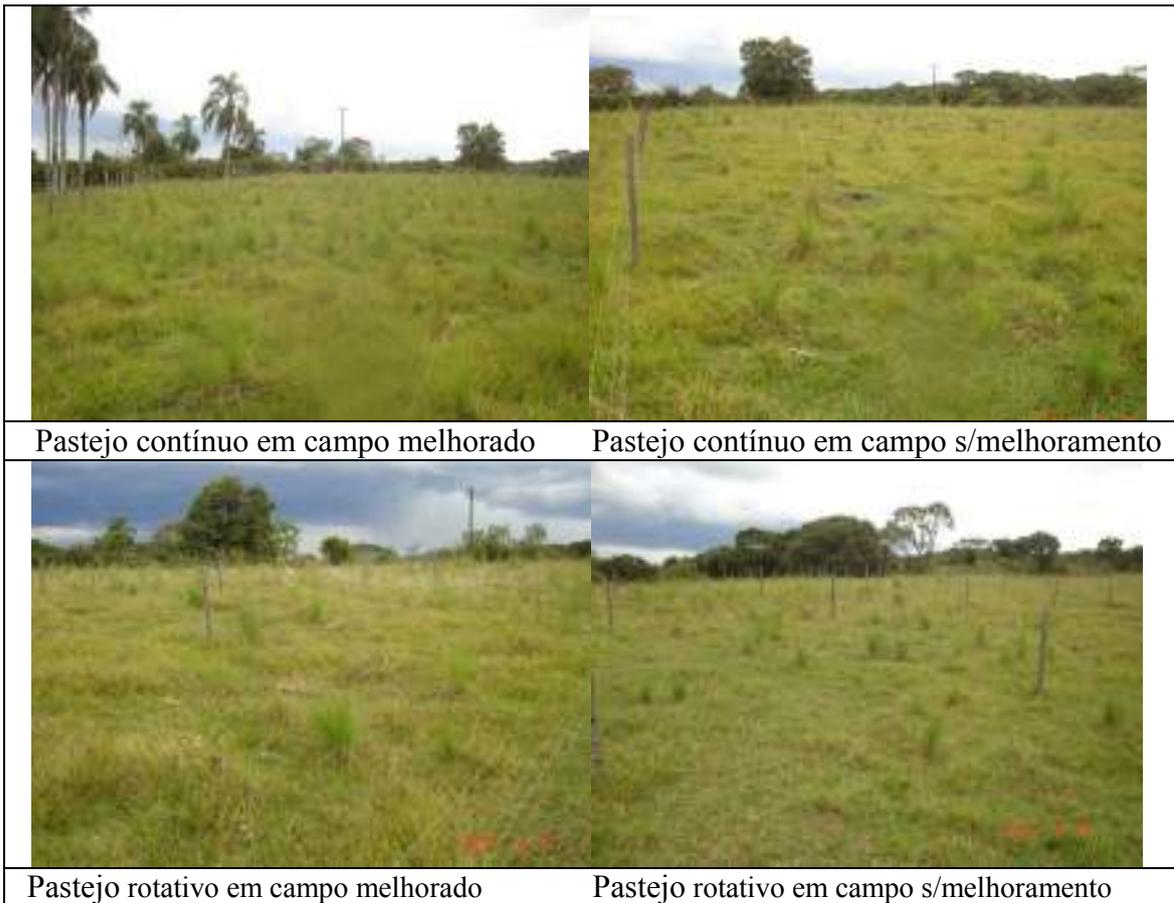
### 1 - Imagem da área experimental



(a) Imagem do google earth

(b) Arquivo pessoal

### 2 - Imagem dos tratamentos conduzidos a campo





Arquivo pessoal, 2011.

## 3 - Análise de variância para Densidade do solo.

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	5	0,20	0,04	9,98	<0,0001
Tempo	1	3,07	3,07	769,77	<0,0001
Profundidade	1	0,21	0,21	52,74	<0,0001
Tratamento x tempo	5	0,04	0,01	2,25	0,056
Tratamento x profundidade	5	0,05	0,01	2,34	0,047
Tempo x profundidade	1	0,02	0,02	4,17	0,043
Tratamento x tempo x profundidade	5	0,11	0,02	5,68	<0,0001

## 4- Análise de variância para Macroporosidade.

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	5	0,01	0,002	3,46	0,006
Tempo	1	0,03	0,03	44,21	<0,0001
Profundidade	1	0,01	0,01	19,33	<0,0001
Tratamentoxtempo	5	0,01	0,002	2,53	0,034
Tratamento x profundidade	5	0,01	0,001	2,07	0,075
Tempo x profundidade	1	0,01	0,004	5,94	0,017
Tratamentoxtempoxprofundidade	5	0,01	0,003	4,01	0,0002

## 5 - Análise de variância para Microporosidade.

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	5	0,012	0,002	6,52	<0,0001
Tempo	1	0,462	0,466	1329,80	<0,0001
Profundidade	1	0,021	0,018	50,88	<0,0001
Tratamento x tempo	5	0,005	0,001	3,08	0,012
Tratamento x profundidade	5	0,002	0,0005	1,39	0,233
Tempo x profundidade	1	0,001	0,0001	0,33	0,565
Tratamento x tempo x profundidade	5	0,003	0,0006	1,77	0,125

\*\* significante a 5%, NS= não significante

## 6 - Análise de variância para Porosidade Total.

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	5	0,091	0,018	28,83	<0,0001
Tempo	1	0,041	0,041	64,84	<0,0001
Profundidade	1	0,063	0,063	99,22	<0,0001
Tratamento x tempo	5	0,076	0,015	24,08	<0,0001
Tratamento x profundidade	5	0,009	0,002	2,86	0,018
Tempo x profundidade	1	0,002	0,002	3,35	0,070
Tratamento x tempo x profundidade	5	0,010	0,002	3,09	0,012

## 7 - Análise de variância para Resistência à penetração radicular.

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	5	11,17	0,23	0,50	0,776
Tempo	1	20,81	20,81	44,52	<0,0001
Profundidade	1	6,70	6,70	14,31	<0,0001
Tratamento x tempo	1	2,61	0,52	1,12	0,356

Tratamento x profundidade	5	1,64	0,33	0,70	0,624
Tempo x profundidade	1	1,11	1,11	2,37	0,127
Tratamentoxtempoxprofundidade	5	0,44	0,10	0,19	0,965

#### 8 - Análise de variância para Pressão de pré-consolidação

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	5	5700,6	1140,1	1,25	0,301
Tempo	1	10248,2	10248,2	11,24	<b>0,001</b>
Tratamento x tempo	5	7142,7	1428,5	1,57	0,187

#### 9 - Análise de variância para IC

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	5	0,03	0,006	5,64	<b>&lt;0,0001</b>
Tempo	1	0,10	0,10	91,25	<b>&lt;0,0001</b>
Tratamento x tempo	5	0,02	0,005	22,82	<b>0,002</b>

#### 10 - Análise de variância para Ksat.

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	Pr>F
Tratamento	6	79.507	13.251	0,819	0,560
Profundidade	1	147.763	147.763	9,130	<b>0,004</b>
Tratamento x profundidade	6	13.095	2.183	0,135	0,991