



BRUNO SILVA PIRES

**CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA E
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UM
LATOSSOLO SOB PASTAGENS AO LONGO DO
TEMPO**

LAVRAS – MG

2012

BRUNO SILVA PIRES

**CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA E RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO SOB PASTAGENS AO
LONGO DO TEMPO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Moacir de Souza Dias Junior

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Pires, Bruno Silva.

Capacidade de suporte de carga e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob pastagens ao longo do tempo / Bruno Silva Pires. – Lavras : UFLA, 2012.

113 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Moacir de Souza Dias Junior.

Bibliografia.

1. Compressibilidade. 2. Compactação. 3. Tensão cisalhante. 4. Pastagem irrigada. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.433

BRUNO SILVA PIRES

**CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA E RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO SOB PASTAGENS AO
LONGO DO TEMPO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 29 de fevereiro de 2012.

Dr. Wellington Willian Rocha	UFVJM
Dr. Mozart Martins Ferreira	UFLA
Dr. José Cardoso Pinto	UFLA
Dr. Ayodele Ebenezer Ajayi	FUTA

Dr. Moacir de Souza Dias Junior
Orientador

LAVRAS – MG

2012

*Aos meus pais, Antonio Wagner Silva Pires e Daise Cecília Silva Pires, às
minhas irmãs e meu sobrinho, pela compreensão, amor, exemplo, presença e
apoio em todas as minhas decisões.*

*A minha esposa, Lidiane, pela amizade, companheirismo, apoio, compreensão e
por se fazer presente em minha vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao professor Dr. Moacir de Souza Dias Junior, pelos ensinamentos, orientação, apoio e amizade, ao longo do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Ensino Superior de Passos, pelo apoio e incentivo.

À FAPEMIG, pelo apoio e aquisição de equipamentos.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, Dulce Claret Monteiro Moraes e Doroteo de Abreu, pela convivência saudável, amizade e auxílio na realização das análises.

Ao professor Dr. Wellington Willian Rocha, pela amizade, apoio, coorientação, por participar da banca examinadora e pelas críticas e sugestões apresentadas, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Mozart Martins Ferreira, Dr. José Cardoso Pinto e Dr. Ayodele Ebenezer Ajayi, pela amizade, apoio, conselhos, por participar da banca examinadora e pelas críticas e sugestões apresentadas, fundamentais para a realização deste trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA), pelos conhecimentos transmitidos ao longo do Curso.

A todos os colegas da Pós-Graduação, especialmente Cezar Francisco Araújo Junior, Piero Iori, Paula Sant'Anna Moreira Pais, Paula Cristina Caruana Martins, Geila Santos Carvalho e Karina Marie Kamimura, pela amizade e companheirismo. Aos demais colegas, pela amizade e conhecimentos transmitidos.

A toda a minha família, pelo apoio, exemplo e por compreenderem a minha ausência em vários momentos, para que pudesse concluir esta etapa.

A minha esposa, Lidiane, pelo apoio, auxílio, compreensão e paciência.

A todos aqueles que contribuíram para a construção deste trabalho.

RESUMO

A pecuária brasileira caracteriza-se por ter a maioria de seu rebanho criado em pastagens, que é a principal e mais econômica fonte de nutrientes para os bovinos. Contudo, essas pastagens são, normalmente, de baixa qualidade, em decorrência, em parte, das características dos solos, das espécies cultivadas e, principalmente, da falta de práticas, como adubações, uso de forrageiras adequadas, rodízio e taxa de lotação adequada, dentre outras. Aliada aos problemas de natureza química, os solos sob pastagens sofrem a ação do pisoteio animal que, dependendo da umidade e da intensidade, podem provocar diversos danos de natureza física ao solo. Estudos do comportamento compressivo dos solos de pastagens ainda são incipientes, no entanto, têm sido observados acréscimos na pressão de pré-consolidação com o aumento do tempo, intensidade e tipo de manejo adotado na exploração de áreas pastejadas. A resistência ao cisalhamento é uma importante propriedade dinâmica do solo que vem sendo desconsiderada na maioria das pesquisas que investigam a influência do uso e do manejo. A condução deste estudo teve com objetivos: a) avaliar a influência do tempo de pisoteio animal na capacidade de suporte de carga e na degradação da estrutura de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) explorado com pastagens; b) obter envoltórias de resistência ao cisalhamento e seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo; c) comparar as envoltórias de resistência ao cisalhamento e propor melhor utilização do solo baseado nestes manejos e d) identificar os sistemas de manejo mais resistentes ou susceptíveis à compactação. Foram avaliados sete manejos no solo em estudo, sendo: pastagens irrigadas antes (1) e após (2) o pisoteio animal; pastagens não irrigadas antes (3) e após (4) seis meses de pisoteio animal; pastagens irrigada (5) e não irrigada (6) após dois anos de pisoteio animal e mata nativa (7). As amostras indeformadas foram utilizadas nos ensaios de compressão uniaxial e resistência ao cisalhamento. O tempo de exploração do solo com pastagem influenciou a sua capacidade de suporte de carga dos diversos manejos. O pisoteio animal, ao longo do tempo, promoveu maior degradação da estrutura do LVA. A degradação da estrutura do LVA ao longo do tempo ocorreu na seguinte ordem crescente: pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal < mata nativa < pastagens irrigada e não irrigada 6 meses após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após 2 anos de pisoteio animal < pastagem irrigada 2 anos após o pisoteio animal. O pisoteio animal ao longo do tempo promoveu aumento da resistência ao cisalhamento do solo. A pastagem irrigada que sofreu pisoteio animal por dois anos apresentou maior resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, foi o manejo que mais degradou a estrutura do solo.

Palavras-chave: Compressibilidade. Compactação. Tensão Cisalhante.

ABSTRACT

The Brazilian cattle industry is characterized by having most of his herd raised on pasture, which is the most economical source of nutrients for cattle. However, these pastures are generally of poor nutrient quality due, in part to the characteristics of the soils, the cultivated species, and especially the lack of practices such as fertilization, use of suitable forage, rotation and proper stocking rate, among others. Allied to the problems of chemical nature, soils under pastures is subjected to pressure due to animal trampling. Depending on the soil moisture content intense trampling of the soil can cause damages to the soil structure. Studies of the compressive behavior of soils in pastures are still incipient; however it has been observed that preconsolidation pressure changes with time, intensity and type of management adopted in the exploration of areas grazed. The shear resistance is an important dynamic property of the soil that has been overlooked in most studies investigating the influence of the use and management. In this study, our aims are to: a) evaluate the influence of time (length) of cattle trampling on the load support capacity and the degradation of the structure of an Red Yellow Latosol (RYL) under pastures b) obtain a combination shear strength parameters for the different management systems of this Red Yellow Latosol, c) comparing the shear strength parameters and thereby propose better land use management strategies based on these observation d) identify the management systems that is more resistant or susceptible to compaction. We evaluated seven managements on soil in this study, namely: irrigated pasture before (1) and after (2) cattle trampling; non-irrigated pasture before (3) and after (4) six months of cattle trampling; irrigated pasture (5) and not irrigated (6) after two years of cattle trampling and native forest (7). The soil samples were tested in uniaxial compression and shear strength tests. The length of time of operation of the pasture land influences their ability to support load support under the varying manegement. The trampling by animals over time promoted further degradation of the structure of RYL. The degradation of the structure of RYL over time occurred in the following order: irrigated and non irrigated pastures before cattle trampling <native forest <pasture irrigated and non irrigated 6 months after the cattle trampling and grazing non-irrigated after 2 years of animal trampling <irrigated pasture 2 years after the animal trampling. Animal trampling over time resulted in an increase in the shear strength of the soil. The irrigated pasture that suffered cattle trampling for two years showed higher shear strength and consequently was the management that more degraded the soil structure.

Keywords: Compressibility. Compaction. Shear Stress.

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Capacidade de suporte de cargas e resistência ao cisalhamento de um latossolo sob pastagens ao longo do tempo	111
1	INTRODUÇÃO GERAL	122
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Efeitos do pisoteio animal	14
2.2	Compactação do solo e sua modelagem	15
2.3	Resistência ao cisalhamento de solos agrícolas	18
	REFERÊNCIAS	233
	CAPÍTULO 2 Capacidade de suporte de carga de um latossolo ao longo do tempo	30
1	INTRODUÇÃO	33
2	MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1	Amostragem	39
2.1.1	Antes da implantação da pastagem	39
2.1.2	Após as operações de preparo do solo para a implantação da pastagem	39
2.1.3	Um ano após a implantação da pastagem (julho de 2007)	400
2.1.4	Dois anos e meio após a implantação da pastagem (janeiro de 2009)	40
2.2	Ensaio de compressão uniaxial	40
2.3	Análises estatísticas	42
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	56
	CAPÍTULO 3 Resistência ao cisalhamento de um latossolo sob pastagens ao longo do tempo	60
1	INTRODUÇÃO	63
2	MATERIAL E MÉTODOS	72
2.1	Amostragem	74
2.1.1	Antes da implantação da pastagem	74
2.1.2	Após as operações de preparo do solo para a implantação da pastagem	74
2.1.3	Um ano após a implantação da pastagem (julho de 2007)	75
2.1.4	Dois anos e meio após a implantação da pastagem (janeiro de 2009)	76
2.2	Ensaio de resistência ao cisalhamento	76
2.3	Análises estatísticas	79

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4	CONCLUSÃO	105
	REFERÊNCIAS	106

CAPÍTULO 1

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DOS SOLOS AGRÍCOLAS

1 INTRODUÇÃO GERAL

O potencial produtivo das pastagens brasileiras é um fato notório em razão do clima, das tecnologias disponíveis para correção e adubação dos solos e das espécies altamente produtivas selecionadas e utilizadas em todo o território nacional. No entanto, o que vem sendo observado, na prática, é a falta de aplicação do conhecimento disponível, por parte dos pecuaristas, das técnicas que visam aumentar a produção das forrageiras.

As necessidades atuais de forragem para a produção pecuária excedem a produção sustentável das pastagens e dos solos que as suportam (GIAROLA; TORMENA; DUTRA, 2007). Um dos maiores entraves para aumentar a produção das pastagens advém do fato de que grande parte dos pecuaristas ainda utiliza o sistema extensivo de criação de gado sem a realização de correções e adubações do solo, com espécies ainda não melhoradas, simplesmente desrespeitando a legislação e derrubando a mata, queimando os restos vegetais para limpar a área e implantando as pastagens. Este sistema conduz à baixa capacidade de suporte e à exaustão dos recursos químicos do solo, gerando um rápido processo de degradação dessas pastagens.

Aliado aos problemas de natureza química, os solos sob pastagem sofrem a ação do pisoteio animal que, dependendo da umidade e da intensidade, pode provocar diversos danos de natureza física ao solo (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LIMA et al., 2004; PIRES, 2007). Albuquerque, Sangoi e Edner (2001) apontaram a compactação, seja pelo tráfego de máquinas ou pelo pisoteio animal, como uma das principais ações causadoras da degradação das áreas cultivadas sob sistema de integração lavoura-pecuária.

O sistema de exploração extensivo torna-se não lucrativo em poucos anos e vem sendo gradativamente substituído por sistemas mais intensivos para a produção de carne e leite (CARVALHO, 2000), podendo-se destacar o pastejo

sob lotação rotacionado e a utilização de irrigação. No entanto, na adoção de sistemas mais intensivos, o impacto do pisoteio animal no solo torna-se também mais pronunciado, gerando, em muitos casos, compactação do solo, notadamente quando se utiliza a irrigação (PIRES, 2007).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Efeitos do pisoteio animal

O efeito do pisoteio animal nos atributos físicos dos solos tem se concentrado nas camadas superficiais (BECHMANN et al., 2006; IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LANZANOVA et al., 2007; LIMA et al., 2004; PIRES, 2007; SALTON et al., 2002; VZZOTTO; MARCHEZAN; SEGABINAZZI, 2000). A maioria dos estudos a este respeito é de curto período de avaliação (média de três anos), existindo uma carência de informações das alterações ao longo do tempo de pastejo. No entanto, Bechmann et al. (2006), estudando áreas pastejadas durante 12, 50 e 150 anos e utilizando uma área de mata nativa como referência, encontraram alterações nos atributos físicos do solo apenas nas camadas superficiais e mais acentuadas nos períodos iniciais, utilizando tanto dados de resistência à penetração como o teste de resistência à ruptura da estrutura (“vane shear test”). Portanto confirma-se que o efeito do pisoteio animal no solo causa alterações apenas na camada superficial, mesmo após um longo período de pisoteio na área.

A elevada pressão exercida pelos animais sobre o solo deve-se ao fato de o seu peso se concentrar em uma pequena área do casco (PIRES, 2007; WILLARTT; PULLAR, 1984). As máquinas agrícolas, apesar de terem massa maior do que os bovinos, exercem pressão menor sobre a superfície do solo, uma vez que o seu peso é distribuído em uma área maior (pneus ou esteiras). A pressão exercida sobre o solo é o agente causador da compactação e há evidências de que a compactação superficial está relacionada a essa pressão. Já a compactação subsuperficial está mais relacionada à carga total aplicada por eixo das máquinas agrícolas, independentemente da pressão exercida sobre a superfície (HANZA; ANDERSON, 2005). Esses relatos ajudam a entender o

fato de que a compactação do solo causada pelo pisoteio animal se concentra nas camadas mais superficiais, até 5,0 cm de profundidade (SALTON et al., 2002).

Os bovinos aplicam diferentes pressões no solo em função das raças e das idades, havendo um consenso a respeito de que estas pressões variam entre 350 e 400 kPa (BETTERIDGE et al., 1999; PIRES, 2007; PROFFITT et al., 1993). Esses dados são de difícil obtenção, pois, além de se obter a área do casco e o peso dos animais, deve-se levar em consideração que a distribuição de peso não é igual nos quatro membros e que ela varia com o deslocamento do animal.

O pisoteio animal, além de aplicar altas pressões no solo, tem um grande agravante, pois, na maioria das situações, torna-se quase impossível evitá-lo quando o solo encontra-se com umidade elevada e, conseqüentemente, com baixa capacidade de suporte de carga. Quando ocorre esta situação (notadamente em pastagens irrigadas sob pastejo rotacionado), certamente ocorrerá compactação adicional do solo, podendo levar à restrição ou ao impedimento do desenvolvimento do sistema radicular (MULLER et al., 2001) e à diminuição da água disponível, por causa da redução do volume de solo explorado, o que pode ser agravado quando ha ocorrência de veranicos prolongados, limitando a capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais (ROSOLEM et al., 1994).

2.2 Compactação do solo e sua modelagem

Diferentes sistemas de manejos alteram a estrutura do solo que, por sua vez, interfere em uma série de atributos físicos, químicos e biológicos (FARIA et al., 1998; KONDO; DIAS JÚNIOR, 1999; SINGH; MALHI, 2006). Apesar de vários pesquisadores (ASSIS; LANÇAS, 2005; OLIVEIRA et al., 2003; SILVA et al., 2002; SINGH; MALHI, 2006) terem identificado os efeitos do manejo nos atributos físicos do solo, existe uma carência de estudos que

quantifiquem os níveis de pressões que podem ser aplicados aos solos sem que haja degradação estrutural.

Diante disso, em áreas aptas à mecanização, o uso indiscriminado dos diferentes sistemas de manejo, principalmente sistemas mecanizados, está se tornando preocupante, em virtude da possibilidade da disseminação da compactação do solo. A compactação do solo pode reduzir o rendimento das culturas e também provocar danos ambientais, levando à maior exposição do solo, que passa a ser mais susceptível aos agentes erosivos, com sua consequente desestruturação e perda da capacidade de absorção de água.

Com isso, uma das limitações para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável está relacionada com a utilização dos diferentes sistemas de manejo, que podem causar compactação em face da não existência de controle da umidade do solo ou do conhecimento de sua capacidade de suporte de carga, no momento da realização das operações agrícolas mecanizadas.

Em vista disso, melhorar e preservar a qualidade estrutural do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo é de fundamental importância quando se almejam maiores produtividades e preservação ambiental (LIBARDI; FERNANDES, 2006; SECCO et al., 2005). A preservação da estrutura do solo está relacionada com a sua capacidade de suporte de carga, a qual pode ser obtida nos ensaios de compressibilidade de solos parcialmente saturados. Assim, o entendimento do comportamento compressivo do solo adquire grande importância em razão de ser a base, do ponto de vista físico, para a tomada de decisão do manejo mais adequado, visando reduzir os efeitos prejudiciais causados à sua estrutura.

Levando esses aspectos em consideração, Dias Júnior (1994) desenvolveu o modelo de capacidade de suporte de carga que prediz a pressão máxima que o solo pode suportar para diferentes umidades sem causar compactação adicional, em função da pressão de pré-consolidação e da umidade

do solo. Essa pressão divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária, indicando a presença de uma história de tensão do solo) e outra de deformação plástica e não recuperável (reta de compressão virgem). A pressão de pré-consolidação do solo reflete, portanto, o tipo de manejo (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1996), sendo utilizada por diversos autores como indicadora da capacidade de suporte de carga do solo e de qualidade estrutural (DIAS JÚNIOR, 1994; DIAS JÚNIOR et al., 2005; DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1995; LIMA et al., 2004; OLIVEIRA, 2002; PENG et al., 2004; SILVA et al., 2002, 2006).

Em culturas irrigadas, a compactação do solo é uma preocupação, pois o solo permanece com umidade maior e, conseqüentemente, baixa capacidade de suporte de carga. A compactação pelo tráfego de máquinas nas diferentes operações de preparo de solo, semeadura, tratamentos culturais e colheita é apontada em diversos trabalhos (ASSIS; LANÇAS, 2005; DIAS JÚNIOR et al., 2005; KONDO; DIAS JÚNIOR, 1999; OLIVEIRA et al., 2003; SILVA et al., 2002, 2006), assim como pelo pisoteio de animais (LIMA et al., 2004), resultando em baixas produtividades.

Nas culturas anuais, a compactação do solo tem ocorrido por causa da sua intensiva mobilização e do tráfego de máquinas sob condições inadequadas de umidade (SILVA et al., 2002; SILVA; LIBARDI; CAMARGO, 1986). Nas pastagens, o pisoteio excessivo do gado tem sido a causa da compactação na camada superficial (CARVALHO et al., 2010; KONDO, 1998; PIRES, 2007).

Estudos do comportamento compressivo dos solos sob pastagens ainda são incipientes, no entanto, Flores et al. (2007), Lima et al. (2004) e Pires (2007), observaram acréscimos na pressão de pré-consolidação com o aumento do tempo, da intensidade e dos tipos de manejos adotados na exploração de áreas pastejadas.

2.3 Resistência ao cisalhamento de solos agrícolas

Dentre os vários ensaios laboratoriais, como comportamento compressivo do solo, determinação da densidade do solo, determinação do intervalo hídrico ótimo e resistência à penetração, a resistência do solo ao cisalhamento é uma importante propriedade dinâmica do solo, que tem sido desconsiderada na maioria das pesquisas que investigam as influências do uso e do manejo. Isso tem contribuído para a adoção de estratégias quase sempre equivocadas, tendo como consequência o depauperamento das propriedades físicas e mecânicas do solo (SILVA et al., 2004).

A resistência ao cisalhamento do solo pode também ser utilizada como um indicador de compactação do solo (AYERS; PERUMPRAL, 1982; PIRES, 2007; SCHJONNING, 1991; SILVA et al., 2009). Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (AZEVEDO, 1999; SILVA et al., 2009), em razão da menor distância entre as partículas. Consequentemente, é menor o índice de vazios e maior o esforço, por exemplo, para se preparar o solo para o cultivo, devido ao maior número de pontos de contato entre as partículas do solo e o consequente aumento do atrito entre elas (ASHBURNER; SIMS, 1984).

A resistência ao cisalhamento de um solo é a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura ocorre (ROCHA, 2003). Pode ser expressa pela equação de Coulomb, $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$ (Figura 1) (RAMAMURTHY, 2001), em que τ é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo, σ_n é a tensão normal a que a superfície de falhamento está submetida, c é o intercepto de coesão ou coesão aparente do solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo, definido como sendo o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças que o maciço terroso está submetido. Essa equação define a

envoltória de resistência, que é a linha limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer pressão cisalhante que esteja acima dessa linha promoverá a ruptura do solo (ROCHA, 2003).

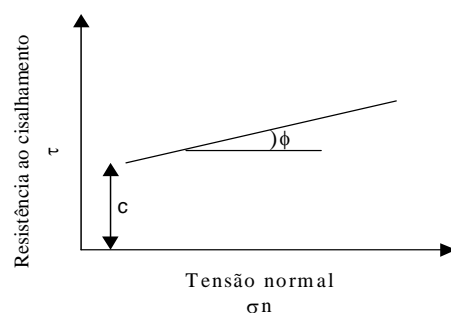


Figura 1 Envoltória de resistência

Os parâmetros c e ϕ são características intrínsecas dos solos (BENJAMIM; CRUSE, 1985; RAMAMURTHY, 2001; ZANG et al., 2001).

Nesse estudo, a coesão determinada é a coesão aparente ou o intercepto de coesão (c). Esse parâmetro é uma parcela da resistência ao cisalhamento dos solos presente apenas naqueles parcialmente saturados e mais expressivo nos argilosos, em consequência da maior ou da menor tensão capilar (AZEVEDO, 1999; PINTO, 1989; SILVA; CABEDA, 2005; VARGAS, 1989). Al-Shayea (2001) demonstrou que a distância entre as partículas mostrou-se reduzida com a diminuição do teor de água do solo, resultando em uma maior atração entre elas e em consequente aumento da coesão. Arvidsson et al. (2001), Boeni (2000), Silva e Cabeda (2005), Silva et al. (2004) e Pires (2007) observaram aumento expressivo da coesão com a diminuição do teor de água no solo, evidenciando o grande efeito da umidade na coesão do solo.

A coesão aparente do solo será tanto maior quanto menor for o índice de vazios do solo (PINTO, 2000), em virtude da atração eletrostática entre as

partículas que estão muito próximas, aliada ao efeito de agentes cimentantes (óxidos, argilas e matéria orgânica). Franzmeier et al. (1996) e Mody e Graham (1997) enfatizaram a importância dos óxidos de ferro, silício e alumínio livres como agentes cimentantes. Para maiores densidades do solo, esse parâmetro da resistência ao cisalhamento será também maior, desde que o solo não contenha quantidades expressivas de silte (ROCHA; DIAS JÚNIOR; LIMA, 2001; ROCHA et al., 2002; SERVADIO et al., 2001; SILVA; CABEDA, 2005).

Rocha et al. (2002), trabalhando com várias classes de solo, verificaram que solos com estrutura em blocos apresentam maior ângulo de atrito interno e maiores valores e resistência do solo ao cisalhamento direto, quando comparados com solos de estrutura granular, pois esse tipo de estrutura promove maior entrosamento entre as unidades estruturais, resultando em aumento da área de contato entre essas partículas. Segundo Al-Shayea (2001), o ângulo de atrito interno em determinadas situações pode diminuir com o aumento do teor de argila do solo, pois as partículas de argila revestem a superfície das partículas de areia, diminuindo a fricção entre elas. Já em solos de textura arenosa, a resistência ao cisalhamento depende, basicamente, do atrito entre as partículas, cujo ângulo de atrito interno depende da forma do grão e do grau de compactação do solo (SILVA; CABEDA, 2005).

Em estudos de resistência ao cisalhamento e mecanização agrícola, correlações positivas com a resistência do solo à penetração e a densidade do solo já foram obtidas, tanto para uma como para várias passadas de tratores na mesma linha de tráfego (SERVADIO et al., 2001; ZANG et al., 2001), tendo os valores de resistência ao cisalhamento do solo aumentado com o aumento do número de passadas dos tratores. Munkholm, Schjonning e Rasmussen (2001), Pires (2007), Silva e Cabeda (2005) e Silva et al. (2009), encontraram alterações na estrutura do solo sob diferentes manejos, utilizando os resultados de ensaios de resistência ao cisalhamento. Os dois primeiros autores também obtiveram

resultados semelhantes com a utilização dos modelos de capacidade de cargas. Portanto, modelos baseados na resistência ao cisalhamento do solo podem ser elaborados para prever a capacidade de suporte de carga do solo, uma vez que análises de tensões-deformações podem ser obtidas nesse tipo de ensaio.

Solos com maiores quantidades de areia apresentarão maior resistência ao cisalhamento (ROCHA; DIAS JÚNIOR; LIMA, 2001), por causa da capacidade dessas partículas se rearranjarem de maneira mais densa, quando submetidas a esforços externos, conferindo maiores densidades aos solos (DIAS JÚNIOR; MIRANDA, 2000), o que gera maior atrito entre as partículas e aumenta a resistência ao cisalhamento do solo. Também segundo Rocha, Dias Júnior e Lima (2001), no caso de solos argilosos, o estudo da resistência ao cisalhamento torna-se mais complexo pelo fato de essa fração ser a mais ativa do solo e os processos físicos e químicos, tais como sucessivas arações e gradagens, flutuação do lençol freático por meio de drenagens, adubações fosfatadas e calagem, que atuam no sentido de aumentar ou reduzir o contato entre partículas, conseqüentemente aumentarão ou reduzirão a resistência ao cisalhamento do solo.

Para Sidorchuk et al. (2002), a umidade e o teor de matéria orgânica podem influenciar a resistência ao cisalhamento do solo, de forma que, para determinados valores de umidade, a matéria orgânica tende a reduzir a resistência ao cisalhamento, em função da menor densidade do solo conferida por esta, reduzindo, com isso, o contato entre as partículas. Por outro lado, também dependendo da umidade, a matéria orgânica presente no solo exerce funções físicas e químicas que melhoram a estrutura do solo, resultando em um melhor desenvolvimento radicular que certamente influenciará no aumento da resistência ao cisalhamento do solo. Assim, a resistência ao cisalhamento dos solos é uma variável importante na caracterização das alterações da estrutura do

solo (CRUSE; LARSON, 1977; DAVIES, 1985; GANTZER et al., 1987; ROCHA, 2003; SERVADIO et al., 2001).

Uma vez que a maioria dos solos agrícolas é cultivada com baixos teores de matéria orgânica (EKWUE; STONE, 1995) e na umidade inadequada (SILVA et al., 2002), a variação da resistência ao cisalhamento com os teores de matéria orgânica deve ser melhor estudada, pois, de certa forma, o resultado destes ensaios pode permitir a correta especificação do equipamento a ser utilizado no seu preparo, em função das pressões sofridas pelo solo durante o manejo. Isso porque, além do efeito direto na estruturação dos solos, a matéria orgânica, juntamente com a mineralogia, é o principal agente que incrementa a capacidade de troca de cátions e que garante uma boa condição de fertilidade química dos solos (LOPES, 1996).

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; EDNER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 717-723, jul./set. 2001.
- AL-SHAYEA, N. A. The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils. **Engineering Geology**, Oxford, v. 62, n. 4, p. 319-342, Dec. 2001.
- ARVIDSSON, J. et al. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden: II., soil displacement during wheeling and model computation of compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 79-89, Jan. 2001.
- ASHBURNER, J.; SIMS, B. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza**. San Jose: IICA, 1984. 473 p.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 507-514, jul./ago. 2005.
- AYERS, P. D.; PERUMPRAL, J. V. Moisture and density effect on cone index trans. **Transactions American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 25, n. 5, p. 1169-1172, Nov./Dec. 1982.
- AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa, MG**. 1999. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.
- BECHMANN, J. et al. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 112-118, Jan. 2006.
- BENJAMIN, J. G.; CRUSE, R. M. Measurement of shear strength and bulk density of soil aggregates. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, n. 5, p. 1248-1251, Sept./Oct. 1985.

BETTERIDGE, K. et al. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 37, n. 4, p. 743-760, July/Aug. 1999.

BOENI, M. **Comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus do trator**. 2000. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CARVALHO, C. A. B. **Padrões demográficos de perfilamento e acúmulo de forragem em pastagem de *Cynodon ssp.* manejada em quatro intensidades de pastejo**. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2000.

CARVALHO, R. C. R. et al. Soil shear strength under non-irrigated and irrigated short duration grazing systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 631-638, maio/jun. 2010.

CRUSE, R. M.; LARSON, W. E. Effects of soil shear strength on soil detachment due to rain drop impact. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 777-781, 1977.

DAVIES, P. Influence of organic matter, moisture status and time after reworking on soil shear strength. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 299-306, Apr. 1985.

DIAS JÚNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Thesis (Ph.D. in Soil's Physical) - Michigan State University, East Lansing, 1994.

DIAS JÚNIOR, M. S. et al. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to *Eucalyptus* harvest operations. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 248-255, May/June 2005.

DIAS JÚNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337-346, mar./abr. 2000.

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, J. F. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 175-182, maio/ago. 1996.

_____. Simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Lansing, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of impacted agricultural soils. **Transactions American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 38, n. 2, p. 357-365, Mar./Apr. 1995.

FARIA, J. C. et al. Effects of weed control on physical and micropedological properties of Brazilian Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 731-741, jul./ago. 1998.

FLORES, J. P. C. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 771-780, jul./ago. 2007.

FRANZMEIER, D. P.; CHARTES, C. J.; WOOD, J. T. Hardsetting soil in Southeast Australia: landscape and profile processes. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 60, n. 4, p. 1178-1187, July/Aug. 1996.

GANTZER, C. J. et al. Effects of soybean and crop residue deposition on soil strength and splash detachment. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 51, n. 1, p. 202-206, Jan./Feb. 1987.

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**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 863-873, set./out. 2007.

HANZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 121-145, Jan. 2005.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações de curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

KONDO, M. K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, set./out. 2007.

LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Avaliação da qualidade do solo a partir de indicadores físico-hídricos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006. 1 CD-ROM.

LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não-irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 945-951, nov./dez. 2004.

LOPES, J. A. U. **Estimativa de estabilidade de encostas naturais e procedimentos preventivos/corretivos da engenharia civil: recuperação de áreas degradadas**. Curitiba: UFPR, 1996. 22 p.

MODY, I. E.; GRAHAM, R. C. Silica-cemented terrace edges, Central California Coast. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, n. 6, p. 1723-1729, Nov./Dec. 1997.

MULLER, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raiz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

MUNKHOLM, L. J.; SCHJONNING, P.; RASMUSSEN, K. J. Non-inversion tillage effects on soil mechanical properties of a humidic sandy loam. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 1-14, Jan. 2001.

OLIVEIRA, G. C. **Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado**. 2002. 78 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

OLIVEIRA, G. C. et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

PENG, S. H. et al. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompact Ultisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 125-137, Jan. 2004.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.

_____. **Resistência ao cisalhamento dos solos**. São Carlos: Grêmio Politécnico, 1989. v. 1, 127 p.

PIRES, B. S. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

PROFFITT, A. P. B. et al. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown earth. **Australian Journal Agricultural Soil Research**, Melbourne, v. 44, n. 2, p. 317-331, Mar./Apr. 1993.

RAMAMURTHY, T. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 683-697, July 2001.

ROCHA, W. W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG**. 2003. 101 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

ROCHA, W. W.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LIMA, J. M. Shear strength as affected by soil mineralogy. In: ANNUAL MEETING OF SOCIETY OF AGRONOMY IN UNIVERSITY, 25., 2001, Raleigh. **Proceedings...** Raleigh: University of North Caroline, 2001. 1 CD-ROM.

ROCHA, W. W. et al. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na Região de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 297-303, mar./abr. 2002.

ROSOLEM, C. A. et al. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 491-497, jul./set. 1994.

SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Santa Maria, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.

SCHJONNING, P. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 12, n. 1/2, p. 277-283, Sept. 1991.

SECCO, D. et al. Parâmetros de compressibilidade de um Latossolo influenciados pelo estado inicial de compactação e grau de saturação em água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

SERVADIO, P. et al. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 143-155, Jan. 2001.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solos do tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 447-457, maio/jun. 2005.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 91-95, jan./mar. 1986.

SILVA, A. R. et al. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 207-216, jan./fev. 2006.

SILVA, R. B. et al. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of charges on soil structure in sugarcane fields of São Paulo State, Brasil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 265-270, May 2009.

_____. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 165-173, jan./fev. 2004.

SILVA, V. R. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2002.

SINGH, B.; MALHI, S. S. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 143-153, Jan. 2006.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1989. 509 p.

VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, nov./dez. 2000.

WILLARTT, S. T.; PULLAR, D. M. Change in soil physical properties under grazes pastures. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 22, n. 3, p. 343-348, July/Sept. 1984.

ZANG, B. et al. Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 97-106, Jan. 2001.

CAPÍTULO 2

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO AO LONGO DO TEMPO

RESUMO

A pecuária brasileira se caracteriza por ter a maioria de seu rebanho criado em pastagens, que são as principais e mais econômicas fontes de nutrientes para os bovinos. A redução da produtividade das pastagens decorrente do intenso processo de degradação é um dos principais problemas da pecuária brasileira, geralmente atribuído às alterações das propriedades químicas e físicas do solo. Estudos do comportamento compressivo de pastagens ainda são incipientes, no entanto, têm sido observados acréscimos na pressão de pré-consolidação com o aumento do tempo, da intensidade e do tipo de manejo adotado na exploração de áreas pastejadas. A condução deste estudo foi realizada com os objetivos de avaliar a influência do tempo de pisoteio animal na capacidade de suporte de carga e na degradação da estrutura de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) explorado com pastagens, na Fazenda Experimental da Fundação de Ensino Superior de Passos, em Passos, MG. Foram avaliados sete manejos do solo em estudo, sendo: pastagens irrigadas antes (1) a após um ano (2) de pisoteio animal; pastagens não irrigadas antes (3) e após um ano (4) de pisoteio animal; pastagens irrigada (5) e não irrigada (6) após dois anos de pisoteio animal e mata nativa (7). As amostras indeformadas foram utilizadas no ensaio de compressão uniaxial. O tempo de exploração do solo com pastagem influenciou a sua capacidade de suporte de carga dos diversos manejos. O pisoteio animal ao longo do tempo promoveu maior degradação da estrutura do LVA. A degradação da estrutura do LVA ao longo do tempo ocorreu na seguinte ordem crescente: pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal < mata nativa < pastagens irrigada e não irrigada 6 meses após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após 2 anos de pisoteio animal < pastagem irrigada 2 anos após o pisoteio animal.

Palavras-chave: Compressibilidade. Compactação. Pastagem irrigada.

ABSTRACT

The Brazilian cattle industry is characterized by having most of their herd raised on pastures that are most economical sources of nutrients for cattle. The reduction in pasture productivity due to the intense process of degradation is a major problem of ranching in Brazil, and is generally attributed to changes in the chemical and physical properties of soil. Studies of the compressive behavior of soil under pastures are still incipient, however, it has been observed that the pre-consolidation pressure changes with increasing time (length of use), intensity and type of management adopted in the exploration of grazed areas. This study was conducted with the aim to evaluate the influence of time of cattle trampling on the load support capacity and in the structure degradation of an Red Yellow Latosol (RYL) under pastures at the Experimental Farm of the Fundação de Ensino Superior de Passos in Passos, MG. We evaluated seven different soil managements strategies in pasture namely: irrigated pasture before (1) after one year (2) of cattle trampling, non-irrigated pasture before (3) and after one year (4) of cattle trampling, irrigated pastures (5) and irrigation (6) after two years of cattle trampling and native forest (7). Undisturbed soil collected from the sites and were used in the uniaxial compression test. The time (length) of operation of the pasture-influenced their ability to support load under the different management strategies. Animal trampling over time was observed to promote further degradation of the the soil structure of RYL. The degradation of the structure of RYL over time occurred in the following order: irrigated and non irrigated pastures before cattle trampling <Native forest <pasture irrigated and non irrigated 6 months after the cattle trampling and grazing non-irrigated after 2 years of animal trampling <irrigated pasture 2 years after the animal trampling.

Keywords: Compressibility. Compaction. Irrigated pasture.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui área total de 851 milhões de hectares, sendo, 55 milhões de hectares destinados para culturas anuais e 180 milhões de hectares ocupados pelas pastagens, que correspondem a mais de 20% do território nacional e ultrapassa a área destinada para unidades de preservação, que corresponde a 115 milhões de hectares (ANUÁRIO..., 2009).

O potencial produtivo das pastagens brasileiras é um fato notório em virtude do clima, das tecnologias disponíveis para correção e da adubação dos solos e das espécies altamente produtivas selecionadas e utilizadas em todo o território nacional. No entanto, o que vem sendo observado, na prática, é a falta de aplicação do conhecimento disponível por parte dos pecuaristas das técnicas que visam aumentar a produção das forrageiras.

A pecuária brasileira caracteriza-se por ter a maioria de seu rebanho criado em pastagens, que é a principal e mais econômica fonte de nutrientes para os bovinos (BONFIM-DA-SILVA; MONTEIRO, 2006). Contudo, em geral, essas pastagens são de baixa qualidade, decorrente, em parte, das características dos solos, das espécies cultivadas e, principalmente, da não adoção de práticas como correção e adubação, emprego de forrageiras adequadas, rodízio e taxa de lotação adequada, dentre outras.

A redução da produtividade das pastagens motivada pelo intenso processo de degradação é um dos principais problemas da pecuária brasileira, geralmente atribuída às alterações nas propriedades químicas (COSTA, 2007; GIJSMAN; THOMAS, 1996) e físicas (BECHMANN et al., 2006; IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; HOLF; BRISTOW; MCLVOR, 1996; MACIEL, 2008; PIRES, 2007) do solo. Estima-se que cerca de 80% dos 45 a 50 milhões de hectares da área de pastagens nos Cerrados do Brasil encontram-se em algum estágio de degradação (MARTA JÚNIOR; VILELA, 2002).

Grande parte dos pecuaristas ainda utiliza o sistema extensivo de criação de gado, sem a realização de correções e adubações do solo, com espécies ainda não melhoradas, simplesmente derrubando a mata e queimando os restos vegetais para limpar a área e implantando as pastagens. Este sistema conduz à baixa capacidade de suporte e à exaustão dos recursos químicos do solo, gerando um rápido processo de degradação dessas pastagens.

Aliado aos problemas, os solos sob pastagem sofrem a ação do pisoteio animal que, dependendo da umidade e da intensidade, pode provocar diversos danos de natureza física ao solo (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LIMA et al., 2004; PIRES, 2007). Albuquerque, Sangoi e Edner (2001) apontaram a compactação pelo tráfego de máquinas ou pelo pisoteio animal como uma das principais ações causadoras da degradação das áreas cultivadas sob sistema de integração lavoura-pecuária.

O sistema de exploração extensivo torna-se não lucrativo em poucos anos e vem sendo gradativamente substituído por sistemas mais intensivos para a produção de carne e leite (CARVALHO, 2000), podendo destacar o pastejo sob lotação rotacionada e a utilização de irrigação. No entanto, na adoção de sistemas mais intensivos, o impacto do pisoteio animal no solo torna-se também mais acentuado, gerando, em muitos casos, compactação do solo, notadamente quando se utiliza a irrigação (PIRES, 2007).

Os bovinos aplicam diferentes pressões no solo em função das raças e das idades dos mesmos, havendo um consenso em torno do fato de que estas pressões variam entre 350 e 400 kPa (BETTERIDGE et al., 1999; PIRES, 2007; PROFFITT et al., 1993). Esses dados são de difícil obtenção, pois, além da necessidade de se obter a área do casco e o peso dos animais, deve-se levar em consideração que a distribuição de peso não é igual nos quatro membros e que esta varia com o deslocamento do animal.

O pisoteio animal, além de aplicar altas pressões no solo, tem um grande agravante, pois, na maioria das situações, torna-se quase impossível evitá-lo quando o solo se encontra com maior umidade e, conseqüentemente, com baixa capacidade de suporte de carga. Quando ocorre esta situação (notadamente em pastagens irrigadas sob pastejo rotacionado), certamente ocorrerá compactação adicional do solo, podendo levar à restrição ou ao impedimento do desenvolvimento do sistema radicular (MULLER et al., 2001) e a uma diminuição da água disponível, por causa da redução do volume de solo explorado, o que pode ser agravado quando da ocorrência de veranicos prolongados, limitando a capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais (ROSOLEM et al., 1994).

O efeito do pisoteio animal nos atributos físicos dos solos tem se concentrado nas camadas superficiais de 0-3 cm (BECHMANN et al., 2006; IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LANZANOVA et al., 2007; LIMA et al., 2004; PIRES, 2007; SALTON et al., 2002; VZZOTTO; MARCHEZAN; SEGABINAZZI, 2000), e a maioria dos estudos é de curto período de avaliação (média de três anos), existindo uma carência de informações das alterações em um longo período de uso sob pastejo. No entanto, Bechmann et al. (2006), estudando áreas pastejadas durante 12, 50 e 150 anos, encontraram alterações nos atributos físicos apenas nas camadas superficiais e mais acentuadas nos períodos iniciais, utilizando tanto dados de resistência à penetração como o teste de resistência à ruptura da estrutura (“vane shear test”). Portanto, confirma-se que o efeito do pisoteio animal no solo causa alterações apenas na camada superficial, mesmo após um longo período de pisoteio na área.

Estudos do comportamento compressivo dos solos sob pastagens ainda são incipientes, no entanto, Flores et al. (2007), Lima et al. (2004) e Pires (2007), observaram acréscimos na pressão de pré-consolidação com o aumento

do tempo, da intensidade e dos tipos de manejos adotados na exploração de áreas pastejadas.

A condução deste estudo teve como objetivos avaliar a influência do tempo de pisoteio animal na capacidade de suporte de carga e na degradação da estrutura de um Latossolo Vermelho-Amarelo explorado com pastagens.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP-UEMG), em Passos, MG (latitude de 19°S e longitude 43°W de Greenwich).

As áreas do estudo localizam-se à altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1.709,4 mm, presença de invernos secos e verões chuvosos, clima classificado, segundo Köppen, como Aw (tropical chuvoso) e vegetação nativa típica de Cerrado Denso.

O relevo da área é suave ondulado em grandes extensões com declividade de 5% e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

Algumas características do solo na camada de 20 a 40 cm estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) localizado na Fazenda Experimental da FESP/UEMG

Profundidade	SiO ₂	Al ₂ O ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr
(cm)	-----%-----						
	--						
20-40	8,36	11,83	5,95	1,37	0,04	1,21	0,91

Ki = relação molecular SiO₂/Al₂O₃; Kr = relação molecular SiO₂/Al₂O₃ + Fe₂O₃

O experimento foi implantado em uma área de 4 ha, onde os manejos pastagem irrigada e pastagem não irrigada foram instalados em 2 ha cada um. Além disso, foram utilizados 2 ha de mata nativa, como referência.

Os 4 ha de pastagem foram cultivados com braquiária (*Brachiaria brizantha* cv.MG-5 Vitória), divididos em 32 piquetes ao todo (16 irrigados e 16 não irrigados), para a condução de pastejo sob lotação rotacionada de novilhos. Para a implantação da forrageira, o solo sofreu, na camada 0-20 cm, uma operação de aração e duas gradagens.

O plantio foi realizado com auxílio de um distribuidor de calcário com sistema de distribuição do tipo centrífugo, utilizando areia misturada às sementes para melhorar a uniformidade de aplicação. As sementes utilizadas foram adquiridas da empresa Matsuda Sementes e Nutrição Animal. As divisões dos piquetes foram efetuadas com cercas energizadas com eletrificadores ligados à rede elétrica e a um painel solar. Água e sal mineral foram fornecidos à vontade aos animais, em uma área de lazer.

A pastagem irrigada foi utilizada a uma taxa de lotação de cinco unidades animais por ha com períodos de ocupação de 2 dias e períodos de descanso de 32 dias. A irrigação foi realizada por aspersão em malha fechada, sendo grande do material parte proveniente de doação feita pela CEMIG. Esse sistema de irrigação requer uma menor potência do conjunto motobomba, além de utilizar tubulações de menor diâmetro. Em contrapartida, é necessária maior utilização de mão de obra para trocar os aspersores de posição, o que torna esse sistema viável em pequenas e médias propriedades. O monitoramento da irrigação foi realizado utilizando-se um tanque classe A instalado próximo ao experimento, empregando-se um turno de rega fixo de sete dias.

A pastagem não irrigada foi submetida ao mesmo manejo de pastejo rotacionado.

A área de mata nativa (2 ha de vegetação típica de Cerrado Denso) situa-se abaixo da área de pastagem irrigada, sendo utilizada como referência para a comparação entre os atributos físicos do solo avaliados.

2.1 Amostragem

2.1.1 Antes da implantação da pastagem

Antes da implantação do experimento, amostras deformadas de solo foram coletadas para a realização das análises de fertilidade, as quais serviram para o cálculo da adubação utilizada na implantação das pastagens. As correções e as adubações de plantio e de cobertura seguiram as recomendações para o estado de Minas Gerais (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG, 1999).

2.1.2 Após as operações de preparo do solo para a implantação da pastagem

Após as operações de preparo do solo e implantação da pastagem, foram coletadas, em cada condição de pastagem, não irrigada e irrigada, 64 amostras indeformadas de solo com o amostrador tipo Uhland, utilizando anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura. Seguindo a mesma metodologia, também foram coletadas 64 amostras indeformadas na área de mata nativa. A amostragem foi realizada na profundidade de 0-3 cm, segundo o proposto por Bechmann et al. (2006), Imhoff, Silva e Tormena (2000), Lanzanova et al. (2007), Lima et al. (2004), Pires (2007), Salton et al. (2002) e Vzzotto, Marchezan e Segabinazzi (2000). Esta amostragem foi realizada em julho de 2006, antes da entrada dos animais, que ocorreu seis meses após a implantação da pastagem. Estas amostras foram utilizadas no ensaio de compressão uniaxial.

2.1.3 Um ano após a implantação da pastagem (julho de 2007)

Um ano após a implantação da pastagem, ou seja, seis meses após o pisoteio animal, foram coletadas, em cada condição de pastagem, não irrigada e irrigada, 32 amostras indeformadas de solo na profundidade de 0-3 cm com o amostrador tipo Uhland, utilizando anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura. Estas amostras foram utilizadas nos ensaios de compressão uniaxial.

2.1.4 Dois anos e meio após a implantação da pastagem (janeiro de 2009)

Dois anos e meio após a implantação da pastagem, ou seja, dois anos após o pisoteio animal, foram coletadas, em cada condição de pastagem, não irrigada e irrigada, 16 amostras indeformadas de solo, na profundidade de 0-3 cm, com o amostrador tipo Uhland, utilizando anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura. Estas amostras foram utilizadas nos ensaios de compressão uniaxial.

Após a coleta das amostras indeformadas, estas foram embaladas em filme plástico, parafinadas e identificadas. O filme plástico e a parafina garantem que a estrutura da amostra seja preservada até a realização dos ensaios no laboratório.

2.2 Ensaios de compressão uniaxial

Para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga, as amostras indeformadas coletadas em diferentes épocas e com diferentes umidades foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, utilizando-se um consolidômetro da marca Boart Longyear, de acordo com Bowles (1986)

modificado por Dias Júnior (1994). Para a obtenção das diferentes umidades, as amostras indeformadas foram inicialmente saturadas e, a seguir, secas ao ar, no laboratório, para a obtenção das umidades desejadas com controle por pesagem.

Na realização dos ensaios de compressão uniaxial, as pressões aplicadas a cada amostra obedeceram à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa. Cada pressão foi aplicada até que 90% de deformação máxima fosse alcançada (HOLTZ; KOVACS, 1981) e, após essa condição ser alcançada, foi aplicada nova pressão. Após a liberação da pressão, as amostras foram secas em estufa, a 105-110 °C, por 48 horas, e determinada a massa seca do solo. A densidade do solo foi obtida de acordo com Blake e Hartge (1986). Com a umidade gravimétrica e a densidade do solo, as pressões de pré-consolidação foram obtidas de acordo com Dias Júnior e Pierce (1995), a partir da curva de compressão do solo.

As pressões de pré-consolidação obtidas no ensaio de compressão uniaxial foram representadas no eixo y e as umidades simuladas em laboratório no eixo x, para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo e dos intervalos de confiança da população. Por meio do uso do software Sigma Plot (2002), as equações matemáticas foram ajustadas utilizando-se o modelo da forma proposta por Dias Júnior (1994), expresso pela equação $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$, em que σ_p é a pressão de pré-consolidação; U é a umidade do solo e “a” e “b” são os coeficientes de ajuste de regressão. Os intervalos de confiança da população foram utilizados para avaliar o efeito do pisoteio animal sobre as pressões de pré-consolidação obtidas de outras populações diferentes daquela usada na obtenção do modelo de capacidade de suporte de carga.

2.3 Análises estatísticas

As comparações das regressões foram feitas utilizando-se os procedimentos descritos por Snedecor e Cochran (1989).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) para os diferentes manejos após a implantação da pastagem estão representados no Gráfico 1. Na Tabela 2 encontra-se a análise estatística, que consistiu nas comparações dos modelos de CSC $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$.

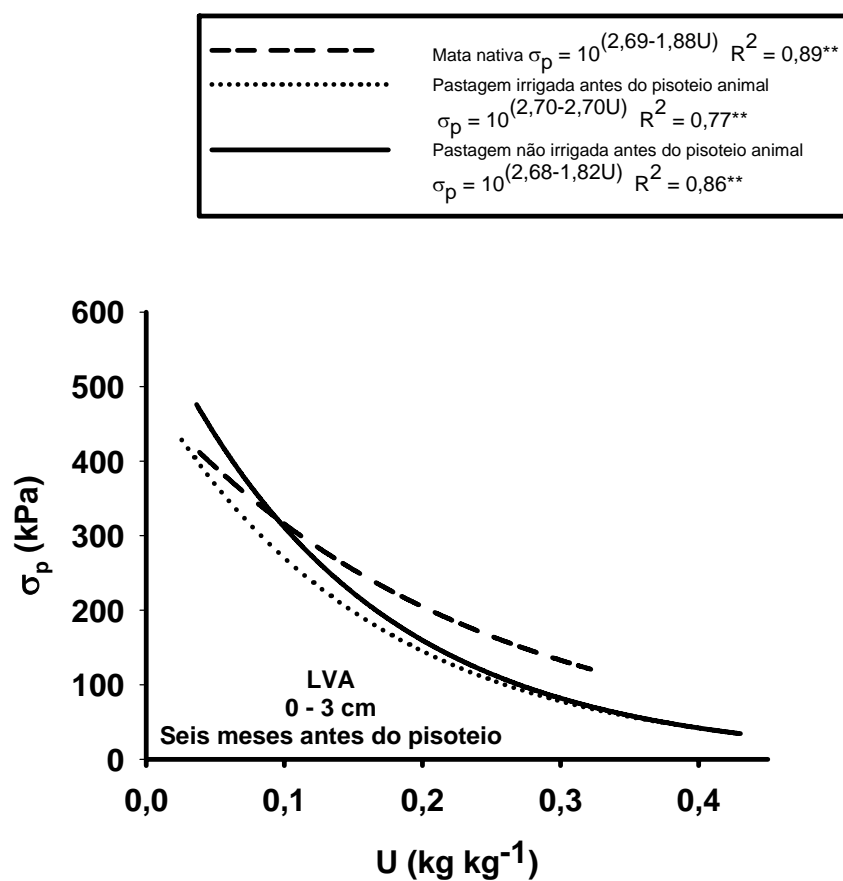


Gráfico 1 Modelos de capacidade de suporte de carga dos diferentes manejos e usos após implantação da pastagem, antes do pisoteio animal

Tabela 2 Comparações dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a + bU)}$] de um Latossolo Vermelho-Amarelo para a profundidade de 0-3 cm para os diferentes manejos e usos de acordo com o procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), após a implantação da pastagem

Manejo	F		
	F		
		Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio vs mata nativa (MN)	NH	ns	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativos a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Os testes de homogeneidade dos modelos de CSC realizados de acordo com o procedimento descrito em Snedecor e Cochran (1989) indicaram, em algumas condições, homogeneidade e não significância dos coeficientes lineares (a) e angulares (b) das regressões linearizadas (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Para essas condições, os modelos de CSC foram agrupados e uma nova equação foi ajustada a todos os valores de pressão de pré-consolidação e umidade gravimétrica, obtendo-se um único modelo (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Esta não significância entre os modelos de CSC indica que as condições analisadas têm a mesma capacidade de suportar carga (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2011). Entretanto, em outras condições, os modelos de CSC foram homogêneos ou não homogêneos, mas os coeficientes lineares (a) e/ou angulares (b) diferiram significativamente (Tabelas 2, 3, 4 e 5), indicando diferentes CSC e, por isso, os modelos de CSC não foram agrupados, corroborando os resultados obtidos por Araújo Júnior et al. (2011).

Os modelos de CSC do LVA para as pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal (Tabela 2) não foram estatisticamente diferentes pelo

fato de que em nenhum piquete houve pisoteio animal. Comparando-se esse modelo com o de CSC da área sob mata nativa, observa-se que estes foram estatisticamente diferentes (Tabela 2). Este fato pode ser decorrente do preparo do solo realizado para a implantação das pastagens ter destruído a estrutura do solo, enquanto na mata nativa esta foi preservada.

O modelo de CSC das pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal mostrou serem estas mais suscetíveis à compactação do que a mata nativa, visto que está abaixo do modelo de CSC da mata nativa e, por isso, possui menor CSC (Gráfico 2), evidenciando o efeito destrutivo da estrutura do solo pelo preparo.

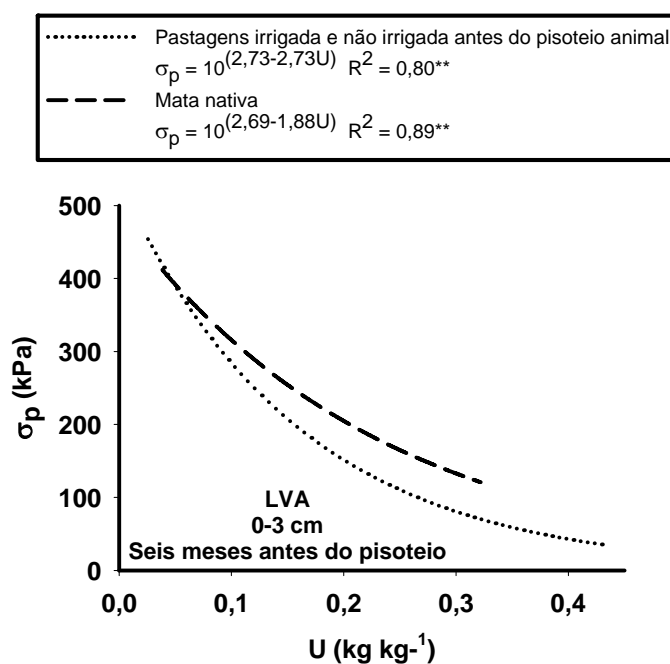


Gráfico 2 Modelos de capacidade de suporte de carga dos diferentes manejos e usos após a implantação da pastagem e após as comparações pelo procedimento de Snedecor e Cochran (1989)

Os modelos de CSC para os diferentes manejos após seis meses de pisoteio animal estão representados no Gráfico 3. Na Tabela 3 encontra-se a análise estatística com as comparações entre os modelos de CSC $\sigma_p = 10^{(a+bU)}$.

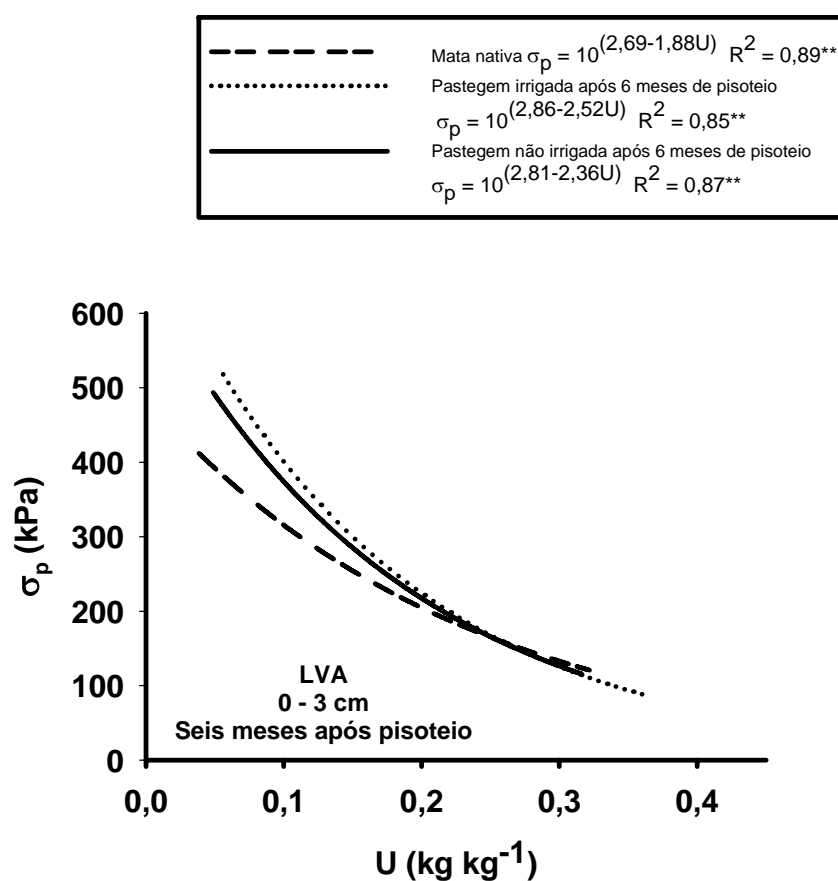


Gráfico 3 Modelos de capacidade de suporte de cargas dos diferentes manejos e usos, seis meses após o pisoteio animal

Tabela 3 Comparações dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^a + bU$] de um Latossolo Vermelho-Amarelo para a profundidade de 0-3 cm, para os diferentes manejos e usos, de acordo com o procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), seis meses após o pisoteio animal

Manejo	F		
	F	Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
Pastagem irrigada após o pisoteio animal vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após o pisoteio animal vs mata nativa	H	ns	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Os modelos de CSC para as pastagens irrigada e não irrigada 6 meses após o pisoteio animal (Tabela 3) não foram estatisticamente diferentes por causa da elevada precipitação pluvial ocorrida no período, fazendo com que a área de pastagem não irrigada permanecesse durante um longo tempo com elevada umidade. Outro fato que pode explicar a igualdade desses modelos é o curto período de tempo em que este solo foi submetido ao pisoteio animal (6 meses). Resultados semelhantes foram encontrados por Lima (2004), quando o tempo de pisoteio foi de 108 dias.

Observa-se, na Tabela 3, que os modelos de CSC para as pastagens irrigada e não irrigada 6 meses após o pisoteio animal foram estatisticamente diferentes do modelo da mata nativa, evidenciando o efeito do pisoteio animal sobre a estrutura do solo.

O modelo de CSC das pastagens irrigada e não irrigada 6 meses após o pisoteio animal apresentou maior CSC, quando comparado com o modelo de CSC da Mata nativa (Gráfico 4), comprovando a capacidade do pisoteio animal em compactar a camada superficial do solo, resultando em alterações da estrutura do solo, possivelmente gerando selamento superficial com consequente

aumento da enxurrada e da erosão por causa da baixa taxa de infiltração resultante desta compactação.

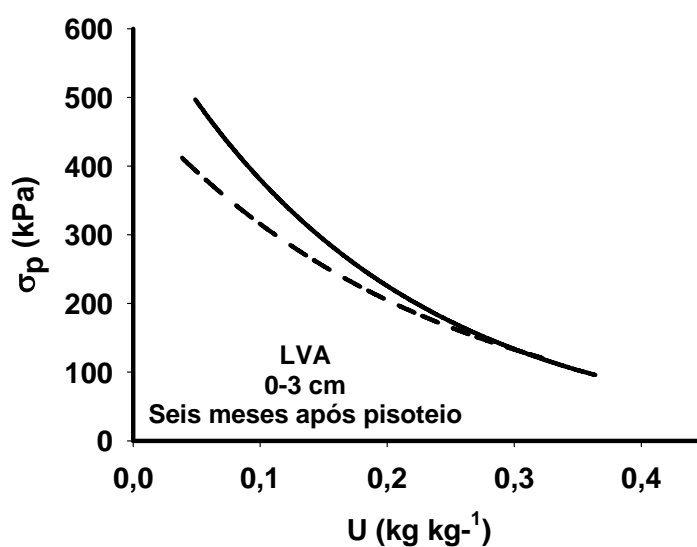
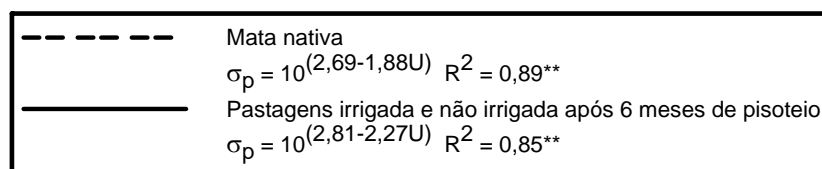


Gráfico 4 Modelos de capacidade de suporte de carga dos diferentes manejos e usos 6 meses após o pisoteio animal e após as comparações pelo procedimento de Snedecor e Cochran (1989)

Os modelos de CSC para os diferentes manejos após 2 anos de pisoteio animal são apresentados no Gráfico 5. Na Tabela 4 encontra-se a análise estatística que consistiu nas comparações dos modelos de capacidade de carga $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$.

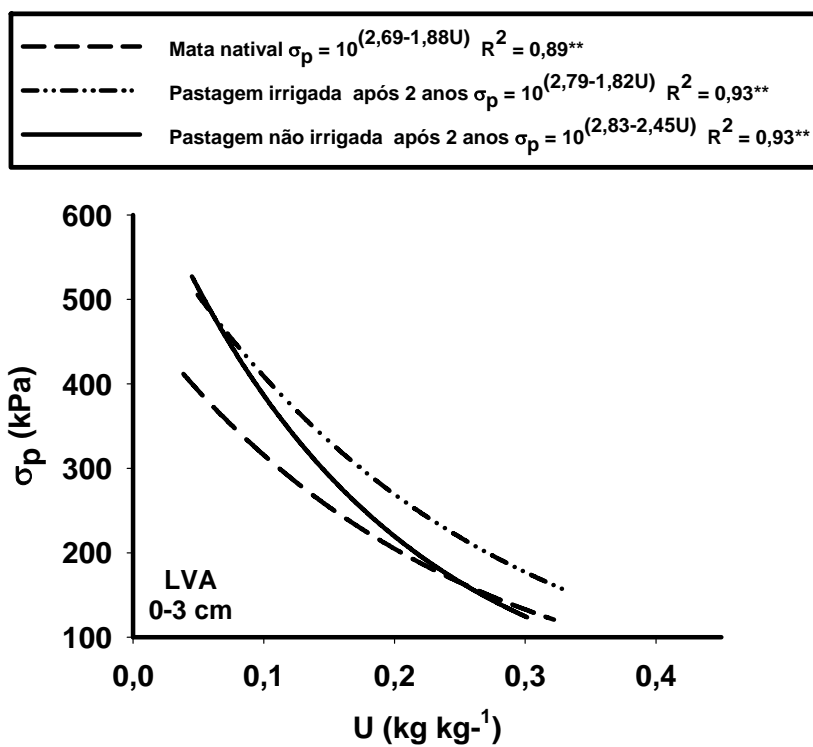


Gráfico 5 Modelos de capacidade de suporte de cargas do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes manejos e usos no município de Passos, MG, para a profundidade de 0-3 cm, 2 anos após o pisoteio animal

Tabela 4 Comparações dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a + bU)}$] de um Latossolo Vermelho-Amarelo, na profundidade de 0-3 cm, para os diferentes manejos e usos, de acordo com o procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), 2 anos após o pisoteio animal

Manejo	F		
	F	Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada após 2 anos vs pastagem não irrigada após 2 anos	H	**	**
Pastagem irrigada após 2 anos vs mata nativa	NH	ns	**
Pastagem não irrigada após 2 anos vs mata nativa	H	**	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativos a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Após 2 anos do pisoteio animal, os modelos de CSC das pastagens irrigada e não irrigada e o da mata nativa foram estatisticamente diferentes (Tabela 4), tendo a pastagem irrigada, no geral, apresentado maior CSC do que a pastagem não irrigada e mata nativa, evidenciando a degradação da estrutura do solo causada pelo pisoteio animal em condições de maior umidade (Tabela 4 e Gráfico 5). Isso pode ser decorrente do fato de que a água reduz a CSC do solo, tornando-o mais suscetível à compactação.

Para avaliar o efeito do tempo de exploração da área em estudo, os modelos de CSC para a profundidade 0-3 cm foram representados no Gráfico 6.

Na Tabela 5 encontra-se a análise estatística, que consistiu nas comparações das equações de regressões $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$.

.....	Pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal $\sigma_p = 10^{(2,73-2,73U)}$ $R^2 = 0,80^{**}$ $n = 126$
-----	Mata nativa $\sigma_p = 10^{(2,69-1,88U)}$ $R^2 = 0,89^{**}$
————	Pastagens irrigada e não irrigada após 6 meses de pisoteio animal $\sigma_p = 10^{(2,81-2,27U)}$ $R^2 = 0,85^{**}$
.....	Pastagem irrigada após 2 anos $\sigma_p = 10^{(2,79-1,82U)}$ $R^2 = 0,93^{**}$
-----	Pastagem não irrigada após 2 anos $\sigma_p = 10^{(2,83-2,45U)}$ $R^2 = 0,93^{**}$

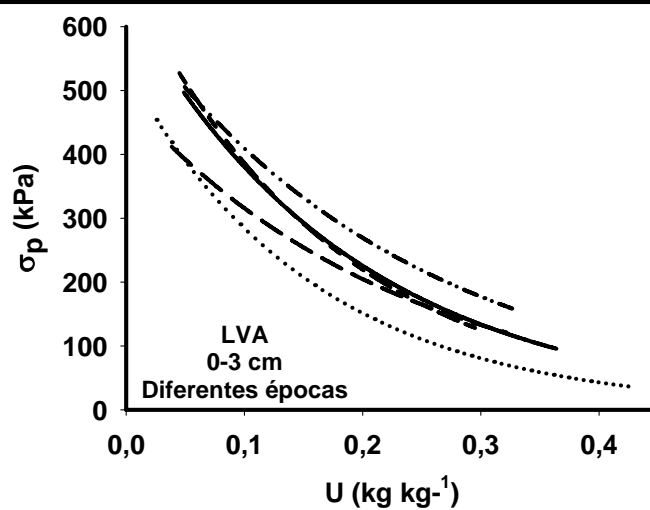


Gráfico 6 Modelos de capacidade de suporte de carga do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes manejos e usos no município de Passos, MG, na profundidade de 0-3 cm, antes do pisoteio, 6 meses e 2 anos após o pisoteio animal

Tabela 5 Comparações dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a + bU)}$] de um Latossolo Vermelho-Amarelo, na profundidade de 0-3 cm, dos diferentes manejos e usos, de acordo com o procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), antes do pisoteio, 6 meses e 2 anos após o pisoteio animal

Manejo	F		
	F	Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagens irrigada e não irrigada após 6 meses vs pastagem irrigada após 2 anos.	NH	*	**
Pastagens irrigada e não irrigada após 6 meses vs pastagem não irrigada após 2 anos.	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após 6 meses e pastagem não irrigada após 2 anos vs pastagem Irrigada após 2 anos.	NH	*	**
Pastagens irrigada e não irrigada após 6 meses e pastagem não irrigada após 2 anos vs mata nativa	NH	ns	**
Pastagens irrigada e não irrigada após 6 meses, e pastagem não irrigada após 2 anos vs pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal.	H	ns	**
Pastagem irrigada após 2 anos vs mata nativa	H	ns	**
Pastagem irrigada após dois anos vs pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	H	*	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Observa-se que apenas os modelos de CSC das pastagens irrigada e não Irrigada após 6 meses vs modelo da pastagem não irrigada após 2 anos não foram estatisticamente diferentes (Tabela 5), sendo, portanto, estes modelos agrupados em uma nova equação ajustada a todos os valores de pressão de pré-consolidação e umidade gravimétrica, obtendo-se um único modelo para estes manejos. Entretanto, em todas as outras condições de manejos e usos, os modelos de CSC foram estatisticamente diferentes.

Observa-se que os modelos de CSC deslocaram-se para cima em relação ao modelo da pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal (Gráfico

7). Este deslocamento para cima indica que os solos sob estes manejos ao longo do tempo adquiriram maior CSC, indicando uma degradação da estrutura do solo ao longo do tempo. Assim, a ordem crescente de degradação da estrutura do solo ao longo do tempo foi pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal < mata nativa < pastagens irrigada e não irrigada 6 meses após o pisoteio animal e pastagem não irrigada 2 anos após o pisoteio animal < pastagem irrigada 2 anos após o pisoteio animal. Estes resultados comprovam a degradação da estrutura do solo ao longo do tempo pelo pisoteio animal, principalmente na condição de irrigação.

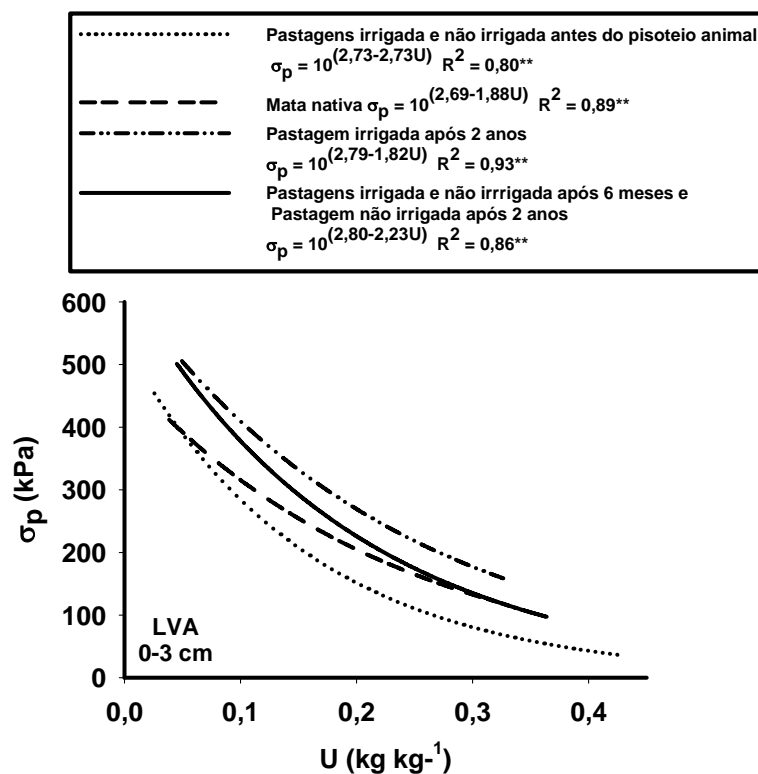


Gráfico 7 Modelos de capacidade de suporte de carga do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes manejos e usos no município de Passos, MG, na profundidade de 0-3 cm, antes do pisoteio, 6 meses e 2 anos após o pisoteio animal e após as comparações pelo procedimento de Snedecor e Cochran (1989)

4 CONCLUSÕES

O tempo de exploração do solo com pastagem influenciou a sua capacidade de suporte de carga dos diversos manejos.

O pisoteio animal ao longo do tempo promoveu maior degradação da estrutura do LVA.

A degradação da estrutura do LVA ao longo do tempo ocorreu na seguinte ordem crescente: pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal < mata nativa < pastagens irrigada e não irrigada 6 meses após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após 2 anos de pisoteio animal < pastagem irrigada dois anos após o pisoteio animal.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; EDNER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 717-723, jul./set. 2001.

ANUÁRIO da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2009. 495 p.

ARAÚJO JÚNIOR, C. F. et al. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 115-131, jan./fev. 2011.

BECHMANN, J. et al. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 112-118, Jan. 2006.

BETTERIDGE, K. et al. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 37, n. 4, p. 743-760, July/Aug. 1999.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: ASA/SSSA, 1986. p. 363-375.

BONFIM-DA-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre em características produtivas do capim-brachiária proveniente de área de pastagem em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1289-1297, jul./ago. 2006.

BOWLES, J. E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1986. 218 p.

CARVALHO, C. A. B. **Padrões demográficos de perfilhamento e acúmulo de forragem em pastagem de *Cynodon ssp.* manejada em quatro intensidades de pastejo**. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2000.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

COSTA, K. A. P. **Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de capim Marandu em solo de Cerrado**. 2007. 95 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

DIAS JÚNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Thesis (Ph.D. in Soil's Physical) - Michigan State University, East Lansing, 1994.

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, J. F. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Lansing, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FLORES, J. P. C. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 771-780, jul./ago. 2007.

GIJSMAN, A. J.; THOMAS, R. J. Evolution of some physical properties of an oxisol after conversion of native Savana into legume-based on pure grass pastures. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v. 30, n. 1, p. 237-248, Mar. 1996.

HOLF, J. A.; BRISTOW, K. L.; MCLVOR, J. G. The effects of grazing pressure on soil animals and hydraulic properties of two soils in semi-arid tropical Queensland. **Australia Journal Soil Research**, Melbourne, v. 34, n. 1, p. 69-79, Apr. 1996.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981. 733 p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações de curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, set./out. 2007.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70 p. Tese (Doutorado em solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não-irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 945-951, nov./dez. 2004.

MACIEL, G. A. **Integração lavoura-pecuária e a qualidade física do solo na região do cerrado**. 2008. 72 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MARTHA JÚNIOR, G. R.; VILELA, L. **Pastagens no cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes em pastagens**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 32 p. (Documentos, 50).

MULLER, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raiz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

PIRES, B. S. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latosolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

PROFFITT, A. P. B. et al. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown earth. **Australian Journal Agricultural Soil Research**, Melbourne, v. 44, n. 2, p. 317-331, Mar./Apr. 1993.

ROSOLEM, C. A. et al. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 491-497, jul./set. 1994.

SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Santa Maria, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.

SIGMA PLOT. **Scientific graphing software**. Version 8.0. San Rafael: Jandel, 2002. Software.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 8th ed. Ames: Iowa State University, 1989. 503 p.

VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, nov./dez. 2000.

CAPÍTULO 3

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO SOB PASTAGENS AO LONGO DO TEMPO

RESUMO

O potencial produtivo das pastagens brasileiras é um fato notório por causa do clima tropical com temperaturas elevadas e boas condições de umidade do solo que sustentam elevadas produções, especialmente das gramíneas. Somada a estas condições, existe tecnologia disponível para correção e adubação de solos e espécies altamente produtivas selecionadas e utilizadas em todo o território nacional. No entanto, o que vem sendo observado na prática é uma falta de aplicação do conhecimento por parte dos pecuaristas das técnicas que visam aumentar a produção das forrageiras. Aliada a estes problemas de natureza química, os solos sob pastagem sofrem a ação do pisoteio animal que, dependendo da umidade e da intensidade, podem provocar diversos danos de natureza física ao solo. A condução deste estudo teve como objetivos: a) obter envoltórias de resistência ao cisalhamento e seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo; b) comparar as envoltórias de resistência ao cisalhamento e propor melhor utilização do solo baseado nestes manejos e c) identificar os sistemas de manejo mais resistentes ou susceptíveis à compactação. O estudo foi conduzido, na Fazenda Experimental da Fundação de Ensino Superior de Passos, em Passos, MG. Foram avaliados sete manejos no solo em estudo, sendo: pastagens irrigadas antes (1) a após um ano (2) de pisoteio animal, pastagens não irrigadas antes (3) e após um ano (4) de pisoteio animal, pastagens irrigada (5) e não irrigada (6) após dois anos de pisoteio animal e mata nativa (7). As amostras indeformadas foram utilizadas nos ensaios de resistência ao cisalhamento. O pisoteio animal ao longo do tempo promoveu aumento da resistência ao cisalhamento do solo. A pastagem irrigada que sofreu pisoteio animal por dois anos apresentou maior resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, foi o manejo que mais degradou a estrutura.

Palavras-chave: Tensão Cisalhante. Compactação. Pastagem irrigada.

ABSTRACT

The productive potential of Brazilian pastures is a widely acclaimed because of the tropical climate with high temperatures and good soil moisture conditions that sustain high yields, especially in grasses. Added to these conditions, there is technology available for soil nutrient correction by fertilization, and there are highly productive species selected and used throughout the national. However, what has been observed in practice is a lack of application of this abundant knowledge by farmers for the increase in the production of fodder. Coupled with the problem of changes in chemical nature due to use, pasture soil are subjected to the trampling animal which may cause damages to the physical structure of the soil depending on the soil moisture condition and the intensity of grazing. The study was conducted with the aim to: a) obtaining a combination of shear strength and its parameters for the different management systems of a Red-Yellow Oxisol b) comparing the set of shear parameters and thereby propose better land use management strategies based on this c) identify the management systems that is more resistant or susceptible to compaction. The study was conducted at the Experimental Farm of the Fundação de Ensino Superior de Passos in Passos, MG. We evaluated seven management strategies of the soil in this study, namely: irrigated pasture before (1) after one year (2) of cattle trampling, non-irrigated pasture before (3) and after one year (4) of cattle trampling, irrigated pastures (5) and irrigation (6) after two years of cattle trampling and native forest (7). Undisturbed soil samples were used in shear tests. Animal trampling over time was observed to result in increase in the shear strength of the soil. The irrigated pasture that was trampled for two years showed higher shear strength and consequently the management strategy was observed to result in intense soil structure degradation.

Keywords: Shear Stress. Compaction. Irrigated pasture.

1 INTRODUÇÃO

O potencial produtivo das pastagens brasileiras é um fato notório em razão do clima tropical com temperaturas elevadas e boas condições de umidade do solo que sustentam elevadas produções, especialmente das gramíneas. Somada a estas condições, existe tecnologia disponível para correção e adubação dos solos e espécies altamente produtivas selecionadas e utilizadas em todo o território nacional. No entanto, o que vem sendo observado na prática é a falta de aplicação do conhecimento disponível por parte dos pecuaristas das técnicas que visam aumentar a produção das forrageiras.

Nos países em desenvolvimento, as necessidades atuais de forragem para a produção pecuária excedem a produção sustentável das pastagens e dos solos que as suportam (GIAROLA; TORMENA; DUTRA, 2007). Um dos maiores entraves para aumentar a produção das pastagens decorre do fato de que grande parte dos pecuaristas ainda utiliza o sistema intensivo de criação de gado sem a realização de correções e adubações do solo, com espécies ainda não melhoradas, simplesmente desrespeitando a legislação e derrubando a mata, queimando os restos vegetais para limpar a área e implantando as pastagens. Este sistema conduz à baixa capacidade de suporte e à exaustão dos recursos químicos do solo, gerando um rápido processo de degradação dessas pastagens.

Aliado aos problemas de natureza química, os solos sob pastagem sofrem a ação do pisoteio animal que, dependendo da umidade e da intensidade, podem provocar diversos danos de natureza física ao solo (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LIMA et al., 2004; PIRES, 2007). Albuquerque, Sangoi e Edner (2001) apontaram a compactação, seja pelo tráfego de máquinas ou pelo pisoteio animal, como uma das principais causadoras da degradação das áreas cultivadas.

O sistema de exploração extensivo torna-se não lucrativo em poucos anos e vem sendo gradativamente substituído por sistemas mais intensivos para produção de carne e leite (CARVALHO, 2000), podendo-se destacar o pastejo sob lotação rotacionada e a utilização de irrigação. No entanto, na adoção de sistemas mais intensivos, o impacto do pisoteio animal no solo torna-se também mais pronunciado, gerando, em muitos casos, compactação do solo, notadamente quando se utiliza a irrigação (PIRES, 2007).

O efeito do pisoteio animal nos atributos físicos dos solos tem se concentrado nas camadas superficiais (BECHMANN et al., 2006; IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LANZANOVA et al., 2007; LIMA et al., 2004; PIRES, 2007; SALTON et al., 2002; VZZOTTO; MARCHEZAN; SEGABINAZZI, 2000). A maioria dos estudos tem curto período de avaliação (média de três anos), existindo carência de informações das alterações em um longo uso sob pastejo. No entanto, Bechmann et al. (2006), estudando áreas pastejadas durante 12, 50 e 150 anos e utilizando uma área de mata nativa como referência, detectaram alterações nos atributos físicos apenas nas camadas superficiais e mais acentuadas nos períodos iniciais, utilizando tanto dados de resistência à penetração como o teste de resistência à ruptura da estrutura (“vane shear test”), portanto, confirmando que o efeito do pisoteio animal no solo causa alterações apenas na camada superficial, mesmo após um longo período de pisoteio na área.

A elevada pressão exercida pelos animais sobre o solo deve-se ao fato de o seu peso se concentrar em uma pequena área do casco (PIRES, 2007; WILLARTT; PULLAR, 1984). As máquinas agrícolas, apesar de terem peso maior do que os bovinos, exercem pressão menor sobre a superfície do solo, uma vez que o seu peso é distribuído em uma área maior (pneus ou esteiras). A pressão exercida sobre o solo é o agente causador da compactação e há evidências de que a compactação superficial está relacionada a essa pressão; já a

compactação subsuperficial está mais relacionada à carga total aplicada por eixos das máquinas agrícolas, independentemente da pressão exercida sobre a superfície (HAMZA; ANDERSON, 2005). Esses relatos ajudam a entender o fato de a compactação do solo causada pelo pisoteio animal concentrar-se nas camadas mais superficiais, até 5,0 cm de profundidade (SALTON et al., 2002).

Diante desse panorama, fica clara a necessidade de uma utilização mais racional dos recursos naturais existentes, o que será possível somente por meio de uma melhor compreensão dos ecossistemas de pastagens, para que práticas de manejo e sistemas de produção animal possam ser idealizadas e implementadas, sem colocar em riscos sua sustentabilidade e produtividade (SBRISSIA; SILVA, 2001). Nesse sentido, a preocupação com os solos sob pastagem é ainda maior, pois, além de sustentar a produção de forragem e suportar os agentes erosivos, os solos sofrem compactação pelo pisoteio animal, notadamente quando se encontra com umidade inadequada.

O número de animais mantidos na pastagem deve ser em função da produtividade da forrageira utilizada e do tipo de manejo adotado (GARCIA; NAHAS, 2007), não se levando em consideração o fato de o solo suportar essa carga sem sofrer compactação adicional, principalmente em pastagem irrigada, na qual, normalmente, se aumenta o número de animais por hectare e o solo é mantido mais úmido com conseqüente menor capacidade de suporte de carga.

Em vista disso, melhorar e preservar a qualidade estrutural do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo são de fundamental importância quando se almejam maiores produtividades e preservação ambiental (LIBARDI; FERNANDES, 2006; SECCO et al., 2005).

Dentre as várias análises laboratoriais, como comportamento compressivo do solo, determinação da densidade do solo, determinação do intervalo hídrico ótimo e resistência à penetração, a resistência ao cisalhamento é uma importante propriedade dinâmica do solo, que tem sido desconsiderada na

maioria das pesquisas que investiga a influência do uso e do manejo. Isso tem contribuído para a adoção de estratégias quase sempre equivocadas, tendo como consequência o depauperamento das propriedades físicas e mecânicas do solo (SILVA et al., 2004).

A resistência ao cisalhamento do solo pode também ser utilizada como um indicador de compactação do solo (AYERS; PERUMPRAL, 1982; PIRES, 2007; SCHJONNING; RASMUSSEN, 1991; SILVA et al., 2009). Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (AZEVEDO, 1999; SILVA et al., 2009), por causa da menor distância entre as partículas, o que confere, conseqüentemente, menor índice de vazios e um maior esforço, por exemplo, para se preparar o solo para o cultivo, em razão do maior número de pontos de contato entre as partículas do solo e o conseqüente aumento do atrito entre elas (ASHBURNER; SIMS, 1984).

A resistência ao cisalhamento de um solo é a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura ocorre (ROCHA, 2003). Pode ser expressa pela equação de Coulomb, $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$ (Figura 1) (RAMAMURTHY, 2001), em que τ é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo; σ_n é a tensão normal a que a superfície de falhamento está submetida; c é o intercepto de coesão ou coesão aparente do solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo, definido como sendo o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças a que o maciço terroso está submetido. Essa equação define a envoltória de resistência, que é a linha limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer pressão cisalhante que esteja acima dessa linha promoverá a ruptura do solo (ROCHA, 2003).

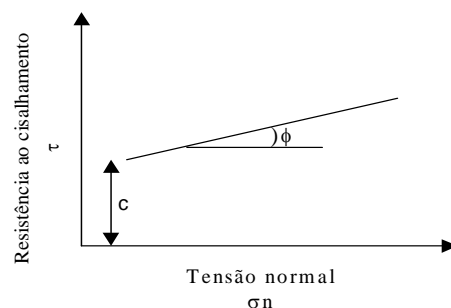


Figura 1 Envoltória de resistência

Os parâmetros c e ϕ são características intrínsecas dos solos (BENJAMIM; CRUSE, 1985; RAMAMURTHY, 2001; ZANG et al., 2001).

Nesse estudo, a coesão determinada é a coesão aparente ou o intercepto de coesão (c). Esse parâmetro é uma parcela da resistência ao cisalhamento dos solos presente apenas naqueles parcialmente saturados e mais expressiva nos argilosos, em decorrência da maior ou da menor tensão capilar (AZEVEDO, 1999; PINTO, 1989; SILVA; CABEDA, 2005; VARGAS, 1989). Al-Shayea (2001) demonstrou que a distância entre as partículas mostrou-se reduzida com a diminuição do teor de água do solo, resultando em uma maior atração entre elas e no conseqüente aumento da coesão. Arvidsson et al. (2001), Boeni (2000), Pires (2007), Silva e Cabeda (2005) e Silva et al. (2004), observaram aumentos expressivos da coesão com a redução do teor de água no solo, evidenciando o grande efeito da umidade na coesão do solo.

A coesão aparente do solo será tanto maior quanto menor for o índice de vazios do solo (PINTO, 2000), em razão da atração eletrostática entre estas partículas que estão muito próximas, aliada ao efeito de agentes cimentantes (óxidos, argilas e matéria orgânica). Franzmeier, Chartes e Wood (1996) e Mody e Graham (1997) enfatizaram a importância dos óxidos de ferro, silício e alumínio livres como agentes cimentantes. Para maiores densidades do solo, esse

parâmetro da resistência ao cisalhamento será também maior, desde que o solo não contenha quantidades expressivas de silte (ROCHA; DIAS JÚNIOR; LIMA, 2001; ROCHA et al., 2002; SERVADIO et al., 2001; SILVA; CABEDA, 2005).

Solos com estrutura em blocos apresentam maior ângulo de atrito interno e maiores valores de resistência ao cisalhamento direto, quando comparados com solos de estrutura granular (ROCHA et al., 2002), pois este tipo de estrutura promove maior entrosamento entre as unidades estruturais, resultando em aumento da área de contato entre essas partículas.

O ângulo de atrito interno em determinadas situações pode diminuir com o aumento do teor de argila do solo, pois as partículas de argila revestem a superfície das partículas de areia, diminuindo a fricção entre elas (AL-SHAYEA, 2001). Já em solos de textura arenosa, a resistência ao cisalhamento depende, basicamente, do atrito entre as partículas, cujo ângulo de atrito interno depende da forma do grão e do grau de compactação do solo (SILVA; CABEDA, 2005).

Em estudos de resistência ao cisalhamento e mecanização agrícola, correlações positivas com a resistência do solo à penetração e a densidade do solo já foram obtidas, tanto para uma como para várias passadas de tratores na mesma linha de tráfego (SERVADIO et al., 2001; ZANG et al., 2001), tendo os valores de resistência ao cisalhamento do solo aumentado com o aumento do número de passadas dos tratores. Munkholm, Schjonning e Rasmussen (2001), Pires (2007), Silva e Cabeda (2005) e Silva et al. (2009), encontraram alterações na estrutura do solo sob diferentes manejos, utilizando os resultados de ensaios de resistência ao cisalhamento. Os dois primeiros autores também obtiveram resultados semelhantes com a utilização dos modelos de capacidade de suporte de carga. Portanto, modelos baseados na resistência ao cisalhamento do solo podem ser elaborados para prever a capacidade de suporte de cargas do solo,

uma vez que análises de tensões-deformações podem ser obtidas nesse tipo de ensaio.

Solos com maiores quantidades de areia apresentarão maior resistência ao cisalhamento (ROCHA; DIAS JÚNIOR; LIMA, 2001), em virtude da capacidade dessas partículas de se rearranjarem de maneira mais densa, quando submetidas a esforços externos, conferindo maiores densidades aos solos (DIAS JÚNIOR; MIRANDA, 2000), o que gera maior atrito entre as partículas e aumenta a resistência ao cisalhamento do solo. Também, segundo Rocha, Dias Júnior e Lima (2001), no caso de solos argilosos, o estudo da resistência ao cisalhamento torna-se mais complexo pelo fato de essa fração ser a mais ativa do solo e os processos físicos e químicos, tais como sucessivas arações e gradagens, flutuação do lençol freático por meio de drenagens, adubações fosfatadas e calagem, que atuam no sentido de aumentar ou reduzir o contato entre partículas, conseqüentemente aumentarão ou reduzirão a resistência ao cisalhamento do solo.

Para Sidorchuk et al. (2002), a umidade e o teor de matéria orgânica podem influenciar a resistência ao cisalhamento do solo, de forma que, para determinados valores de umidade, a matéria orgânica tende a reduzir a resistência ao cisalhamento, em função da menor densidade do solo conferida por esta, reduzindo, com isso, o contato entre as partículas. Por outro lado, também dependendo da umidade, a matéria orgânica presente no solo exerce funções físicas e químicas que melhoram a estrutura do solo, resultando em um melhor desenvolvimento radicular que certamente influenciará o aumento da resistência ao cisalhamento do solo. Assim, a resistência ao cisalhamento dos solos é uma variável importante na caracterização das alterações da estrutura do solo (CRUSE; LARSON, 1977; DAVIES, 1985; GANTZER et al., 1987; ROCHA, 2003; SERVADIO et al., 2001).

Uma vez que a maioria dos solos agrícolas é cultivada com baixos teores de matéria orgânica (EKWUE; STONE, 1995) e na umidade inadequada (SILVA et al., 2002), a variação da resistência ao cisalhamento com os teores de matéria orgânica deve ser melhor estudada, pois, de certa forma, o resultado destes ensaios pode permitir a correta especificação do equipamento a ser utilizado no seu preparo, em função das pressões sofridas pelo solo durante o manejo. Isso porque, além do efeito direto na estruturação dos solos, a matéria orgânica, juntamente com a mineralogia, é o principal agente que incrementa a capacidade de troca de cátions e que garante uma boa condição de fertilidade química dos solos (LOPES, 1996).

As pressões aplicadas em solos sob pastagem são resultantes das operações de manejo e do pisoteio animal. Bovinos aplicam diferentes pressões no solo em função das raças e das idades dos mesmos, havendo um consenso de que estas pressões variam entre 350 e 400 kPa (BETTERIDGE et al., 1999; PROFFITT et al., 1993). Estes dados são de difícil obtenção, pois, além de se obter a área do casco e o peso dos animais, deve-se levar em consideração que a distribuição de peso não é igual nos quatro membros e que esta varia com o deslocamento do animal.

No entanto, Pires (2007) determinou a pressão aplicada por novilhos da raça Nelore, levando em consideração que, no deslocamento, os animais ficam apoiados em duas patas, em várias ocasiões. Para determinar a área do casco do animal, foram utilizados moldes de gesso com o formato dos cascos dos animais e, por meio de fotografia e com auxílio do software Autocad, determinou-se a área de cada casco. O peso dos animais foi obtido com a utilização de uma balança digital e, dessa forma, encontrou-se uma pressão média exercida pelo animal de 280 kPa.

Com base nesses fatores, a condução do presente estudo teve os seguintes objetivos:

- a) obter envoltórias de resistência ao cisalhamento e seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo;
- b) comparar as envoltórias de resistência ao cisalhamento e propor melhor utilização do solo baseado nesses manejos e
- c) identificar os sistemas de manejo mais resistentes ou susceptíveis à compactação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Fundação de Ensino Superior de Passos (FESP-UEMG), em Passos, MG (latitude de 19°S e longitude 43°W de Greenwich).

As áreas do estudo situam-se em uma altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 19°C, precipitação média anual de 1.709,4 mm, presença de invernos secos e verões chuvosos, clima classificado, segundo Köppen, em Aw (tropical chuvoso) e vegetação nativa típica de Cerrado Denso.

O relevo da área é suave ondulado em grandes extensões, com declividade de 5% e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

Algumas características do solo na camada de 20 a 40 cm estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) localizado na Fazenda Experimental da FESP/UEMG

Profundidade (cm)	SiO ₂	Al ₂ O ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr
	-----%-----						
20-40	8,36	11,83	5,95	1,37	0,04	1,21	0,91

Ki = relação molecular SiO₂/Al₂O₃; Kr = relação molecular SiO₂/Al₂O₃ + Fe₂O₃

O experimento foi implantado em uma área de 4 ha, onde os manejos pastagem irrigada e pastagem não irrigada foram instalados em 2 ha cada um. Além disso, foram utilizados 2 ha de mata nativa como referência.

Os 4 ha de pastagem foram cultivados com braquiária (*Brachiaria brizantha* cv.MG-5 Vitória), divididos em 32 piquetes ao todo (16 irrigados e 16 não irrigados), para a condução de pastejo sob lotação rotacionada de novilhos.

Para a implantação da forrageira, o solo sofreu, na camada 0-20 cm, uma operação de aração e duas gradagens.

O plantio foi realizado em fevereiro de 2006, com auxílio de um distribuidor de calcário com sistema de distribuição do tipo centrífugo, utilizando areia misturada as sementes para melhorar a uniformidade de aplicação. As sementes utilizadas foram adquiridas da empresa Matsuda Sementes e Nutrição Animal. As divisões dos piquetes foram efetuadas com cercas energizadas com eletrificadores ligados à rede elétrica e a um painel solar. Água e sal mineral foram fornecidos à vontade aos animais em uma área de lazer.

A pastagem irrigada foi utilizada a uma taxa de lotação de 5 unidades animais por há, com períodos de ocupação de 2 dias e períodos de descanso de 32 dias. A irrigação foi realizada por aspersão em malha fechada, sendo grande do material parte do material proveniente de doação feita pela CEMIG. Esse sistema de irrigação requer uma menor potência do conjunto motobomba, além de utilizar tubulações de menor diâmetro. Em contrapartida, é necessário maior utilização de mão de obra para trocar os aspersores de posição, o que torna esse sistema viável em pequenas e médias propriedades. O monitoramento da irrigação foi realizado utilizando-se um tanque classe A instalado próximo ao experimento, empregando-se um turno de rega fixo de sete dias.

A pastagem não irrigada foi submetida ao mesmo manejo de pastejo rotacionado.

A área de mata nativa (2 ha de vegetação típica de Cerrado Denso) situa-se abaixo da área de pastagem irrigada, sendo utilizada como referência para a comparação entre os atributos físicos do solo avaliados.

2.1 Amostragem

2.1.1 Antes da implantação da pastagem

Antes da implantação do experimento, amostras deformadas de solo foram coletadas para a realização das análises de fertilidade, as quais serviram para o cálculo da adubação utilizada na implantação das pastagens. As correções e as adubações de plantio e de cobertura seguiram as recomendações para o estado de Minas Gerais (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG, 1999).

2.1.2 Após as operações de preparo do solo para a implantação da pastagem

Após as operações de preparo do solo e implantação da pastagem, foram coletadas, em cada condição de pastagem, não irrigada e irrigada, 64 amostras indeformadas de solo com amostrador especialmente desenvolvido para ensaios de cisalhamento direto, na forma de quadrado com dimensões de 5,95x 5,95 cm e 2,2 cm de altura (ROCHA, 2003). Seguindo a mesma metodologia, também foram coletadas 64 amostras indeformadas na área de mata nativa.

Em cada ponto de amostragem foram coletadas quatro amostras (Figura 2), que foram submetidas a quatro tensões diferentes, visando construir a envoltória de resistência ao cisalhamento. Assim, cada amostra desse conjunto foi submetida ao ensaio de cisalhamento com diferentes tensões normais, após serem saturadas ou equilibradas em três tensões de retenção de água (-2 kPa, -6 kPa e -1.500 kPa).

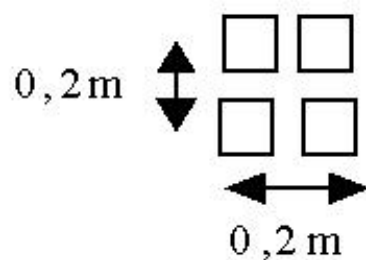


Figura 2 Esquema de coleta das amostras

A amostragem foi realizada na profundidade de 0-3 cm, por ser esta a mais afetada pelo pisoteio animal (BECHMANN et al., 2006; IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LANZANOVA et al., 2007; LIMA et al., 2004; PIRES, 2007; SALTON et al., 2002; VZZOTTO; MARCHEZAN; SEGABINAZZI, 2000). Esta amostragem foi realizada em julho de 2006, antes da entrada dos animais para a realização dos ensaios de resistência ao cisalhamento. A entrada dos animais ocorreu seis meses após a implantação da pastagem.

2.1.3 Um ano após a implantação da pastagem (julho de 2007)

Um ano e meio após a implantação da pastagem, ou seja, seis meses após o pisoteio animal, foram coletadas quatro amostras por ponto amostral, seguindo a metodologia especificada anteriormente. Estas amostras foram utilizadas nos ensaios de resistência ao cisalhamento.

2.1.4 Dois anos e meio após a implantação da pastagem (janeiro de 2009)

Dois anos e meio após a implantação da pastagem, ou seja, dois anos após o pisoteio animal, foram coletadas quatro amostras por ponto amostral, seguindo a metodologia especificada anteriormente. Estas amostras foram utilizadas nos ensaios de resistência ao cisalhamento.

Após a coleta das amostras indeformadas, estas foram embaladas em filme plástico, parafinadas e identificadas. O filme plástico e a parafina garantem que a estrutura da amostra seja preservada até a realização dos ensaios no laboratório.

2.2 Ensaios de resistência ao cisalhamento

Para a obtenção das envoltórias de resistência ao cisalhamento, as amostras indeformadas coletadas sob diferentes períodos de pisoteio animal foram submetidas ao ensaio de resistência ao cisalhamento.

As amostras de solo, antes de serem submetidas ao ensaio de cisalhamento direto, foram saturadas e equilibradas em três tensões de retenção de água, além das saturadas. Foram utilizadas 16 amostras por tensão (16 amostras a -2 kPa; 16 amostras a -6 kPa; 16 amostras a -1.500 kPa e 16 amostras saturadas). Essas tensões foram escolhidas pelo fato de um dos manejos estudados ser irrigado, no qual, teoricamente, a umidade é mantida próximo à capacidade de campo. O ponto de murcha permanente fornece uma amplitude do estudo dentro do conceito de água disponível e a saturação deve-se ao fato de o município de Passos, MG ter uma boa distribuição pluviométrica, sendo, portanto, observada essa umidade em determinadas épocas do ano.

Foi utilizada, no ensaio de cisalhamento direto, uma prensa de cisalhamento fabricada pela ELE International (Digital Shear Machine, 26-112 -

9901X0089). O equipamento operou com velocidade de deslocamento horizontal de $3,33 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ e tensões normais de 194, 304, 415 e 526 kPa. A escolha destas tensões normais foi em função de um experimento no qual se obteve a área do casco dos animais utilizados na pastagem (moldes de gesso) e o peso destes animais (balança digital). Para se saber a tensão aplicada pelo animal no solo, foi dividido o peso do animal pela área do casco, obtendo-se uma tensão média de 280 kPa.

O ensaio de cisalhamento direto consiste na obtenção da força cisalhante em apenas uma direção. O equipamento (Figura 3) tem uma caixa separada em duas partes, sendo uma superior e outra inferior. A parte superior se mantém fixa enquanto a inferior se desloca horizontalmente, com velocidade constante. A amostra indeformada de solo é colocada na caixa de cisalhamento, onde também há uma placa porosa no fundo da caixa e outra sobre a amostra. A função dessas placas porosas é a de promover a drenagem, uma vez que, nesse tipo de ensaio, as tensões neutras não são quantificadas.

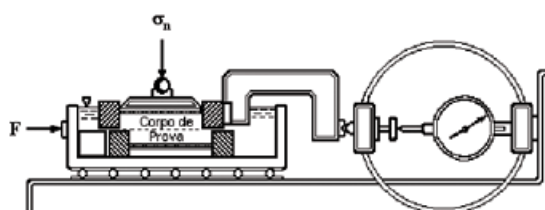


Figura 3 Representação esquemática do ensaio de cisalhamento direto

A superfície de contato entre a amostra de solo e as placas porosas possui ranhuras, o que impede o deslizamento da amostra durante o ensaio.

O primeiro passo para a realização do ensaio é a aplicação de uma força vertical, a qual, dividida pela área de contato, fornece a tensão normal. A seguir, passa-se a aplicar uma força horizontal crescente em uma das extremidades da caixa, provocando o deslocamento de uma parte em relação à outra (Figura 4). O

esforço resistente a esse deslocamento é a sua resistência ao cisalhamento, em função da força vertical aplicada.

O resultado do ensaio é registrado numérica e graficamente pela variação da tensão de cisalhamento em função da deformação (TERZAGHI; PECK; MESRI, 1997).

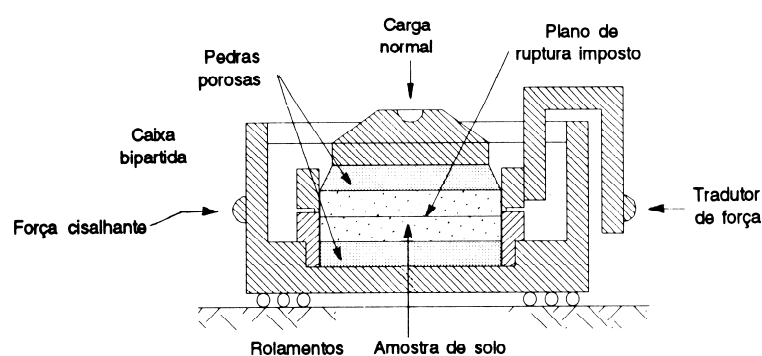


Figura 4 Caixa de cisalhamento utilizada em ensaios de cisalhamento direto

A tensão de cisalhamento da ruptura é, geralmente, considerada como a maior tensão de cisalhamento resistida pelo corpo de prova. A tensão normal e a tensão de cisalhamento na ruptura determinam a envoltória de resistência. Essa envoltória pode ser determinada pelos resultados de uma série de ensaios de cisalhamento direto, com diferentes tensões normais (ROCHA, 2003).

Dessa forma, as envoltórias de resistência ao cisalhamento foram obtidas pela combinação dos pares de dados: tensões cisalhantes obtidas pela prensa e tensões normais, estabelecidas antes do início do ensaio.

A calibração do equipamento consistiu de: colocação do braço de alavanca, onde são aplicadas as cargas verticais na horizontal com a finalidade de evitar possíveis variações angulares quando da aplicação das cargas e a calibração do anel dinamométrico. A constante do anel dinamométrico também

foi aferida para diferentes cargas aplicadas, uma vez que esse valor influencia o cálculo e a correção da força horizontal aplicada na amostra de solo. Após a determinação da tensão cisalhante máxima e da tensão normal aplicada, as envoltórias de resistência foram traçadas, obtendo-se o intercepto de coesão e o ângulo de atrito interno do solo em cada manejo estudado.

2.3 Análises estatísticas

As envoltórias de resistência foram geradas com o auxílio do software Sigma Plot (2002) e as comparações dessas envoltórias foram feitas segundo o procedimento descrito em Snedecor e Cochran (1989).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do solo nas diferentes tensões de retenção de água e nos diferentes manejos estão representados nos Gráficos 1 a 8. As envoltórias de resistência ao cisalhamento após serem equilibradas na tensão de 1.500 kPa, para os diferentes manejos, são apresentados no Gráfico 1.

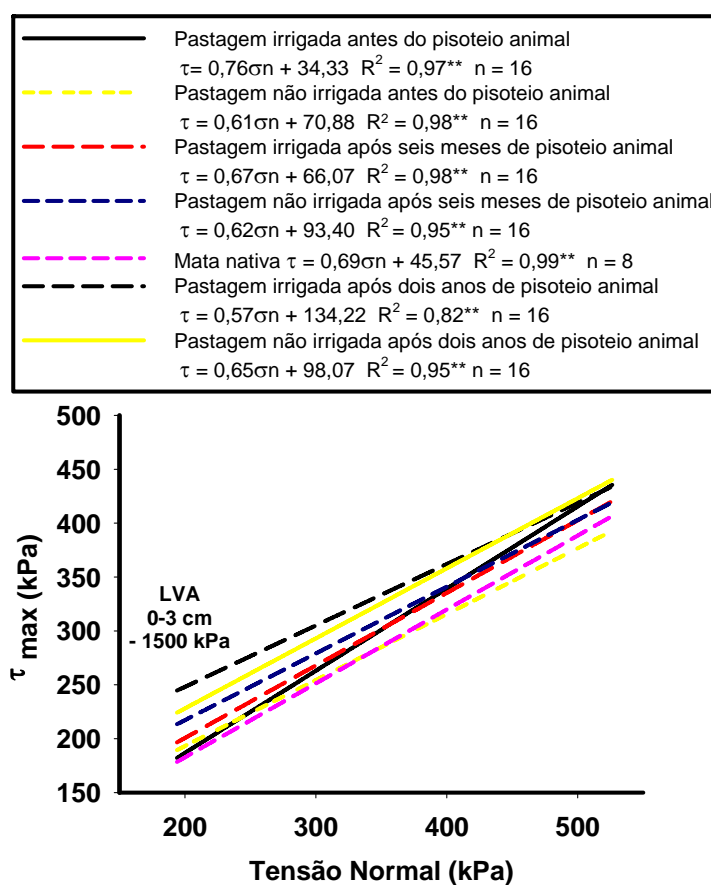


Gráfico 1 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 1.500 kPa

O resumo da análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVA a 1.500 kPa, nos diferentes manejos, é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 Testes de significância, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo com amostras equilibradas a 1.500 kPa

Manejo	F		
	F	Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
Pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal vs pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal vs mata nativa	NH	ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	**	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagens e não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	**	ns
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs mata nativa	NH	ns	*
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs mata nativa	NH	ns	ns
Pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal	NH	**	*

Tabela 2, continua

Manejo	F		
	F	Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs mata nativa	NH	**	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após dois de pisoteio animal vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	NH	**	**
Pastagens irrigada e não irrigada após dois de pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	NH	**	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativos a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para a pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal e pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2). Portanto, uma única equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma nova envoltória de resistência ao cisalhamento para estes manejos (Gráfico 2).

Os manejos pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal e pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal resultaram envoltórias iguais estatisticamente (Tabela 2). Portanto, uma única equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma nova envoltória de resistência ao cisalhamento para estes manejos (Gráfico 2). Essa envoltória apresentou maior valor de coesão aparente (Tabela 3) e maior resistência ao cisalhamento do que todas as envoltórias estudadas, evidenciando, assim, o efeito compactante do pisoteio animal ao longo do tempo na área. Todos os outros manejos diferiram estatisticamente entre si, estando o solo sob tensão de água de 1.500 kPa (Tabela 2).

As novas envoltórias de resistência ao cisalhamento estão representados no Gráfico 2.

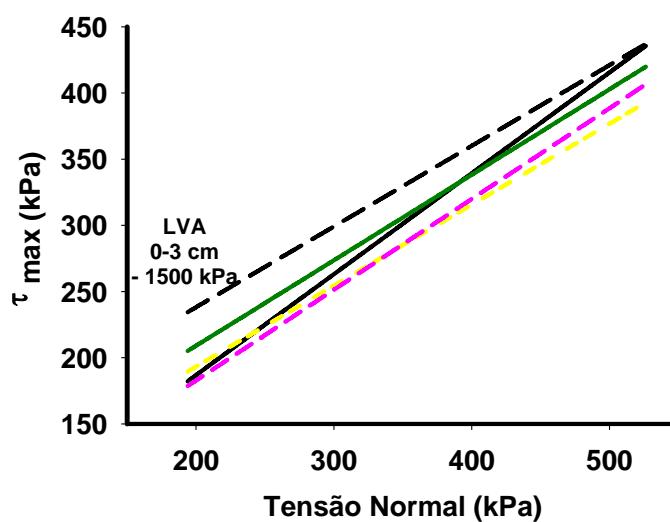
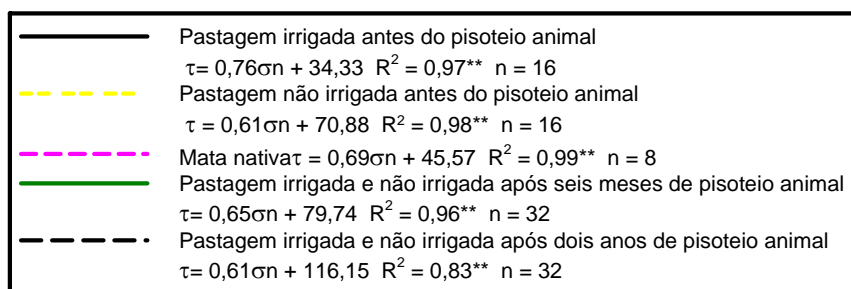


Gráfico 2 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 1.500 kPa

Tabela 3 Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras submetidas à tensão de 1.500 kPa

Manejos	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal	37,23	34,33
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	31,38	70,88
Mata nativa	34,61	45,57
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal	33,02	79,44
Pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal	31,38	116,15

A mata nativa apresentou menor resistência ao cisalhamento (Gráfico 2) em relação às pastagens após o pisoteio animal. Essa menor resistência observada é um indicativo de que os demais manejos causam alteração na estrutura do solo. Isso pode ser decorrente do fato de a mata apresentar estrutura mais solta e, conseqüentemente, apresentar um dos menores valores de coesão aparente (c) e ângulo de atrito interno (ϕ) (Tabela 3).

As pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2), tendo a pastagem irrigada antes do pisoteio animal apresentado maior resistência ao cisalhamento (Gráfico 2) e maior ângulo de atrito interno (Tabela 3) em relação à pastagem não irrigada antes do pisoteio animal. Tal fato pode ser efeito da irrigação, que promoveu maiores ciclos de umedecimento e secagem, favorecendo, assim, a estruturação do solo e o desenvolvimento da forrageira.

As pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal foram diferentes estatisticamente da mata nativa (Tabela 2). A pastagem não irrigada antes do pisoteio animal apresentou maior resistência ao cisalhamento nas

tensões normais inferiores, invertendo esse comportamento a partir de tensão normal de 350 kPa. Já a pastagem irrigada antes do pisoteio animal apresentou resistência ao cisalhamento igual à da mata nativa nas primeiras tensões normais e, nas tensões normais seguintes, maior resistência ao cisalhamento (Gráfico 2).

A pastagem irrigada antes do pisoteio animal não gerou maior resistência ao cisalhamento quando a tensão normal utilizada foi pequena (194 kPa), como pode ser observado no Gráfico 2. No entanto, quando se utilizaram tensões normais maiores (304, 415 e 526 kPa), as forças de adesão e de coesão atuaram, conferindo maior resistência ao cisalhamento. Esse dado é de suma importância quando se trata da criação de bezerros em pastagens irrigadas, pois a tensão normal, nesse caso, é pequena (tensão aplicada pelo animal ao solo) e o solo mais úmido tende a ser mais solto e ter suas partículas mais facilmente movimentadas, favorecendo o cisalhamento. Portanto, tem menor resistência ao cisalhamento, até quando comparado com pastagem não irrigada (Gráfico 2).

Nessa situação, atenção maior deve ser dada para se evitar esse cisalhamento, pois, caso ele ocorra, fatalmente gerará um selamento superficial, comprometendo o desenvolvimento da forrageira, seja pela maior resistência encontrada para o desenvolvimento do sistema radicular ou pela baixa taxa de infiltração de água que diminui o aproveitamento da água proveniente das precipitações ou irrigações, além de aumentar o volume da enxurrada, favorecendo os processos erosivos e a maior degradação da área, podendo inviabilizar a atividade.

O estudo de resistência ao cisalhamento realizado com amostras equilibradas a 1500 kPa mostrou degradação física resultante do pisoteio animal na área ao longo do tempo, pois os manejos que sofreram o pisoteio animal apresentaram maiores resistências ao cisalhamento. Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (AZEVEDO, 1999) por causa da menor distância entre as partículas, o que confere,

consequentemente, menor índice de vazios e um maior esforço, por exemplo, para se preparar o solo para o cultivo.

No entanto, não foi possível detectar maior compactação nas áreas irrigadas, quando comparadas com as não irrigadas, sob o mesmo período de pisoteio animal. A explicação pode ser também decorrente do fato de a umidade das amostras indeformadas das pastagens irrigada e não irrigada ter sido equilibrada a 1500 kPa, tornando-as mais secas e resistentes, o que elimina o efeito da irrigação nos valores de resistência ao cisalhamento.

A ordem decrescente de resistência ao cisalhamento foi: pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal, com comportamento intermediário ao das pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e pastagem irrigada antes do pisoteio animal > pastagem não irrigada antes do pisoteio animal > mata nativa.

As envoltórias de resistência ao cisalhamento obtidas após as amostras serem equilibradas na tensão de 6 kPa para os diferentes manejos estão representados no Gráfico 3.

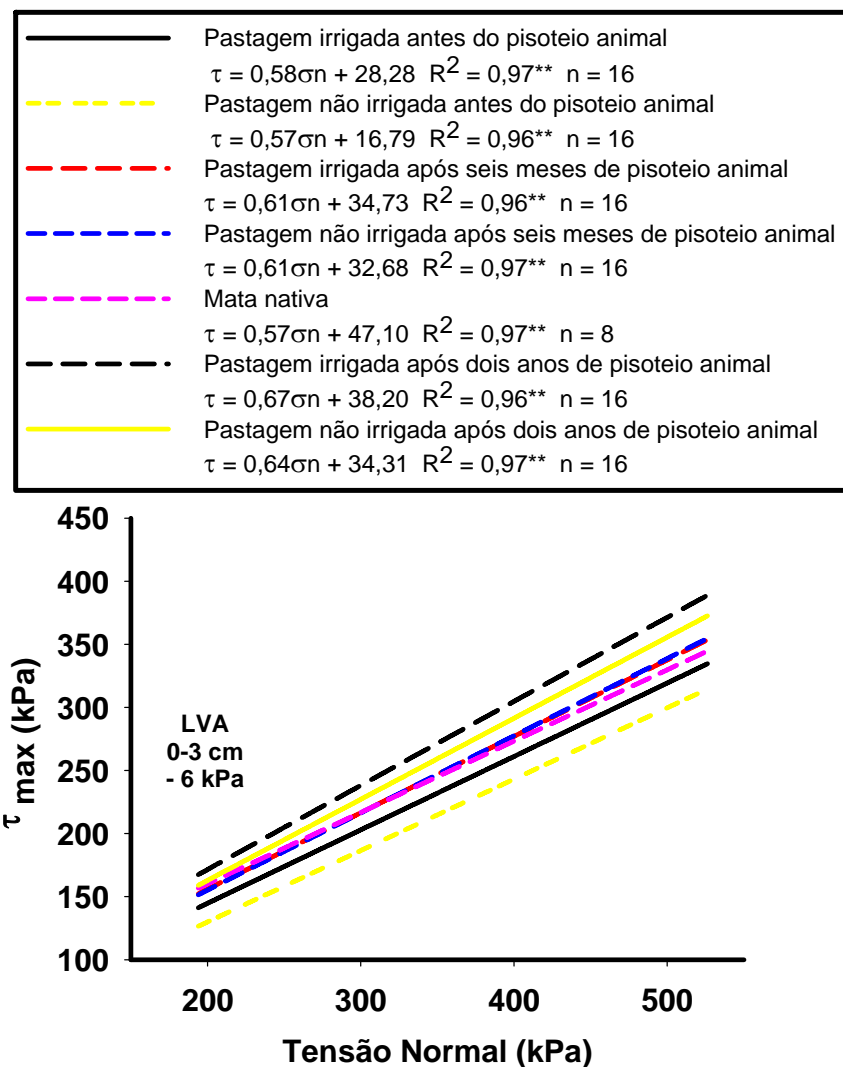


Gráfico 3 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 6 kPa

A análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd a 6 kPa, nos diferentes manejos, é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 Testes de significância, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo, com amostras na capacidade de campo (6 kPa)

Manejo	F		
	F	Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada seis meses ano de pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs mata nativa	H	ns	*
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs mata nativa	H	ns	**
Pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal vs mata nativa	H	ns	ns
Pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa vs pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	**
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal	H	ns	ns

Tabela 4, continua

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata	NH	**	*
Pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	NH	**	**
Pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	NH	**	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativos a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

Observa-se, na Tabela 4, que as envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para as pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal não diferiram estatisticamente entre si. Portanto, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma única envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos (Gráfico 4). Tal fato pode ser explicado por precipitações frequentes ocorridas no período do estudo que, possivelmente, mantiveram elevada a umidade do solo. Esse fato também foi observado nos modelos de CSC apresentados no Capítulo 2. Se houve alguma alteração estrutural decorrente do pisoteio na pastagem irrigada, esta não foi detectada após seis meses de pisoteio animal na umidade correspondente à capacidade de campo.

Na capacidade de campo, a mata nativa não diferenciou estatisticamente das pastagens após seis meses de pisoteio animal (Tabela 4). Esse fato indica que não ocorreu degradação da estrutura após seis meses de pisoteio animal (Gráfico 4).

Os manejos pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal resultaram envoltórias iguais estatisticamente (Tabela 4). Portanto, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma única envoltória de resistência ao cisalhamento para estes manejos (Gráfico 4). Esta nova envoltória apresentou maior valor de ângulo de atrito interno (Tabela 5) e maior resistência ao cisalhamento em todas as envoltórias estudadas, evidenciando, assim, o efeito compactante do tempo de pisoteio animal na área.

As novas envoltórias de resistência ao cisalhamento estão representados no Gráfico 4.

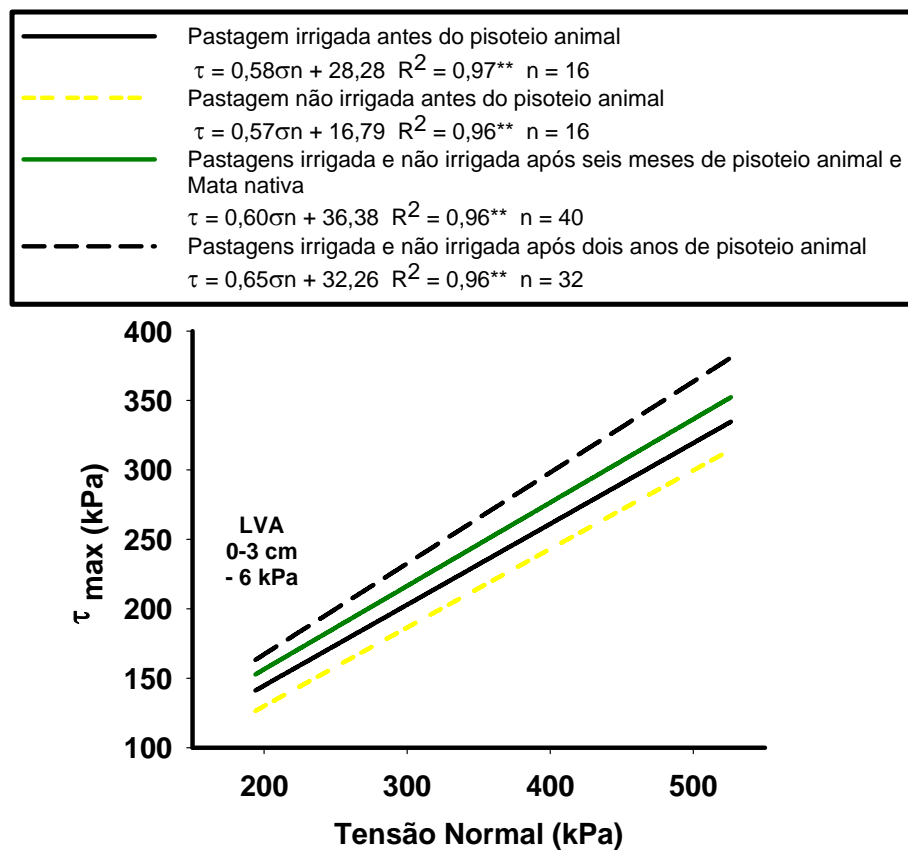


Gráfico 4 Envolvórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 6 kPa

Tabela 5 Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras submetidas à tensão de 6 kPa

Manejos	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal	30,11	28,88
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	29,68	16,79
Mata nativa e pastagens irrigada e não irrigada após um ano de pisoteio animal	30,97	36,38
Pastagens irrigada e não irrigada após dois anos e meio de pisoteio animal	33,02	32,26

As pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal também diferiram estatisticamente entre si na tensão de 6 kPa (Tabela 4). Observa-se, na Tabela 5 e no Gráfico 4, que a ordem decrescente de resistência ao cisalhamento foi: pastagens irrigada e não irrigada após dois anos de pisoteio animal > pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa > pastagem irrigada antes do pisoteio animal > pastagem não irrigada antes do pisoteio animal. Essa diferença entre os manejos pode ser observada pelo maior ângulo de atrito interno das áreas que sofreram o pisoteio animal, quando comparadas com as pastagens antes do pisoteio animal (Tabela 5), pois quanto maior for o ângulo de atrito interno, maior é a força necessária para cisalhar uma amostra.

O estudo de resistência ao cisalhamento realizado com amostras equilibradas na tensão de -6 kPa mostrou degradação física resultante do pisoteio animal ao longo do tempo, pois apresentaram maiores valores de resistência ao cisalhamento em comparação à mata nativa. Não foi possível detectar maior compactação nas áreas irrigadas, quando comparadas com as não irrigadas sob o mesmo período de pisoteio animal.

As envoltórias de resistência ao cisalhamento, após serem equilibradas na tensão de 2 kPa para os diferentes manejos, são apresentadas no Gráfico 5.

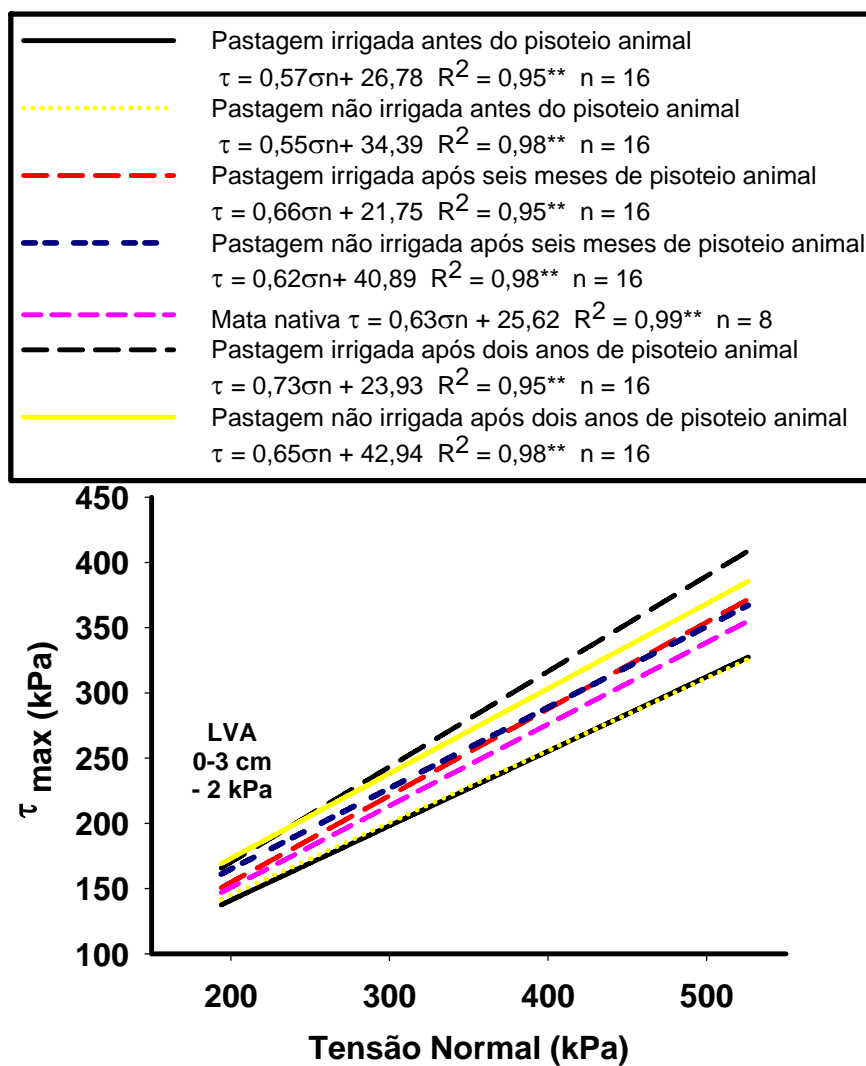


Gráfico 5 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVA de submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 2 kPa

A análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd a 2 kPa, nos diferentes manejos, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 Testes de significância, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob tensão de água no solo de 2 kPa

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal vs pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal vs mata nativa	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	**
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	NH	*	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa	H	ns	**
Pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal	NH	**	*
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs Pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa	H	ns	ns
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal, pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa vs pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	NH	**	**

Tabela 6, continua

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal, pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa vs pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal	NH	**	**
Pastagem irrigada após dois anos e meio de pisoteio animal vs pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	NH	**	*

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativos a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para a pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal e pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 6).

Sabe-se, no entanto, que o solo de área sob irrigação fica constantemente com maior umidade, tornando-se, assim, mais susceptível à compactação. Entretanto, fica claro que, em razão das precipitações frequentes no período deste estudo, pode ter ocorrido igualdade das umidades nestas áreas, o que contribuiu para a não diferença estatística entre os solos sob pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal.

A mata nativa não diferiu estatisticamente das pastagens após seis meses de pisoteio animal (Tabela 6). Na umidade correspondente à tensão -2 kPa, a mata nativa aparece como um dos usos de maior resistência ao cisalhamento.

A pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal não diferiu estatisticamente das pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e mata nativa (Tabela 6). Portanto, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma única envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos (Gráfico 6). Apesar de esta área ter sofrido um maior tempo de pisoteio, o fato de se tratar de

uma área não irrigada e, conseqüentemente com menor umidade e maior capacidade de suporte de cargas pode explicar a igualdade encontrada nestes manejos.

As envoltórias de resistência ao cisalhamento após a análise estatística estão representados no Gráfico 6.

O manejo pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal diferiu estatisticamente de todos os manejos (Tabela 6). A pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal apresentou maior valor de ângulo de atrito interno (Tabela 7) e maior resistência ao cisalhamento, comparada com todos os manejos estudados, evidenciando, assim, o efeito compactante do pisoteio animal ao longo do tempo.

A ordem decrescente de resistência ao cisalhamento foi: pastagem irrigada após dois anos e meio de pastejo > pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pastejo, pastagem não irrigada após dois anos de pastejo e mata nativa > pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal (Tabela 7). Mais uma vez, nota-se que o pisoteio animal ao longo do tempo contribui para o aumento na resistência ao cisalhamento do solo, resultante da sua compressão causada pelo pisoteio dos animais.

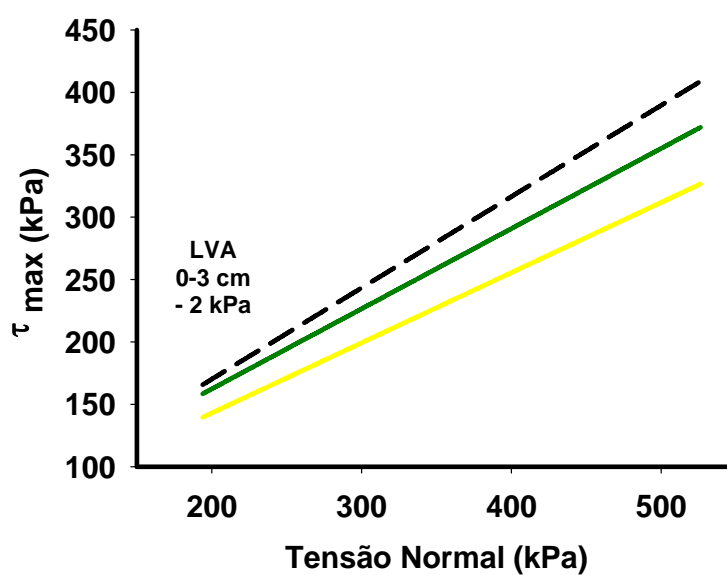
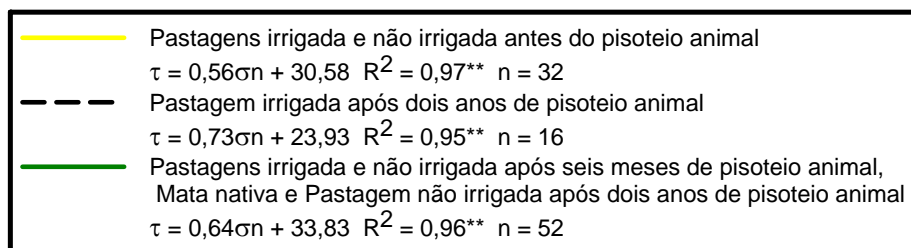


Gráfico 6 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 2 kPa

Tabela 7 Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras submetidas à tensão de - 2 kPa

Manejo	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	29,25	30,58
Mata nativa, pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal	32,62	33,83
Pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal	36,13	23,93

A menor resistência apresentada pelos manejos antes do pisoteio animal é explicada pelo preparo de solo (aração e gradagens) para a implantação das pastagens, que apagou a história de tensão, diminuindo a pressão de pré-consolidação e aumentando o espaço poroso do solo nesses manejos. Essa igualdade entre as pastagens antes do pisoteio animal também foi observada utilizando modelos de CSC (Capítulo 2).

O estudo de resistência ao cisalhamento realizado com amostras equilibradas a tensão de -2 kPa evidenciou o efeito do pisoteio animal ao longo do tempo nas pastagens irrigada e não irrigadas, após dois anos de pisoteio animal.

As envoltórias de resistência ao cisalhamento obtidas para as amostras saturadas para os diferentes manejos estão representados no Gráfico 7.

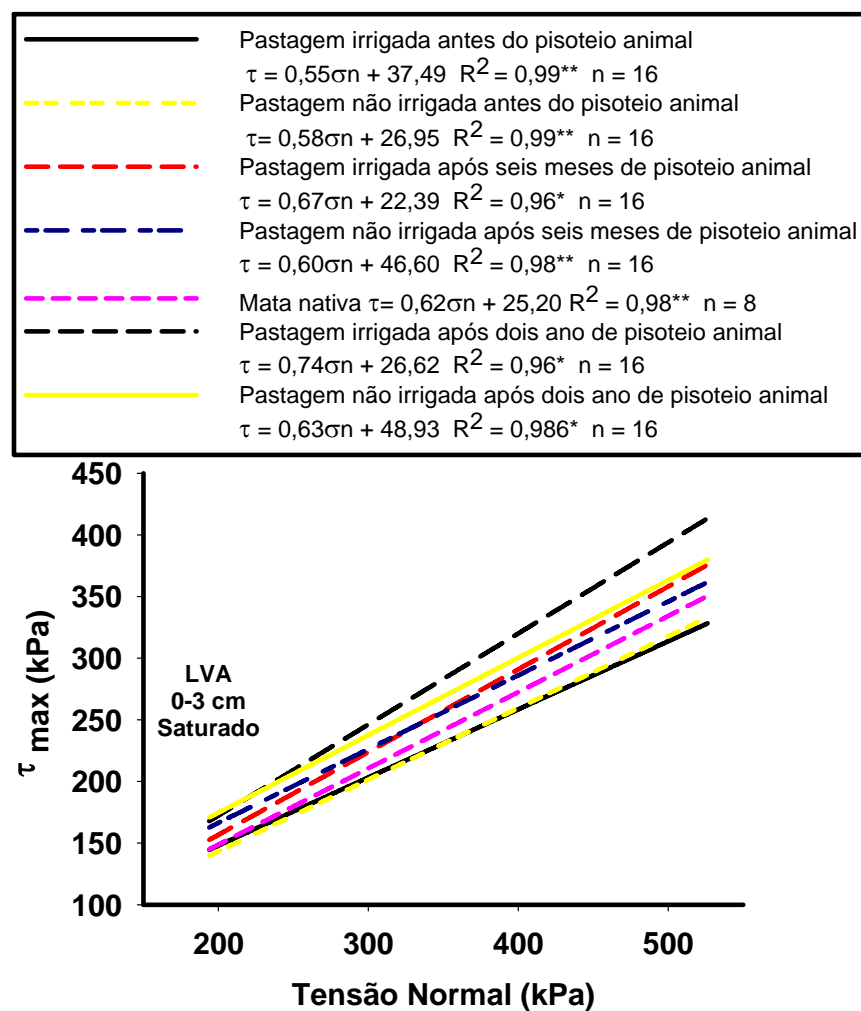


Gráfico 7 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras saturadas

A análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd saturado, nos diferentes manejos, é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 Testes de significância, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo saturado

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal vs pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal vs mata nativa	H	ns	*
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	**	**
Pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal vs mata nativa	H	ns	**
Pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal	NH	**	*
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal	H	ns	ns
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal, pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal vs pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	NH	**	**
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal, pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal vs pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal	NH	**	**
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal, pastagem irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal vs mata nativa	NH	*	*
Pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal vs mata nativa	NH	**	*

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativos a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para a pastagem irrigada após seis meses de pisoteio animal e pastagem não irrigada após seis meses de pisoteio animal não diferiram estatisticamente (Tabela 8). Portanto, uma única equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma nova envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos. Esta nova envoltória, quando comparada com a envoltória resultante do manejo pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal, também não diferiu estatisticamente (Tabela 8). Dessa forma, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma única envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos (Gráfico 8).

Por não diferirem estatisticamente entre si os manejos pastagem irrigada antes do pisoteio animal e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal e uma única envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos foi obtida (Gráfico 8).

A não diferença entre os tratamentos com e sem irrigação se deve às frequentes precipitações durante o período de condução do experimento, o que contribui para que não ocorra essa alteração da estrutura nesse manejo. Esse fato também foi observado nos modelos de CSC apresentados no capítulo 2. O alívio da resistência mecânica promovido pela água na condição saturada contribuiu para que a resistência ao cisalhamento fosse estatisticamente igual entre os tratamentos com e sem irrigação.

O manejo pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal diferiu estatisticamente de todos os manejos (Tabela 8). A pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal apresentou maior valor de ângulo de atrito interno (Tabela 9) e maior resistência ao cisalhamento, comparada com todos os manejos estudados, evidenciando, assim, o efeito compactante do pisoteio animal ao longo do tempo.

A ordem decrescente de resistência ao cisalhamento foi: pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal > pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal > mata nativa > pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal (Tabela 9).

As novas envoltórias de resistência ao cisalhamento estão representados no Gráfico 8.

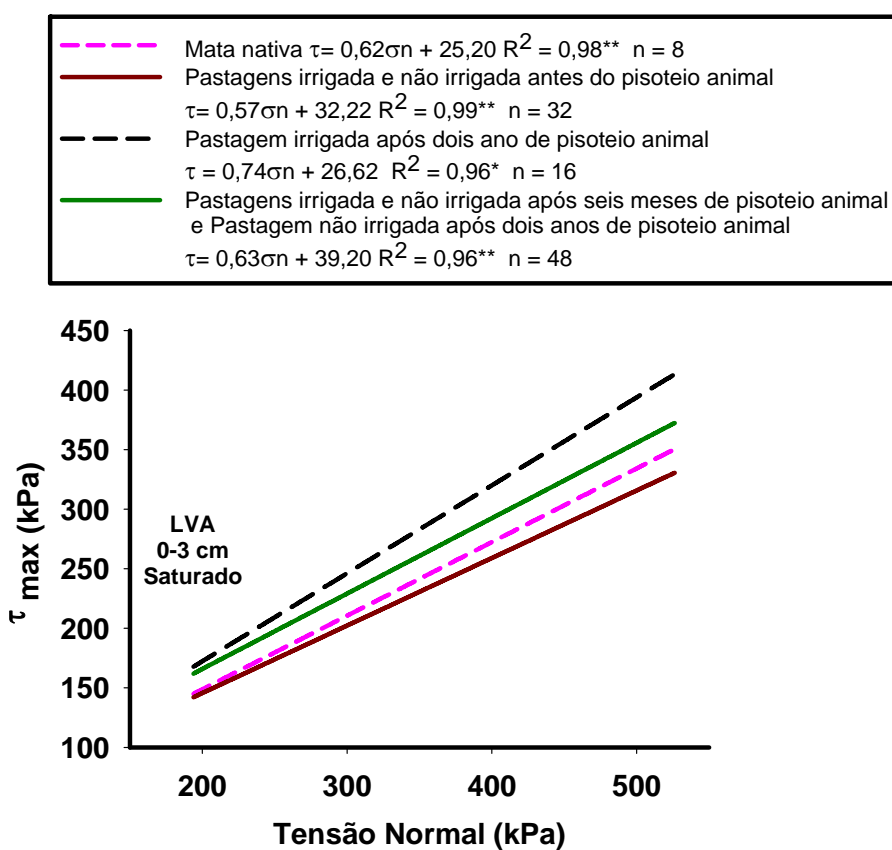


Gráfico 8 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVA submetido a diferentes manejos, com amostras saturadas

Tabela 9 Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras de solo saturadas

Manejo	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	29,68	32,22
Mata nativa	31,80	25,20
Pastagens irrigada e não irrigada após seis meses de pisoteio animal e pastagem não irrigada após dois anos de pisoteio animal	32,21	39,20
Pastagem irrigada após dois anos de pisoteio animal	36,50	26,62

A envoltória de resistência ao cisalhamento das pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal (Gráfico 8) e os valores de coesão aparente e ângulo de atrito interno (Tabela 9) mostraram que esse manejo apresentou resistência ao cisalhamento menor do que os outros manejo e usos. Essa menor resistência do solo antes do pisoteio é explicada pelo preparo de solo (aração e gradagens) para a implantação das pastagens, que apagou a história de tensão, diminuindo a pressão de pré-consolidação (capítulo 2).

A igualdade entre as pastagens antes do pisoteio animal também foi observada, utilizando-se modelos de CSC, no capítulo 2.

A resistência ao cisalhamento das amostras saturadas apresentou comportamento idêntico ao dos modelos de CSC do capítulo 2. Considerando a mata nativa como referência de qualidade estrutural, as pastagens após o pisoteio animal apresentaram maior resistência ao cisalhamento, sendo, portanto, considerado um manejo que altera a estrutura do solo. Já as pastagens antes do pisoteio animal apresentaram menor resistência ao cisalhamento por causa das operações de preparo do solo realizadas.

Com as amostras saturadas, o estudo de resistência ao cisalhamento indicou maior degradação física da área sob pisoteio animal após dois anos na

área, pois apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento. Também identificou maior compactação na área irrigada, quando comparada com a área não irrigada após dois anos de pisoteio animal, evidenciando, assim, a maior susceptibilidade à degradação física de solos sob pastagem irrigada.

4 CONCLUSÃO

O pisoteio animal ao longo do tempo promoveu aumento da resistência ao cisalhamento do solo.

A pastagem irrigada que sofreu pisoteio animal por dois anos apresentou maior resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, foi o manejo que mais degradou a estrutura.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; EDNER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 717-723, jul./set. 2001.
- AL-SHAYEA, N. A. The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils. **Engineering Geology**, Oxford, v. 63, n. 4, p. 319-342, Dec. 2001.
- ARVIDSSON, J. et al. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden: II., soil displacement during wheeling and model computation of compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 79-89, Jan. 2001.
- ASHBURNER, J.; SIMS, B. **Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza**. San Jose: IICA, 1984. 473 p.
- AYERS, P. D.; PERUMPRAL, J. V. Moisture and density effect on cone index trans. **Transactions American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 25, n. 5, p. 1169-1172, Nov./Dec. 1982.
- AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa, MG**. 1999. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.
- BECHMANN, J. et al. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 112-118, Jan. 2006.
- BENJAMIN, J. G.; CRUSE, R. M. Measurement of shear strength and bulk density of soil aggregates. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, n. 5, p. 1248-1251, Sept./Oct. 1985.
- BETTERIDGE, K. et al. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 37, n. 4, p. 743-760, July/Aug. 1999.

BOENI, M. **Comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus do trator**. 2000. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CARVALHO, C. A. B. **Padrões demográficos de perfilamento e acúmulo de forragem em pastagem de *Cynodon ssp.* manejada em quatro intensidades de pastejo**. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2000.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CRUSE, R. M.; LARSON, W. E. Effects of soil shear strength on soil detachment due to rain drop impact. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 777-781, 1977.

DAVIES, P. Influence of organic matter, moisture status and time after reworking on soil shear strength. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 299-306, Apr. 1985.

DIAS JÚNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337-346, mar./abr. 2000.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of impacted agricultural soils. **Transactions American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 38, n. 2, p. 357-365, Mar./Apr. 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FRANZMEIER, D. P.; CHARTES, C. J.; WOOD, J. T. Hardsetting soil in Southeast Australia: landscape and profile processes. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 60, n. 4, p. 1178-1187, July/Aug. 1996.

GANTZER, C. J. et al. Effects of soybean and crop residue deposition on soil strength and splash detachment. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 51, n. 1, p. 202-206, Jan./Feb. 1987.

GARCIA, M. R. L.; NAHAS, E. Biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com diferentes lotações de ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 269-276, mar./abr. 2007.

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**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 863-873, set./out. 2007.

HANZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature causes and possibilit solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 121-145, Jan. 2005.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações de curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, set./out. 2007.

LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Avaliação da qualidade do solo a partir de indicadores físico-hídricos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006. 1 CD-ROM.

LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não-irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 945-951, nov./dez. 2004.

LOPES, J. A. U. **Estimativa de estabilidade de encostas naturais e procedimentos preventivos/corretivos da engenharia civil**: recuperação de áreas degradadas. Curitiba: UFPR, 1996. 22 p.

MODY, I. E.; GRAHAM, R. C. Silica-cemented terrace edges, Central California Coast. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 61, n. 6, p. 1723-1729, Nov./Dec. 1997.

MUNKHOLM, L. J.; SCHJONNING, P.; RASMUSSEN, K. J. Non-inversion tillage effects on soil mechanical properties of a humidic sandy loam. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 1, p. 1-14, Jan. 2001.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 247 p.

_____. **Resistência ao cisalhamento dos solos**. São Carlos: Grêmio Politécnico, 1989. v. 1, 127 p.

PIRES, B. S. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latosolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

PROFFITT, A. P. B. et al. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown earth. **Australian Journal Agricultural Soil Research**, Melbourne, v. 44, n. 2, p. 317-331, Mar./Apr. 1993.

RAMAMURTHY, T. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 683-697, July 2001.

ROCHA, W. W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG**. 2003. 101 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

ROCHA, W. W.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LIMA, J. M. Shear strength as affected by soil mineralogy. In: ANNUAL MEETING OF SOCIETY OF AGRONOMY IN UNIVERSITY, 25., 2001, Raleigh. **Proceedings...** Raleigh: University of North Caroline, 2001. 1 CD-ROM.

ROCHA, W. W. et al. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na Região de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 297-303, mar./abr. 2002.

SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Santa Maria, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 731-754.

SCHJONNING, P.; RASMUSSEN, K. J. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 1/2, p. 69-82, Sept. 1991.

SECCO, D. et al. Parâmetros de compressibilidade de um Latossolo influenciados pelo estado inicial de compactação e grau de saturação em água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

SERVADIO, P. et al. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 143-155, Jan. 2001.

SIDORCHUK, A. Gully erosion modeling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland. **Catena**, Amsterdam, v. 50, n. 2/4, p. 507-525, Jan. 2002.

SIGMA PLOT. **Scientific graphing software**. Version 8.0. San Rafael: Jandel, 2002. Software.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solos do tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 447-457, maio/jun. 2005.

SILVA, R. B. et al. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of charges on soil structure in sugarcane fields of São Paulo State, Brasil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 265-270, May 2009.

_____. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 165-173, jan./fev. 2004.

SILVA, V. R. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 2002.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statical methods**. 8th ed. Ames: Iowa State University, 1989. 503 p.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soil mechanics in engineering practice**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 499 p.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1989. 509 p.

VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, nov./dez. 2000.

WILLARTT, S. T.; PULLAR, D. M. Change in soil physical properties under grazes pastures. **Australian Journal Soil Research**, Melbourne, v. 22, n. 3, p. 343-348, July/Sept. 1984.

ZANG, B. et al. Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 97-106, Jan. 2001.