



**GILMAR GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DE  
ARGISSOLOS SOB PASTAGENS NO LESTE E  
SUL DE MG**

**LAVRAS - MG**

**2015**

**GILMAR GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DE ARGISSOLOS SOB  
PASTAGENS NO LESTE E SUL DE MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais - modalidade Mestrado Profissional, área de concentração em Solos e Sua Interface com o Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Geraldo César de Oliveira

**LAVRAS - MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Oliveira, Gilmar Gonçalves de.

Indicadores de qualidade física de argissolos sob pastagens no  
leste e sul de MG / Gilmar Gonçalves de Oliveira. – Lavras:  
UFLA, 2015.

53 p.

Dissertação (mestrado profissional)–Universidade Federal de  
Lavras, 2015.

Orientador(a): Geraldo César de Oliveira.

Bibliografia.

1. Água disponível. 2. Propriedades físicas do solo. 3. Manejo  
do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**GILMAR GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DE ARGISSOLOS SOB  
PASTAGENS NO LESTE E SUL DE MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais - modalidade Mestrado Profissional, área de concentração em Solos e Sua Interface com o Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 08 de maio de 2015.

Dr. Yuri Lopes Zinn                      UFLA

Dr. Francisco Dias Nogueira      EPAMIG

Dr. Geraldo César de Oliveira

Orientador

**LAVRAS - MG**

**2015**

*Aos meus pais Otávio e Erci (in memoriam), pelo vínculo sublime na minha vida. Vocês estarão em tudo que eu fizer.*

*Ao meu filho, Gustavo. Com ele, Deus me permitiu assumir o dom da criação, da dedicação e do amor incondicional.*

*Às minhas irmãs, Nega, Diana e Aninha, pela amizade e carinho.*

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Inovações Ambientais (PPGTIA) e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

Ao Professor Dr. Geraldo César de Oliveira, pela orientação, dedicação, paciência e ensinamentos que foram de grande relevância para realização deste trabalho.

Aos irmãos de orientação, Ms. Érika Andressa da Silva e Dr. Bruno Montoani Silva, pela participação, ensinamentos e apoio que foram de grande valia para a realização deste trabalho. Em especial, a Érika, pela colaboração nas análises estatística e redação da parte escrita.

Ao Gerente Regional da EMATER-MG e amigo, Robspierre Ferraz de Sousa, pelo apoio e negociações que possibilitaram minhas ausências no trabalho durante às viagens de estudo a Lavras.

A minha família, pelo convívio, incentivo e amor.

À amiga e companheira de local de trabalho, Claudilene Henrique de Souza, sempre disposta a ajudar, e que, com sua eficiência e determinação me ajudou a superar muitos obstáculos, inclusive na abertura das trincheiras.

A Ana Amélia Silva, que adotou minhas mineirices e me fez compreender que verdadeiras amizades resistem à distância. Confiou em mim, sendo exemplo de que Deus é fiel ao que nos prometeu.

Ao Léo, pelo companheirismo, dignidade, autenticidade e amizade. Sempre me ouviu, me incentivou, e esteve ao meu lado, muitas vezes assumindo meus compromissos para que pudesse me dedicar às atividades do mestrado.

Aos meus colegas de turma, da qual tive orgulho de fazer parte, pela amizade, paciência e convivência destes dois anos.

Aos produtores José da Assunção Neiva, Ricardo Henrique de Souza, Antônio Henrique Neto e Wesley Henrique de Sousa que permitiram o acesso ao espaço geográfico para estudo, dando total apoio e auxiliando na coleta de material para análise.

Não poderia deixar de agradecer ao Rick e Afonso, pelo auxílio na abertura das trincheiras e coleta das amostras de solo para estudo.

Aos demais amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que, de alguma forma, fizeram parte da minha formação.

E, finalmente, agradeço a Deus, por ter me dado uma família maravilhosa e amigos sinceros; por não desistir de mim e por trabalhar acima de meus sonhos.

**Foco, Força e Fé.  
"no OBJETIVO, para LUTAR, para VENCER."**

## RESUMO

Este estudo foi realizado em áreas de Argissolos sob pastagens, nas Regiões Leste e Sul de Minas Gerais, objetivando avaliar a qualidade física da camada superficial desses solos, com base em resultados de Curvas de Retenção de Água (CRA), utilizando como referência mata nativa secundária. Para tanto, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com 4 manejos (Pastagem Sul de Minas, Pastagem Leste de Minas sob Regular Pressão de Pastejo, Pastagem Leste de Minas sob Forte Pressão de Pastejo e Mata) e 3 repetições, totalizando 12 amostras. Para a obtenção das CRA, as amostras de solos com estrutura preservada foram preparadas e submetidas aos potenciais matriciais de -4, -6 e -10kPa nas unidades de sucção, e aos potenciais de -33, -100, -500 e -1500 kPa, nas câmaras de Richards. A partir das CRA, foram calculados os atributos indicadores da qualidade física do solo: macro e microporosidade, porosidade total, capacidade de água disponível (CAD) e Índice S. A densidade do solo (Ds) foi determinada pela metodologia do anel volumétrico. Nas condições do estudo, a CRA, a Ds e a porosidade demonstraram ser bons indicadores da qualidade física do solo, pois os resultados tornaram possível concluir que houve alterações físicas na camada superficial estudados em Minas Gerais. Os valores de Ds, nas pastagens do leste de Minas, indicam possível compactação superficial do solo. Porém, a relação entre índice S e degradação do solo ainda carece de melhores estudos, pois não foi confirmada a sensibilidade desse índice no diagnóstico das modificações estruturais decorrentes do uso e manejo do solo.

Palavras-chave: Água disponível. Propriedades físicas do solo. Manejo do solo.

## ABSTRACT

This research has been conducted in Lixisols areas in the Eastern and Southern Regions of Minas Gerais with the aim of evaluating the physical quality of the topsoil of this area, basing the results on Water Retention Curves (WRC) and using the secondary native vegetation as a reference. A completely randomized experimental design has been used for this purpose, with 4 management systems (Southern Pastures of Minas, Eastern Pastures of Minas under medium shepherding pressure, Eastern Pastures under High Shepherding pressure and Vegetation) and 3 repetitions, totalizing 12 samples. To obtain the WRC, the samples of soil with preserved structure were prepared and subjected to matric potentials of -4, -6 e -10kPa for suction units and to potentials of -33, -100, -500 e -1500 kPa for Richards chambers. The attributes indicating the physic quality of the soil were calculated using the WCR: micro and macro-porosity, total porosity, water retention capacity and Index S. The soil density (SD) was determined by the volumetric ring method. Under the conditions of the research, the WRC, the SD and the porosity were good indicators of the physical quality of the soil, as the results prevented from concluding that there were any physical alterations in the chosen topsoil in Minas Gerais. The values of SD in the Easter Pastures of Minas possibly indicate soil superficial compression. Nonetheless, the relation between Index S and soil degradation is still in need of better researches, as the sensibility of the said Index in the diagnostic of the structural modifications derived from the use of the soil has not been confirmed.

Key words: Available water. Soil physical properties. Soil management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de uma curva de retenção de água no solo .....	24
Figura 2	Localização geográfica dos municípios onde estão localizadas as áreas de estudo .....	27
Figura 3	Ilustração das áreas estudadas no Leste de Minas: a) Pastagem Leste de Minas Sob Regular Pressão de Pastejo; b) Pastagem Leste Minas sob Forte Pressão de Pastejo; c <sub>1</sub> e c <sub>2</sub> ) Mata Secundária .....	28
Figura 4	Curvas de retenção de água em Argissolos sob diferentes sistemas de manejo nas regiões Leste e Sul de MG .....	35
Figura 5	Capacidade de água disponível ( $m^3m^{-3}$ ) em Argissolos sob diferentes sistemas de manejo .....	37
Figura 6	Correlação e regressão linear entre porosidade do solo (volume total de poros, macroporosidade e microporosidade) e índice S, em Argissolos sob diferentes sistemas de manejos .....	42
Figura 7	Correlação e regressão linear entre índice S e porosidade do solo (poros com diâmetro maior que $73,43\mu m$ e poros com diâmetro entre $73,43$ e $49 \mu m$ ) em Argissolos sob diferentes manejos.....	43
Figura 8	Correlação e regressão linear entre densidade do solo e macroporosidade em Argissolos sob diferentes sistemas de manejos.....	44
Figura 9	Correlação e regressão linear entre densidade do solo e índice S em Argissolos sob diferentes sistemas de manejos .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização química da camada superficial dos Argissolos em estudo .....	30
Tabela 2	Caracterização textural da camada superficial dos Argissolos em estudo .....	31
Tabela 3	Parâmetros de ajuste da equação de Van Genuchten.....	36
Tabela 4	Distribuição de poros por tamanho em Argissolos sob diferentes manejos e regiões geográficas.....	38
Tabela 5	Valores médios para volume total de poros (VTP), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), densidade (Ds) e índice S em Argissolos com pastagens sob diferentes manejos e sob mata .....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>As pastagens no contexto do Estado de Minas Gerais.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Atributos físicos do solo utilizados como indicadores da qualidade estrutural.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Qualidade e degradação dos solos sob pastagens.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Avaliação da qualidade física dos solos com base na curva de retenção de água e “índice S”.....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Identificação e caracterização das áreas de estudo.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização dos solos.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Curva de retenção de água.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Porosidade do solo.....</b>	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>Correlação e regressão linear entre os parâmetros físicos avaliados.....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## **INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA DE ARGISSOLOS SOB PASTAGENS NO LESTE E SUL DE MG**

### **1 INTRODUÇÃO**

Atualmente, há grande preocupação com o aumento da extensão das áreas degradadas, especialmente em sistemas de exploração agropecuária onde, na maioria dos casos, o manejo dos solos é voltado para o aumento da produção, esquecendo-se de práticas de conservação que contribuem para a preservação ambiental.

O uso desordenado do solo, normalmente está associado às alterações de seus atributos de forma desfavorável à conservação e melhoria de sua capacidade produtiva. As alterações se manifestam como consequência do tipo de preparo do solo, característico de cada sistema de uso e manejo adotado, associado às condições oferecidas pelo meio, sendo facilmente identificadas com: a) perda da fertilidade (degradação química); b) escoamento superficial e erosão (degradação física), e c) diminuição nos teores de matéria orgânica e consequente redução dos organismos que vivem nesse ambiente (degradação biológica).

Ao considerar que o recurso solo é limitado, e que alguns de seus componentes requerem período de tempo prolongado para serem restaurados, a previsão do grau de perda da qualidade física do solo, provocada pelo manejo inadequado nas atividades agropecuárias, tornaram-se essenciais. Segundo Stefanoski et al. (2013), técnicas que visem a avaliar a qualidade de um solo de forma simples e confiável ainda são objetos de investigações, e resultados sistemáticos desse monitoramento, representam papel central em estudos sobre qualidade do solo. Para monitorar alterações na sustentabilidade e qualidade

ambiental, em relação ao manejo agrícola, é necessário o estabelecimento de índices de qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1996).

Dentre os diversos indicadores de qualidade do solo, propostos na literatura, encontram-se os atributos físicos, destacando-se a curva de retenção de água (CRA), que tem sido utilizada para descrever a dinâmica da água no solo (DEXTER; BIRD, 2001; GENUCHTEN, 1980). Por meio dela, é possível estabelecer outros atributos do solo, como: porosidade drenável (AVANZI et al., 2011), capacidade de campo (CC) (ANDRADE; STONE, 2011), ponto de murcha permanente (PMP) (CARDUCCI et al., 2011, 2013), água disponível e seu armazenamento no solo (SERAFIM et al., 2013), condutividade hidráulica não-saturada (ANDRADE; STONE, 2009a, 2009b) e Índice S (ANDRADE; STONE; GODOY, 2013; DEXTER, 2004a). Segundo Silva et al. (2008), estudos de qualidade física e estrutural do solo, com influência direta no crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas, podem ser facilitados, por meio da representação matemática de curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração.

O índice S tem sido amplamente utilizado para avaliar a qualidade do solo em relação à friabilidade, permeabilidade, estabilidade da estrutura, etc. (DEXTER, 2004a; DEXTER; BIRD, 2001). Segundo Santos et al. (2010), o índice S também tem sido utilizado para investigar e inferir conclusões sobre o funcionamento físico-hídrico do solo e esse índice está relacionado às variáveis textura, densidade do solo, matéria orgânica e crescimento de raízes.

Conduziu-se, esta pesquisa, com o objetivo de avaliar a qualidade física da camada superficial (0,05m) de Argissolos sob pastagens, nas Regiões Leste e Sul de Minas Gerais, usando atributos físicos do solo estimados por meio da curva de retenção de água, comparando esse sistema de uso com a condição de mata nativa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 As pastagens no contexto do Estado de Minas Gerais

Dentre as formas de uso e ocupação do solo no Brasil, as pastagens constituem um componente essencial da paisagem. Segundo a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR) e Universidade Federal de Goiás (UFG), o Brasil é o quinto maior país do mundo em território, possuindo cerca de 25% de sua área ocupada com pastagens, salientando que a maior parte do rebanho brasileiro é criado no regime de pastejo contínuo. Segundo Schunke (2001), 80% das pastagens brasileiras são ocupadas pelo gênero *Brachiaria*, cuja introdução como forrageira teve início no começo da década de 1960.

Em Minas Gerais, as pastagens são ainda mais expressivas na composição da paisagem. Segundo Maciel et al. (2009), as pastagens representam cerca de 65% do espaço rural do Estado, e sua degradação tem consequências abrangentes, particularmente por ocasionar impactos negativos na estrutura do solo, com consequências danosas nos recursos hídricos; na fauna e flora de diversos ecossistemas, interferindo, ainda, na condição socioeconômica de comunidades rurais e urbanas e, ainda, nas condições sanitárias dos rebanhos, como a fotosensibilidade dos ruminantes.

Outro destaque para o Estado de Minas Gerais é a grande ocorrência de pastagens em relevo movimentado (BRASIL, 2015). Aproximadamente, 51% das pastagens de Minas Gerais estão em áreas com declividade acima de 8%, e, aproximadamente, 17% foram implantadas em declive de 20 a 45%. As pastagens localizadas em relevo mais movimentado estão mais concentradas na Região Leste do Estado de Minas Gerais (AB'SABER, 2003; BRASIL, 2015). Além da localização das pastagens em relevo fortemente acidentado, no leste

mineiro, o baixo nível tecnológico empregado e o pouco uso de práticas de manejo e conservação do solo constituem importantes aspectos que caracterizam o uso do solo na região, o que tem resultado na degradação dos sistemas produtivos, em especial aqueles explorados com pastagens.

Comumente observa-se nos terrenos acidentados e explorados com pastagens na Região Leste de Minas Gerais, a presença de áreas desprovidas de vegetação, o que facilita o processo erosivo e torna o solo cada vez menos fértil, particularmente na sua camada superficial. O pastejo excessivo, associado às condições de relevo e atributos intrínsecos do solo, são os fatores que mais contribuem para esse processo.

Segundo Andrade (2011), no Vale do Rio Doce, os problemas de degradação dos solos são mais críticos, em razão de alguns fatores, tais como: a presença nas encostas de Argissolos e Cambissolos; relevo com declive acentuado, e a prática cultural de manejar o pasto com o fogo e o superpastejo. É destaque que os dois solos enfatizados apresentam, mesmo em condições naturais, uma elevada susceptibilidade à erosão, sobretudo nas encostas íngremes, e quando associados ao manejo inadequado das pastagens, naturalmente a susceptibilidade dos mesmos ao processo erosivo é potencializada. Assim, a região Leste de Minas Gerais apresenta extensas áreas de pastagem degradadas, trazendo como consequências, prejuízos econômicos e ambientais, sendo urgente a necessidade de conhecimento das principais causas, e o surgimento de medidas mitigadoras dos problemas existentes.

Semelhante ao que acontece no leste de Minas Gerais, no sul do estado a bovinocultura também se destaca como uma das principais atividades econômicas. Entretanto, observa-se, nessa região, maior diversificação no uso e ocupação do solo, associado à adoção de um nível mais elevado de tecnologia no sistema de produção. Para Galinari et al. (2002), algumas regiões do Estado de Minas Gerais combinam as melhores condições de produção, isto é, tecnologia e

especialização. Dentre as microrregiões mineiras, destacam-se, nesses aspectos, Varginha, Passos, Santa Rita do Sapucaí, Lavras e Alfenas, o que justifica a importância desses municípios como os mais tradicionais e relevantes produtores de leite do Estado de Minas Gerais.

## **2.2 Atributos físicos do solo utilizados como indicadores da qualidade estrutural**

Alguns indicadores são usados no diagnóstico da qualidade física do solo. Observações visuais, como, escoamento superficial, mudança de cor do solo, exposição do solo, e comportamento das plantas, dentre outros, fornecem evidências de que o solo está passando por alterações ou está com a qualidade comprometida (GUIMARÃES et al., 2013). Em razão da sua sensibilidade às práticas de manejo adotadas, a estrutura do solo é boa indicadora da qualidade do solo (STEFANOSKI et al., 2013).

Por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão, os indicadores físicos assumem importância expressiva nos estudos relacionados ao meio ambiente e, principalmente, às atividades agrícolas, já que os solos possuem função essencial no suprimento e armazenamento de água, nutrientes e de oxigênio às raízes (GOMES; FILIZOLA, 2006). Aspectos importantes da funcionalidade da estrutura do solo apresentados por esses autores, são a porosidade total, macroporosidade e distribuição do tamanho de poros, além da resistência à penetração.

Nos estudos de qualidade física do solo, a determinação da sua densidade é muito importante uma vez que, por meio deste atributo é possível avaliar a existência de volume total de poros para o desenvolvimento radicular. Quando a densidade do solo é alta, a porosidade é mais baixa, podendo dificultar

a germinação de sementes, penetração de raízes e as trocas gasosas, fenômenos essenciais para o bom desenvolvimento das plantas (PEDROTTI; MÉLLO-JÚNIOR, 2009). Em linhas gerais, a qualidade do solo dependerá da extensão em que o solo funcionará para o benefício humano, de acordo com a composição natural, sendo também fortemente relacionada com as práticas intervencionistas do homem (ARAÚJO et al., 2012).

Segundo Pedrotti e Mélo-Júnior (2009), com o uso de indicadores de qualidade do solo, é possível inferir se o manejo atual está contribuindo para melhor ou para pior em termos de sustentabilidade e fazer uma identificação inicial do problema. Se variações espaciais e temporais da qualidade do solo mostram que as estratégias atuais de manejo levam a um manejo sustentável, não é necessário mudá-lo. Contudo, se alguma degradação da qualidade do solo é indicada, é aconselhável um processo de planejamento para implementar práticas e alternativas de manejo que possam melhorar a qualidade do solo, que sejam benéficas ao meio ambiente e economicamente viáveis.

### **2.3 Qualidade e degradação dos solos sob pastagens**

Entende-se por estrutura do solo, a forma como as partículas do solo e o espaço poroso entre elas, estão arrançados. Para Pedrotti e Mélo-Júnior (2009), a estrutura do solo, sob o ponto de vista do uso agrícola, é considerada umas das mais importantes propriedades, sendo fundamental nas relações solo-planta. Quanto mais bem estruturado é o solo, melhor será a percolação da água e as trocas gasosas com a atmosfera. Entretanto, a estruturação do solo pode ser alterada em função do manejo, decorrente de operações mecânicas e tráfego de animais, mas também, em razão das adubações desbalanceadas, além de ser influenciada também por mudanças de clima e atividade biológica.

Manejar um solo significa aplicar ao mesmo um conjunto de técnicas com o propósito de protegê-lo, bem como melhorar a produção das culturas (GAMA, 2004). Segundo Pedrotti e Mélo-Junior (2009), o manejo tem como finalidade, proporcionar às plantas o suprimento adequado de ar, água e nutrientes, conscientes de que esses componentes são influenciados pelas ações do preparo e da mobilização do solo, que modificam a estrutura do mesmo. A alteração no arranjo dos agregados dos solos influencia a porosidade total, o que se refletirá no fluxo de ar e água. Em consequência disso, a atividade biológica reage a essas mudanças, por influenciar os fluxos de energia e a ciclagem de nutrientes.

A relação entre manejo e qualidade do solo pode ser avaliada por meio de atributos relacionados ao fornecimento de nutrientes para as plantas e à adequada qualidade estrutural (NIERO et al., 2010). A maior parte dos estudos que abordam o problema relaciona o processo de degradação com fatores zootécnicos (taxa de lotação animal) e desenvolvimento de plantas (perda de vigor e alterações morfológicas), e o solo, normalmente, em seus aspectos químicos, relegando o problema da degradação física do solo a segundo plano (LEÃO et al., 2004). Segundo Gama (2004), as terras se desgastam e tornam-se menos produtivas por quatro razões principais: perda de estrutura do solo; perda de matéria orgânica; perda dos nutrientes e perda de solo por erosão.

A qualidade física do solo, interagindo com a qualidade química e biológica do mesmo, tem desempenhado forte papel para a estabilidade ambiental, principalmente quando avaliada a partir das características e propriedades físicas que se correlacionam diretamente com parâmetros hidrológicos (LIMA, 2008). Na avaliação da qualidade física do solo, os extensionistas rurais utilizam, com muita frequência, técnicas de observações visuais. Essa metodologia é muito utilizada por reunir atributos que servem de indicativo das reais condições do solo, entretanto, pode variar de região para

região. Segundo Mellek et al. (2010), técnicas visuais são úteis no diagnóstico e controle de erosão; compactação do solo, e decisão sobre qual sistema de preparo do solo adotar. Entretanto, numa análise mais minuciosa de avaliação, torna-se necessário incluir parâmetros físicos dos solos quantificáveis, incluindo, segundo Lima et al. (2009), estabilidade dos agregados, textura, porosidade, densidade do solo, compactação, condutividade hidráulica, capacidade de armazenamento de água, dentre outros relacionados com o espaço poroso do solo e ao arranjo das partículas. Por exemplo, o intervalo hídrico ótimo (IHO), compreendido pela umidade do solo em que as limitações ao crescimento das raízes por causa da disponibilidade de água, aeração e resistência do solo à penetração são mínimas.

Solos manejados sob pastagens estão sujeitos à compactação, em decorrência do pisoteio de animais. Segundo Bertol et al. (1998), o aumento descontrolado da pressão de pastejo, pode causar danos às propriedades físicas do solo. O comprometimento de algumas das propriedades físicas da superfície do solo, provocada pelo pisoteio animal favorece condições que propiciam o escoamento superficial da água das chuvas, podendo causar erosão laminar e em sulcos, fator este, que também contribui com a degradação da qualidade das águas superficiais, em razão da deposição de sedimentos nos cursos de água. Leão et al. (2004), usando o intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejos contínuo e rotacionado, verificaram que, no sistema de pastejo rotacionado, a condição física do solo mostrou-se mais restritiva ao crescimento das plantas que no pastejo contínuo, influenciada pela taxa de lotação animal.

Em pesquisa conduzida no Sul de Minas Gerais, Maciel et al. (2009) constataram que a produtividade de pastagem se relacionou negativamente com a densidade do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Esses autores relatam ainda que as pastagens estudadas apresentaram baixas produtividades, refletindo sinais de degradação e/ou manejo inadequado, sendo que parte da

degradação observada estava associada ao aumento da densidade dos solos, causada pelo pisoteio animal.

Rocha-Júnior et al. (2013), ressaltam que áreas de pastagens, quando bem manejadas, promovem boa proteção do solo contra processos erosivos. Porém, as pastagens, quando manejadas com alta taxa de lotação de animais, podem se degradar com muita rapidez, pelo pisoteio excessivo, causando sérios problemas do ponto de vista ambiental e tornando essa atividade economicamente mais difícil.

As práticas de manejo do solo podem alterar sua estrutura, influenciando no crescimento, desenvolvimento e produtividade das forrageiras, por meio das alterações na disponibilidade de água, na difusão do oxigênio e na resistência do solo à penetração das raízes (LEÃO et al., 2004; LIMA et al., 2004; MACIEL et al., 2009). Dessa forma, o mau uso e ocupação do solo é um exemplo de modelo não-sustentável de produção, tornando imprescindível o entendimento da melhor maneira de se manejar o sistema solo, pois este é o ambiente ecológico das plantas por natureza, e as condições físicas associadas às condições químicas afetam diretamente a produtividade das pastagens.

De acordo com o Decreto Federal 97.632 de 10 de abril de 1989, degradação é definida como o aglomerado de "processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, a exemplo da qualidade ou capacidade produtiva dos recursos naturais" (BRASIL, 1989). Nesse contexto, a degradação física do solo refere-se à sua deterioração ou perda de suas propriedades físicas que condicionam sua capacidade produtiva. Para os autores Pedrotti e Mélo-Júnior (2009), a degradação do solo surge de duas fontes básicas: uma de origem agrícola, pela ausência ou emprego adequado da tecnologia disponível, especialmente crítico para áreas marginais com baixo poder produtivo e outra associada à degradação

de origem não-agrícola ligada ao uso do solo para outras atividades que não a agricultura.

No que diz respeito à degradação em áreas de pastagens, Bertol, Mafra e Cogo (2006), consideram dois tipos de degradação: 1) degradação agrícola, quando ocorrem mudanças na composição botânica da pastagem (menos forragem e mais plantas daninhas), o que leva à queda acentuada na capacidade de suporte; e 2) degradação biológica, quando ocorre intensa diminuição da vegetação da área, causada pela degradação do solo, que, por diversas razões de natureza química, física ou biológica, estaria perdendo a capacidade de sustentar a produção vegetal, em razão do drástico empobrecimento do solo. Pastagens frequentemente queimadas ou submetidas à condição de pastejo excessivo seriam mais suscetíveis à degradação biológica.

A degradação das pastagens pode ser explicada como um processo dinâmico de degeneração ou de queda relativa da produtividade e, portanto, é interpretada de diferentes formas por produtores e técnicos (MACEDO, 2005). Esse mesmo autor, em 1995, ao conceituar degradação em pastagem, relata que esta ocorre quando a forrageira torna-se incapaz de sustentar os níveis de produção e de qualidade exigidos, em decorrência da perda de vigor, produtividade e capacidade de recuperação natural (MACEDO, 1995).

Segundo Melo, Pires e Fernandes (2005), os efeitos da degradação das pastagens transcendem aqueles relacionados apenas com a produtividade da pecuária bovina, causa, também, aumento do escoamento de águas superficiais, por acelerar os processos erosivos, com efeitos nocivos aos sistemas hídricos lóticos (cursos d'água) e lânticos (reservatórios). A redução da infiltração das águas pluviais, por sua vez, tem influência negativa direta na recarga dos aquíferos e nas condições hídricas dos solos. Segundo Pedrotti e Mello-Júnior (2009), os sedimentos decorrentes da erosão do solo são uma das principais causas da degradação hídrica. A maior produção de sedimentos tem implicação

negativa nos recursos hídricos, pelo assoreamento dos rios, canais e reservatórios e, pela redução da qualidade da água destinada ao abastecimento humano, pela presença de poluentes adsorvidos aos sedimentos.

A conservação do solo em área de pastagem está diretamente relacionada a dois aspectos fundamentais: 1) manejo visando controlar a quantidade de forragem, a cobertura da superfície do solo e as alterações das propriedades físicas que ocorrem nele; e 2) o manejo da água de escoamento superficial, visando controlar a erosão hídrica, já que ela é, ao mesmo tempo, causa e consequência da degradação do solo (BERTOL; MAFRA; COGO, 2006).

#### **2.4 Avaliação da qualidade física dos solos com base na curva de retenção de água e índice S**

A retenção de água no solo ocorre, em razão dos fenômenos de capilaridade e adsorção, sendo que a capilaridade atua na retenção de água do solo na faixa de baixa tensão, quando os poros de maior diâmetro se apresentam razoavelmente cheios de água. Quando o solo seca, os poros vão se esvaziando e filmes de água recobrem as partículas sólidas. Nessas condições, o fenômeno de adsorção passa a dominar a retenção de água (CARDUCCI et al., 2011; FERREIRA; DIAS JÚNIOR, 2001).

Vários fatores afetam a retenção da água em um solo, sendo o principal deles a textura que, diretamente, determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água, além da proporção de poros de diferentes tamanhos no solo. A estrutura do solo afeta a retenção de água pelo arranjo das partículas, o que configura a distribuição de poros por tamanho (CARDUCCI et al., 2011, 2013).

Dois tipos de porosidade podem ser encontrados no solo, em razão da natureza e proporção de suas partículas sólidas e arranjo das mesmas em

agregados: a porosidade textural, que é pouco afetada pelo manejo do solo, e a porosidade estrutural, sendo esta sensível aos efeitos de uso e manejo do solo (CARDUCCI et al., 2011). A porosidade textural se refere ao tamanho das partículas minerais primárias do solo, já a porosidade estrutural, se refere à agregação do solo (fendas, microfendas, bioporos e macroestrutura causada pelo manejo) (DEXTER, 2004a).

A curva de retenção da água (CRA) do solo é representada graficamente pela relação entre a energia de retenção de água (potencial matricial, em escala logarítmica,  $\log \Psi_m$ ) e o conteúdo de água retida ( $U$ ,  $\text{g g}^{-1}$ ;  $\theta$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ). Constitui um indicador físico valioso para o diagnóstico da qualidade do solo, permitindo estimar a disponibilidade de água no solo e outros atributos físicos relacionados. A maior inclinação da curva de retenção de água no ponto de inflexão (Figura 1), é, em grande parte, decorrente da macroporosidade, refletindo as principais propriedades físicas do solo. Os poros que drenam a água entre a saturação e o ponto de inflexão da curva de retenção de água são classificados como poros estruturais (macroporosidade) e a drenagem do solo, abaixo do ponto de inflexão, ocorre, pelo esvaziamento dos poros texturais (microporosidade) (DEXTER, 2004a).

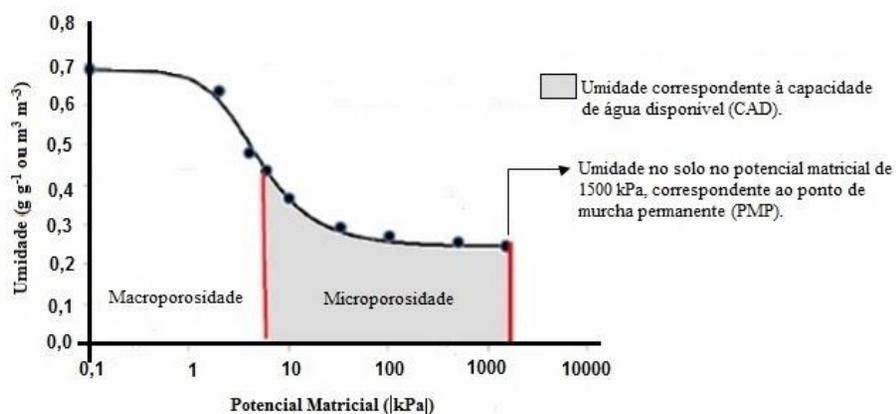


Figura 1 Exemplo de uma curva de retenção de água no solo

Dentre as informações obtidas com base nas curvas de retenção de água, destaca-se a capacidade de água disponível (CAD), importante ferramenta no diagnóstico de condição hídrica ótima para o crescimento radicular das plantas, reações químicas, movimento e absorção de nutrientes. A capacidade de água disponível corresponde à diferença entre o conteúdo de água retido na capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (KLEIN; REICHERT; REINERT, 2006). A porosidade do solo é classificada com base na curva de retenção de água do solo. Klein e Libardi (2002), classificaram a porosidade do solo em macroporos, como sendo os poros com diâmetro maior que 50  $\mu\text{m}$ ; microporos, com diâmetro entre 50 e 0,2  $\mu\text{m}$ ; e criptoporos como sendo aqueles que apresentam diâmetro menor que 0,2  $\mu\text{m}$ , e perdem água quando submetidos a tensões maiores que 1500 kPa.

As curvas de retenção de água também vêm sendo utilizadas para fins de avaliação da qualidade física dos solos, por meio de um único parâmetro que foi sugerido por Dexter (2004a, 2004b, 2004c), e denominado de índice S, cujo cálculo se baseia na inclinação da CRA do solo, no seu ponto de inflexão (eq. 2). O valor limite para índice S em solo com boa qualidade estrutural deve ser de, aproximadamente, 0,035, e os valores de  $S < 0,020$  indicam predomínio de porosidade textural, o que está associado às piores condições físicas do solo. Os autores sugerem, ainda, que as raízes das plantas crescem pouco, quando os valores de S estão entre 0,020 e 0,030 e não deverão crescer quando  $S < 0,020$ . Por outro lado, para valores de  $S > 0,035$ , o crescimento das raízes deve ser favorecido.

Andrade e Stone (2009a) verificaram que, para as condições de solos do cerrado brasileiro, o índice S é altamente correlacionado com a densidade do solo, porosidade total e macroporosidade, mostrando tratar-se de um indicador adequado da qualidade física de solos. Entretanto, recentemente, o Índice S vem sofrendo críticas de pesquisadores, particularmente de Lier (2012), que

argumenta que pesquisadores brasileiros vêm empregando a ferramenta de maneira inadequada, principalmente quando comparam os valores obtidos em solos tropicais aos determinados por Dexter (2004a) em solos da Polônia. Ainda, de acordo com Lier (2012), o índice *S* representa a mesma condição que indicadores de mais fácil determinação, como porosidade e densidade do solo, e tem sua determinação matemática enviesada, por ser dependente do parâmetro *n*, que é diretamente influenciado pelos conteúdos de água na saturação (*U<sub>s</sub>*) e no conteúdo de água residual, correspondente ao ponto de murcha permanente (*U<sub>r</sub>* = PMP).

Ainda relacionado à polêmica levantada no parágrafo anterior, Maia (2011) destaca que uma razão para erros de interpretação se deve às variações nos valores de ponto de murcha permanente, função do equipamento utilizado nesta determinação (Câmara de Richards), bem como o *software* utilizado na modelagem da curva de retenção de água (SWRC), além da restrição utilizada para o ajuste das curvas de retenção de água, que nem sempre são explícitos nas bases literárias existentes, não permitindo, portanto, comparações entre as diferentes fontes.

Diante do exposto, fica claro que a análise de um único atributo físico do solo nem sempre é suficiente para a fiel representação de sua qualidade física e da relação desta com o desenvolvimento das plantas, em razão da interdependência existente entre as variáveis.

Como justificativa para este estudo, cita-se a relevância econômica que a bovinocultura representa no leste e sul de Minas Gerais, especialmente no Leste, onde observa-se menor diversificação no uso e ocupação do solo, associado à adoção de um nível mais baixo de tecnologia no sistema de produção. A ausência ou deficiência de práticas de manejo e conservação do solo constituem importantes aspectos que caracterizam o uso inadequado do solo, nessas regiões, os quais resultaram na degradação dos sistemas produtivos, em especial aqueles

explorados com pastagem. A hipótese desta pesquisa é que a curva de retenção de água seja influenciada pelos sistemas de manejos das pastagens. Assim, objetivou-se, nesse trabalho, avaliar a qualidade física da camada superficial (0,05m) de Argissolos sob pastagens, nas regiões Leste e Sul de Minas Gerais, usando atributos físicos do solo, estimados por meio da curva de retenção de água, comparando esse sistema de uso com a condição de mata nativa secundária.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Identificação e caracterização das áreas de estudo

A pesquisa foi realizada nos municípios de Nova Mógica MG e Bom Sucesso MG, conforme ilustrado na figura 2.



Figura 2 Localização geográfica dos municípios onde estão localizadas as áreas de estudo

Em Nova Mógica, leste de Minas, foram selecionadas duas propriedades rurais, localizadas no Córrego São Jorge, nas coordenadas geográficas  $18^{\circ} 33' 52,89''\text{S} - 41^{\circ} 33' 32,56''\text{O}$  e  $18^{\circ} 33' 29,04''\text{S} - 41^{\circ} 33' 04,95''\text{O}$ . Em Bom Sucesso, sul de Minas, foi selecionada uma terceira propriedade, localizada nas coordenadas  $21^{\circ} 2' 1''\text{S} - 44^{\circ} 45' 9''\text{O}$ . Na Região Leste de Minas Gerais, foram definidas 03 (três) áreas de estudo, assim identificadas: Pastagem Leste Minas sob Regular Pressão de Pastejo (RPP); Pastagem Leste Minas sob Forte Pressão de Pastejo (FPP), e Mata Secundária (Figura 3).



Figura 3 Ilustração das áreas estudadas no Leste de Minas: a) Pastagem Leste de Minas Sob Regular Pressão de Pastejo; b) Pastagem Leste Minas sob Forte Pressão de Pastejo; c1 e c2) Mata Secundária

A Pastagem Leste de Minas sob Regular Pressão de Pastejo foi submetida ao processo de renovação de pastagem há seis anos, utilizando o processo convencional de preparo do solo com arado a disco, com plantio de capim do gênero *Brachiaria*. Objetivando obter bom desenvolvimento da forragem, a área permaneceu em "descanso" pelo período de 01 ano. Nessa área, são mantidas constantemente, 20 novilhas entre 18 e 24 meses de idade, atingindo uma lotação de 1,4 UA/ha.

Na Pastagem Leste Minas sob Forte Pressão de Pastejo, houve renovação de pastagem há oito anos, e a braquiária também constitui a principal cobertura vegetal, sobre a qual se mantêm, aproximadamente, 20 vacas (em lactação) e 15 bezerros, atingindo uma lotação média de 2,0 UA/ha. O pastejo dos bezerros, nessa área, é alternado, de forma que permanecem no local somente parte do dia. Nesse ambiente, há maior movimentação do rebanho, em função das atividades diárias de manejo das vacas em lactação.

A área de mata secundária da Região Leste de Minas sofre alguma interferência pelo acesso do gado, entretanto, encontra-se em condições mais próximas do estado natural de conservação.

Na região Sul de Minas, a área identificada como Pastagem Sul de Minas, há três anos está sendo mantida sem pastejo, sendo roçada, periodicamente. Anterior a esse período, cultivava-se milho no local, sendo o solo preparado de acordo com o sistema convencional na região (aração e gradagem), ocorrendo perdas consideráveis de solos, tendo em vista a ausência de práticas conservacionistas, ficando o registro dos eventos na forma de sulcos superficiais rasos e erosão laminar severa em alguns trechos.

Cabe ressaltar que as áreas estudadas nas duas regiões possuem solo que receberam a mesma classificação e textura, apresentando características semelhantes de relevo, e submetidas ao mesmo tipo de exploração (pastagem),

sendo selecionadas as camadas superficiais dos solos, por serem as mais afetadas pelo pisoteio do gado. As amostras foram coletadas no terço superior do morro.

### 3.2 Caracterização dos solos

As análises para a caracterização dos solos foram realizadas no laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando-se de amostras indeformadas retiradas com o amostrador de Uhland, em anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro e 2,50 cm de altura, nas camadas superficiais do solo (0,05m). Para tanto, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com 4 manejos (Pastagem Sul de Minas, Pastagem Leste de Minas RPP, Pastagem Leste de Minas FPP e Mata) e 3 repetições, totalizando 12 amostras.

Os solos estudados apresentaram textura média, e foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013), como Argissolo Vermelho Amarelo. Suas características químicas e físicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 Caracterização química da camada superficial dos Argissolos em estudo

Manejo	Prof. 0-5cm	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al
			.....mg.dm <sup>-3</sup> .....	.....	.....	.....	.....	.....
Pastagem Leste Minas (RPP)	CS	5,8	86,00	1,13	1,40	0,80	0,10	2,32
Pastagem Leste Minas (FPP)	CS	6,0	152,00	4,16	3,20	1,10	0,00	2,08
Pastagem Sul de Minas	CS	5,1	46,67	1,42	2,27	0,73	0,27	5,86
Mata	CS	6,1	84,00	1,71	5,00	1,00	0,00	1,66

Tabela 1, conclusão

Manejo	Prof. 0-5cm	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem
		.....cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> .....	.....	.....	.....%	.....	dag/kg	mg.L <sup>-1</sup>
Pastagem Leste Minas (RPP)	CS	2,42	2,52	4,74	51,07	3,97	1,75	38,28
Pastagem Leste Minas (FPP)	CS	4,69	4,69	6,77	69,27	0,00	2,11	37,20
Pastagem Sul de Minas	CS	3,12	3,39	8,98	34,76	7,89	3,32	24,54
Mata	CS	6,22	6,22	7,88	78,88	0,00	3,00	39,39

Tabela 2 Caracterização textural da camada superficial dos Argissolos em estudo

Manejo	Areia	Silte	Argila	Textura
	.....g.kg <sup>-1</sup> .....			
Pastagem Leste Minas	72	6	22	Franco-argilo-arenosa
Pastagem Sul de Minas	64	14	22	Franco-argilo-arenosa
Mata	69	11	20	Franco-argilo-arenosa

A determinação da curva característica de retenção de água foi realizada, segundo EMBRAPA (1997) e, para isso, as amostras indeformadas foram preparadas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA). Com auxílio de lâminas apropriadas, nivelou-se o solo ao volume exato do anel. Em seguida, os cilindros tiveram as bases forradas com tecidos de Nylon presos por um elástico de borracha. Todo conjunto (Cilindro, Nylon e elástico de borracha) foi previamente pesado, para a obtenção da tara a ser descontada, posteriormente. Depois, as amostras foram colocadas em bandejas, aumentando, gradativamente, as lâminas de água destilada, visando ao umedecimento por capilaridade, até a saturação completa das amostras. Posteriormente, foram retiradas da bandeja e pesadas, obtendo-se, nesse momento, o volume de água correspondente a umidade de saturação (equivalente a porosidade total determinada). Na sequência, as amostras foram

encaminhadas para as unidades de sucção, e em funis de Buchner, foram submetidas aos potenciais matriciais de -4, -6 e -10 kPa. Para a determinação dos conteúdos de água em potenciais mais negativos, -33, -100, -500 e -1500 kPa utilizaram-se as Câmaras de Richard. Após equilíbrio das amostras nos respectivos potenciais matriciais (determinado pelo cessamento da drenagem de água), as mesmas foram acondicionadas em estufa a 105°C até alcançarem peso seco constante. Calculou-se a umidade volumétrica ( $\theta_V = (\text{volume do solo úmido} - \text{volume do solo seco})/\text{volume do anel}$ ) e umidade gravimétrica ( $\theta_U = (\text{volume do solo úmido} - \text{volume do solo seco})/\text{peso do solo seco}$ ), correspondente a cada potencial matricial.

Com os dados obtidos, foram ajustadas curvas de retenção de água para cada repetição de cada manejo de solo amostrado. A curva de retenção de água foi ajustada plotando-se os valores de umidade gravimétrica em função da tensão da água no solo (kPa), utilizando o software Microsoft Excel 2007, por meio do modelo proposto por Genuchten (1980) conforme equação 1, mediante o software SWRC (DOURADO NETO et al., 2001).

$$U = U_r + \frac{(U_s - U_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

Onde:

U é o conteúdo de água gravimétrico no solo ( $\text{g g}^{-1}$ );

h é o módulo do potencial ou tensão de água no solo (kPa);

$U_s$  é o conteúdo de água gravimétrico na amostra saturada ( $\text{g g}^{-1}$ );

$U_r$  é o conteúdo de água gravimétrico ( $\text{g g}^{-1}$ ) no potencial matricial -1500 kPa;

m, n,  $\alpha$  são os parâmetros de ajuste do modelo.

No cálculo do índice S (eq.2), seguiram-se as recomendações de Dexter (2004a): a umidade do solo foi expressa em  $\text{g g}^{-1}$  (umidade gravimétrica), e

durante os ajustes das CRA, aplicou-se a restrição  $m = 1-1/n$  (REYNOLDS et al., 2009).

$$S = -n(U_s - U_r) [1+1/m]^{-(1+m)} \quad (2)$$

Onde:

S = valor da inclinação da curva de retenção de água no seu ponto de inflexão;

$U_s$  = conteúdo de água gravimétrico saturado ( $g\ g^{-1}$ );

$U_r$  = conteúdo de água gravimétrico residual ( $g\ g^{-1}$ );

m, n =parâmetros de ajustes do modelo.

O cálculo da capacidade de água disponível (CAD) foi realizado a partir da diferença entre os conteúdos de água determinados na umidade volumétrica equivalente à capacidade de campo e umidade volumétrica equivalente ao ponto de murcha permanente.

Para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ), foi usado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), usando a expressão  $D_s = M_s/V$ , em que:  $M_s$  = massa seca e  $V$  = Volume do anel. Na quantificação dos poros por tamanho foram utilizados os valores de umidade volumétrica, utilizando a expressão matemática proposta por Bouma (1973):  $D = 4 s \text{ Cos } q/d$ , sendo  $D$  o diâmetro do poro (mm);  $s$  a tensão superficial da água (73,43 kPa mm a 20 °C);  $q$  o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como 0); e  $h$  a tensão e água no solo (kPa). Dessa forma, foi possível determinar o volume total de poros (VTP), somando os poros encontrados nas diferentes tensões, em cada sistema de manejo.

A microporosidade foi determinada na unidade de sucção, considerando-a equivalente ao conteúdo de água da amostra na tensão de -6 kPa (OLIVEIRA, 1968) e a umidade retida nessa mesma tensão foi considerada, também, como

capacidade de campo (MELLO et al., 2002). A macroporosidade (Macro) foi calculada pela diferença entre volume total de poros e a microporosidade.

### **3.3 Análises estatísticas**

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, sendo os resultados submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (5%) com auxílio do programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011). Os gráficos foram plotados no Microsoft Excel 2007.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Curva de retenção de água**

As curvas de retenção de água (CRA) dos solos submetidos aos sistemas de pastejo avaliados, obtida pelo modelo de Genuchten (1980), estão apresentadas na Figura 4. Conforme recomendação de Maia (2011), cabe ressaltar que, para a construção das CRA, foram utilizadas amostras indeformadas e que somente o resultado foi expresso em unidade de peso ( $\text{g g}^{-1}$ ), o que não compromete as discussões a respeito da influência da estrutura na retenção de água nos solos estudados.

Os diferentes sistemas de pastejo alteraram as formas das curvas de retenção de água dos Argissolos (Figura 4). Observa-se que o solo sob mata apresentou maior inclinação da curva, seguida pelo sistema pastagem sul de Minas, que demonstrou maior capacidade de retenção de água em baixas tensões e menor retenção de água em altas tensões, demonstrando melhores condições físicas que os demais manejos.

No visual, aparentemente o solo sob pastagem, no sul de Minas Gerais, apresentou maior umidade no ponto de saturação e menor umidade residual em relação aos demais solos sob pastagem, (Figura 4), entretanto, se faz necessário submeter os dados à análise estatística.

Da mesma forma, visualmente, os solos sob pastagem, no leste de Minas (FFP e RPP), quando comparados ao ambiente de mata, apresentaram menor umidade no ponto de saturação e maior umidade residual (Figura 4), o que será confirmado, ou não, na análise estatística.

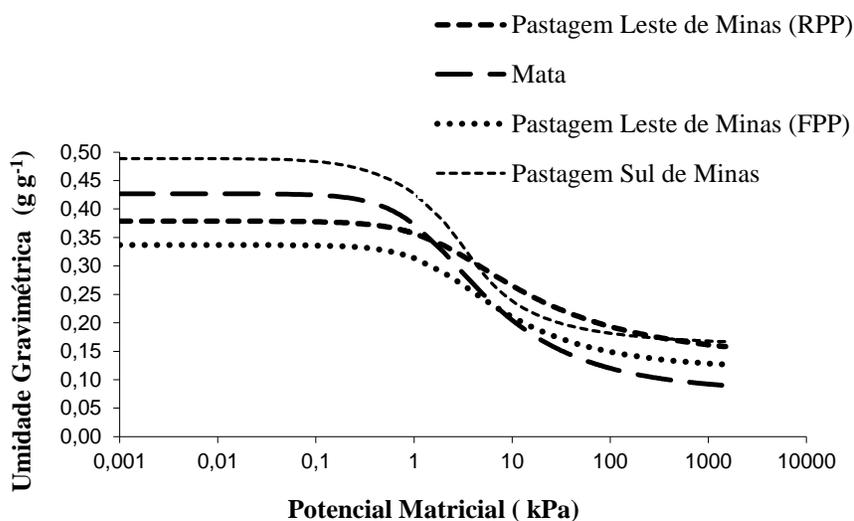


Figura 4 Curvas de retenção de água em Argissolos sob diferentes sistemas de manejo nas Regiões Leste e Sul de MG

Visualmente, houve alterações na porosidade dos solos submetidos ao manejo com pastagem na Região Leste de Minas, e isso é detectado quando se observa o formato das curvas.

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios dos parâmetros ( $U_s$ ,  $U_r$ ,  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ ) obtidos através da curva de retenção de água e ajustados, segundo

o modelo de Van Genuchten, para os sistemas de manejo dos solos estudados, comparados pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

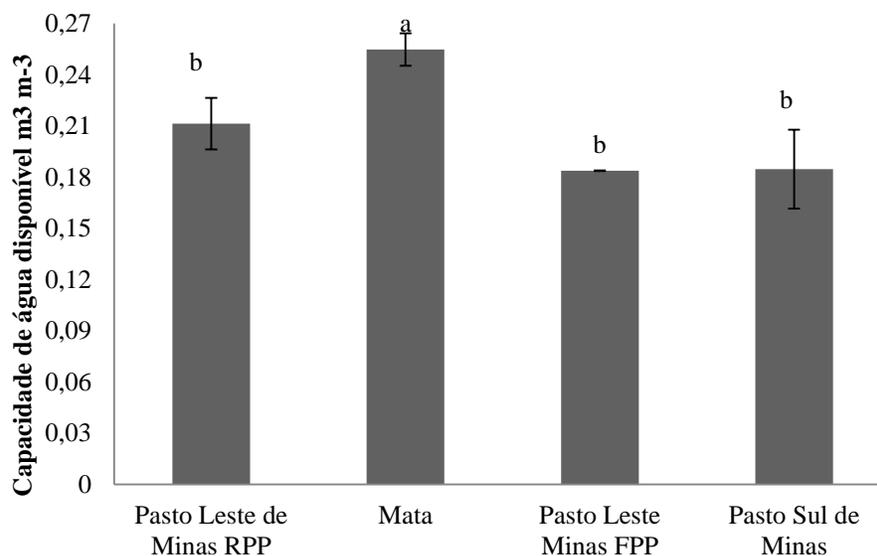
Tabela 3 Parâmetros de ajuste da equação de Van Genuchten

Manejo	U <sub>s</sub>	U <sub>r</sub> **	$\alpha$	m	N
	.....cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> .....				
Pastagem Leste Minas (RPP)	0,53a	0,19a	0,53a	0,27a	1,37a
Pastagem Leste Minas (FPP)	0,51a	0,18a	0,74a	0,48a	2,77a
Pastagem Sul de Minas	0,56a	0,20a	1,36a	0,39a	1,67a
Mata	0,55a	0,10b	0,77a	0,33a	1,49a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (5%). U<sub>s</sub> é o conteúdo de água gravimétrico na amostra saturada (g g<sup>-1</sup>); U<sub>r</sub> o conteúdo de água gravimétrico (g g<sup>-1</sup>) no potencial matricial -1500 kPa;  $\alpha$ , m e n são os parâmetros de ajuste do modelo. \*\* (P < 0,01).

Verificou-se que a área sob mata apresentou o menor valor de umidade residual, quando comparado aos demais sistemas de manejo. A umidade residual é o conteúdo de água determinado no  $\Psi$ -1500 kPa, correspondendo, portando, ao ponto de murcha permanente (PMP). Nesse sentido, para o PMP, observou-se o comportamento: Sistemas de manejos sob pastagens > Mata (Tabela 3). A retenção de água em altas tensões está mais relacionada a fatores intrínsecos do solo como textura e mineralogia (CARDUCCI et al., 2013), mas, também, com a matéria orgânica. Como os solos tem textura e mineralogia semelhante, é possível que a matéria orgânica em estágios variados de decomposição esteja influenciando na retenção de água naquela tensão.

No solo estudado, observou-se maior capacidade de água disponível (CAD) na Mata Secundária, não sendo observada diferença estatística entre os demais tratamentos (Figura 5).



Médias seguidas de mesma letra minúscula na barra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (5%).

Figura 5 Capacidade de água disponível ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em Argissolos sob diferentes sistemas de manejo

#### 4.2 Porosidade do solo

Como a porosidade interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e ramificação das raízes no solo, com consequências no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON,1991) a comparação estatística nos diferentes diâmetros de poros e ambientes estudados é fundamental. Dessa forma, observa-se (Tabela 4), um maior volume de poros maior que  $73,43 \mu\text{m}$  no solo sob Pastagem sul de Minas, idêntico ao ambiente Mata que reflete as condições ideais desse solo. Como o comportamento físico-hídrico do solo está condicionado a uma melhor distribuição do diâmetro dos poros (CARDUCCI et al., 2013) sendo os poros maiores responsáveis pela

maior infiltração e permeabilidade da água, trocas gasosas e crescimento das raízes (DEXTER, 2004a, 2004b, 2004c), sugere-se que o Argissolo sob pastagem no Sul de Minas ao permanecer três anos sem pastejo recuperou, pelo menos, parte da sua porosidade, trazendo importantes consequências ambientais, considerando o histórico apresentado para a área que descreve uso intensivo no passado, e inclusive processo erosivo intenso. Entretanto, esse solo do Sul de Minas apresenta os menores percentuais de poros entre 9 e 0,6  $\mu\text{m}$  (Tabela 4), o que mostra que o manejo anterior de fato foi muito degradante, e sua recuperação ainda está completa, com consequências prejudiciais na disponibilidade de água para as plantas, haja vista que esses são importantes poros na retenção de água disponível.

Tendo a Mata como referência, observa-se que os solos das pastagens Leste de Minas (RPP; FPP) sofreram as maiores alterações nos poros com diâmetros  $> 73,43 \mu\text{m}$ , o que explica o avançado processo erosivo em grande parte das áreas de pastagens nessa região.

Tabela 4 Distribuição de poros por tamanho em Argissolos sob diferentes manejos e regiões geográficas

Manejo	..... $\mu\text{m}$ .....							
	$>73,43^{**}$	73,43-49	49-29*	29-9,0	9,0-2,9**	2,9-0,6**	0,6-0,2*	$<0,2^{**}$
Pastagem Leste Minas (RPP)	0,10b	0,02a	0,03a	0,06a	0,03a	0,03a	0,04a	0,19a
Pastagem Leste Minas (FPP)	0,11b	0,03a	0,03a	0,05a	0,03a	0,02a	0,02b	0,18a
Pastagem Sul de Minas	0,20a	0,03a	0,03a	0,04a	0,01b	0,01b	0,01b	0,20a
Mata	0,21a	0,04a	0,04a	0,07a	0,03a	0,02a	0,02b	0,10b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, teste de Scott-Knott (5%). \* (P < 0,05); \*\* (P < 0,01).

Os atributos físicos volume total de poros (VTP), densidade do solo ( $D_s$ ) e índice S, também permitiram identificar a influência dos sistemas de manejo na qualidade física dos solos. Por outro lado, os atributos macro e microporos não foram sensíveis o suficiente para servir para o diagnóstico das modificações estruturais decorrentes do uso e manejo dos solos (Tabela 5).

Segundo Bertol, Mafra e Cogo (2006), a redução do volume de macroporos, constitui a alteração física que ocorre mais rapidamente e tem maior reflexo na infiltração de água no solo, e isso se dá em decorrência da compactação e desagregação na superfície do solo, ocasionando o fenômeno conhecido como "selamento superficial". De qualquer forma, nos manejos em estudo, os valores médios da macroporosidade (Tabela 5) foram superiores ao valor considerado crítico ( $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para o desenvolvimento das plantas (ANDRADE; STONE, 2009a).

É importante salientar que a macroporosidade não limitante encontrada nos solos sob os diferentes sistemas de manejo pode estar relacionada a uma maior massa radicular, proporcionada pelas gramíneas, e possíveis canais (bioporos) resultantes da decomposição e renovação dessas raízes (LIMA et al., 2012), somada a intensa atividade biológica da mesofauna, aos teores de carbono orgânico, aos acúmulos de materiais e às boas propriedades de agregação que esse ambiente apresenta (MATIAS et al., 2009; WENDLING et al., 2012).

Tabela 5 Valores médios para volume total de poros (VTP), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), densidade (Ds), e Índice S em Argissolos com pastagens sob diferentes manejos e sob Mata

Manejo	VTP*	Macro	Micro	Ds***	Índice S**
	.....cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> .....	.....	.....	g cm <sup>-3</sup>	----
Pastagem Leste Minas (RPP)	0,53a	0,12a	0,40a	1,40 b	0,04b
Pastagem Leste Minas (FPP)	0,49b	0,13a	0,36a	1,52 a	0,05b
Pastagem Sul de Minas	0,56a	0,17a	0,38a	1,23 c	0,07a
Mata	0,54a	0,19a	0,35a	1,28 c	0,08a
CV (%)	3,54	19,61	4,70	2,26	12,20

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, teste de Scott-Knott. \* (P < 0,05); \*\* (P < 0,01); \*\*\* (P < 0,001).

O solo sob mata, por não ter sido cultivado, e o solo sob pastagem sul de Minas, por se encontrar em recuperação (sem pastejo), apresentaram o menor valor de densidade na camada superficial, em relação aos solos sob pastagem do Leste (RPP e FPP) (Tabela 5).

De acordo com Bertol, Mafra e Cogo (2006), as alterações nas densidades do solo ocasionadas pela pressão de pastejo em geral são menos perceptíveis do que aquelas verificadas no volume de macroporos. Segundo os autores, para que tal alteração seja significativa, seria necessária mudança não somente no volume de macroporos, mas também, principalmente, nos volumes de microporos e volume total de poros. Na presente pesquisa, isso não foi observado, salientando, assim, que a densidade do solo foi o parâmetro mais sensível às alterações, destacando que o solo com pastagem leste Minas sob Forte Pressão de Pastejo foi o mais alterado, seguido pelo solo com pastagem leste Minas sob Regular Pressão de pastejo. O solo sob pastagem sul de Minas e mata apresentaram comportamento semelhante.

Bertol, Mafra e Cogo (2006) também consideram que a alteração na densidade do solo em sua superfície está associada à ação da energia cinética da gota das chuvas, em solos desprovidos de cobertura superficial, em função do pastejo excessivo.

Os solos sob mata e Pastagem sul de Minas não diferiram, estatisticamente, e apresentaram maior índice S que o sob pastagem Leste de Minas (RPP e FPP), indicando melhor qualidade física daqueles solos. Os valores de índice S nos manejos com pastagens do Leste de Minas não diferiram estatisticamente (Tabela 5), e ficaram bem próximos de 0,045, que é o valor mínimo preconizado por Andrade e Stone (2009a) como limite crítico para a boa qualidade de solos, salientando, entretanto, que esses autores sugeriram aquele valor para solos do cerrado.

O índice S está relacionado com a distribuição do tamanho de poros de maior frequência, que é afetada pela macroporosidade. Assim, é provável que, no solo, sob mata, as plantas afetaram favoravelmente esse índice, ao criarem macroporos para a aeração e infiltração de água no solo. Salienta-se que, para Dexter (2004a, 2004b, 2004c), os valores de  $S > 0,035$  são um indicativo de melhor distribuição de poros no solo, o que, conseqüentemente, está associado a uma menor restrição física para o crescimento das raízes das plantas, quer seja por aeração, restrição mecânica ou por características de retenção de água.

#### **4.3 Correlação e regressão linear entre os parâmetros físicos avaliados**

Segundo a equação de correlação entre porosidade do solo e índice S, observa-se uma correlação negativa entre índice S e microporosidade e, positiva, com o volume total de poros e macroporosidade (Figura 6). Observa-se, ainda, correlação positiva do índice S com poros de diâmetro maior que 73,43  $\mu\text{m}$  e poros de diâmetro entre 73,43 e 49  $\mu\text{m}$  (Figura 7).

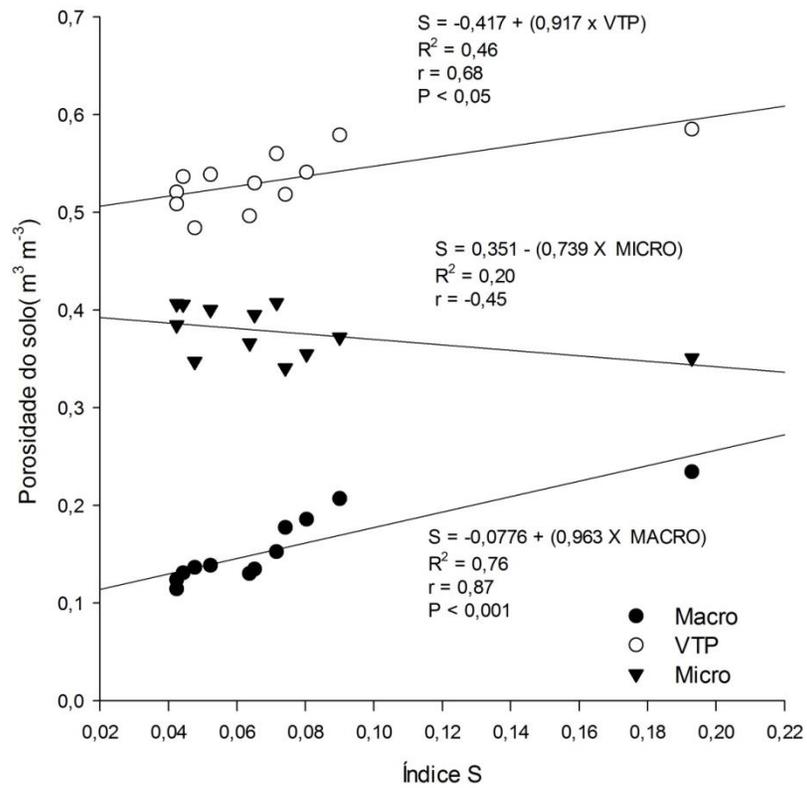


Figura 6 Correlação e regressão linear entre porosidade do solo (volume total de poros, macroporosidade e microporosidade) e índice S, em Argissolos com pastagens sob diferentes manejos

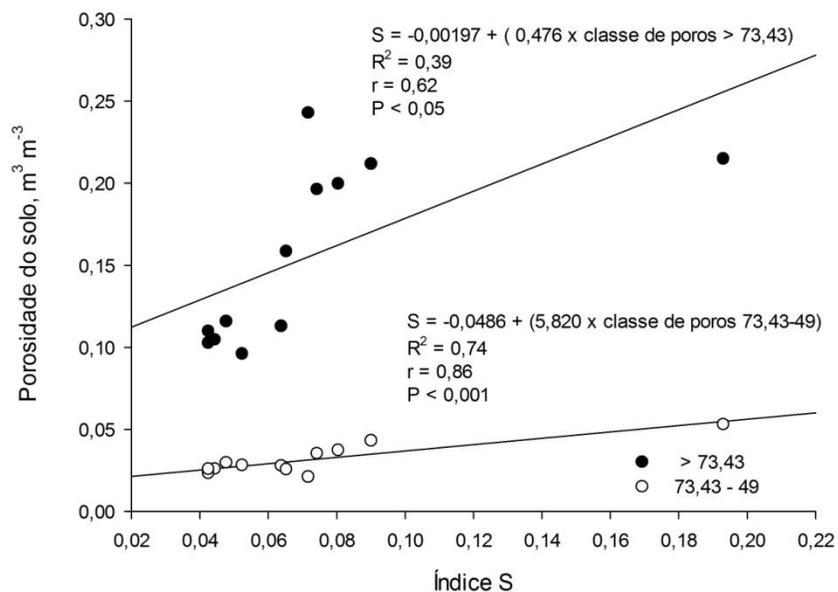


Figura 7 Correlação e regressão linear entre índice S e porosidade do solo (poros com diâmetro maior que 73,43 $\mu\text{m}$  e poros com diâmetro entre 73,43 e 49 $\mu\text{m}$ ) em Argissolos sob diferentes manejos

Confirmando os resultados apresentados, verifica-se que a densidade do solo apresentou correlação negativa com a macroporosidade (Figura 8) e com o índice S (Figura 9), o que serve para salientar a redução da qualidade estrutural do solo, causada pela compactação promovida pelo pisoteio das patas de animais no pastejo.

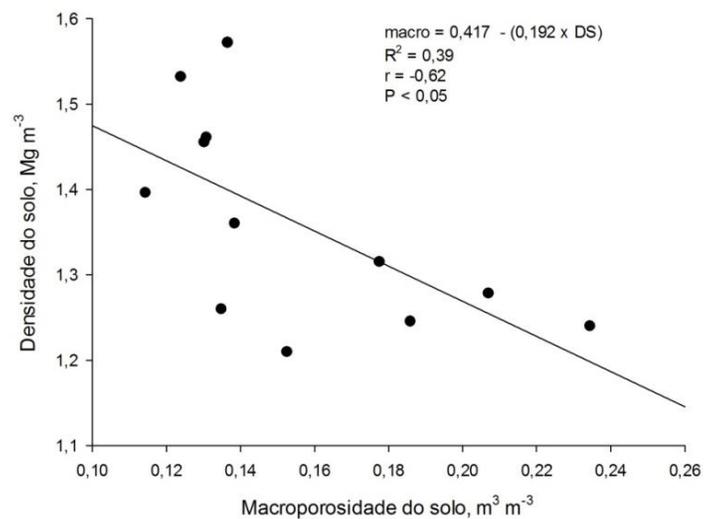


Figura 8 Correlação e regressão linear entre densidade do solo e macroporosidade em Argissolos sob diferentes manejos

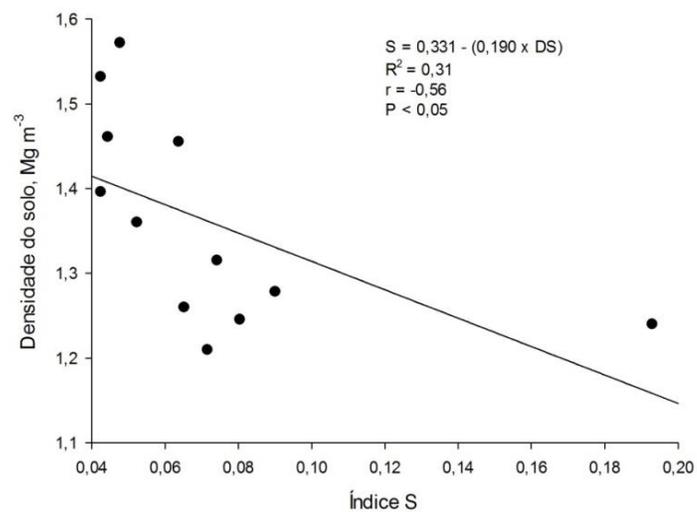


Figura 9 Correlação e regressão linear entre densidade do solo e índice S em Argissolos sob diferentes manejos

## 5 CONCLUSÕES

- Nas condições de manejo dos solos estudados, a distribuição dos poros por tamanho, obtida na curva de retenção de água, a densidade do solo e a porosidade total demonstraram serem bons indicadores da qualidade física do solo, na camada superficial;
- Pelos resultados encontrados na curva de retenção de água, densidade do solo e índice S, constata-se que houve alterações físicas na camada superficial do solo, nos ambientes explorados com pastagens, sendo essa alteração mais significativa no local leste de Minas sob forte pressão de pastejo, o que deve estar relacionado com o maior tráfego de animais, tendo em vista a maior taxa de lotação utilizada.
- O sistema de pastagem na região sul de Minas, mantido sem pastejo, apresentou resultados superiores, comparados àqueles sob pastejo intensivo (Leste de Minas), demonstrando que essa prática, nas condições estudadas, mostrou-se eficiente no processo de recuperação estrutural do solo.
- Os valores de índice S foram superiores no manejo de Mata e Pastagem do Sul de Minas, indicando melhores condições estruturais do solo nesses ambientes.

## REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. Os **domínios da natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê, 2003. 160 p.
- ANDRADE, F. V. **Tópicos especiais em produção vegetal II**. Alegre: UFES, 2011. 564 p.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 111-116, fev. 2011.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 382-388, fev. 2009a.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Uso do índice S na determinação da condutividade hidráulica não-saturada de solos do cerrado Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 376-381, jul./ago. 2009b.
- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. de. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 932-937, 2013.
- ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade dos solos: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- AVANZI, J. C. et al. Aggregate stability in soils cultivated with eucalyptus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 89-96, jan. 2011.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 779-786, maio 1998.

BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; COGO, N. P. Conservação do solo em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DAS PASTAGENS, 23., 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 143-155.

BOUMA, J. **Guide to the study of water movement in soilpedons above the water table**. Madison: University of Wisconsin, 1973. 194 p.

BRASIL. **Decreto nº 97.632**, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Brasília, 1989. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/d97632.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm)>. Acesso em: 24 jun. 2014.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República; Universidade Federal de Goiás. **Radiografia das pastagens**. Disponível em: <[http://issuu.com/sae.pr/docs/estudo\\_radiografia\\_das\\_pastagens](http://issuu.com/sae.pr/docs/estudo_radiografia_das_pastagens)>. Acessado em: 29 jan. 2015.

CARDUCCI, C. E. et al. Bimodal pore distribution on soils under conservation management system for coffee crop. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 291-302, 2013.

CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 77-86, jan./fev. 2011.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: part I, theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3/4, p. 201-214, June 2004a.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part II, friability, tillage, fil-th and hard-setting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3/4, p. 215-225, June 2004b.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: part III, unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3/4, p. 227-239, June 2004c.

DEXTER, A. R.; BIRD, N. R. A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, n. 4, p. 203-212, Jan. 2001.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 25-37. (Special Publication, 39).

DOURADO NETO, D. et al. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten**. Versão 3.00 beta. Piracicaba: ESALQ, 2001. Software.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR 5.0: a computer statistic al analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Física do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 117 p.

GALINARI, R. et al. Tecnologia, especialização regional e produtividade: um estudo da pecuária leiteira em Minas Gerais. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 10., 2002, Diamantina. **Anais...** Diamantina: UFMG, 2002. p. 1-25.

GAMA, J. R. N. F. **Solos: manejo e interpretação**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2004. 183 p.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, Fayetteville, v. 44, p. 892-898, 1980.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 8 p.

GUIMARÃES, R. M. L. et al. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 127, n. 1, p. 92-99, 2013.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 857-867, out./dez. 2002.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível de um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 646- 650, jul./set. 2006.

LEÃO, T. P. et al. Least Limiting water range in the evaluation of continuous and short-duration grazing systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 415-422, 2004.

LIER, Q. van. Índice S: um indicador da qualidade física do solo? **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 15, p. 24-27, dez. 2012.

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.

LIMA, V. M. P. **Qualidade estrutural e intervalo hídrico ótimo de latossolos cultivados em área de proteção ambiental do sul de Minas Gerais**. 2008. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

LIMA, V. M. P. et al. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2012.

LIMA, V. M. P. et al. Least limiting water range and porosity of cultivated soils in an environmental protection area in the south of Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 1087-1095, 2009.

MACEDO, M. C. M. Degradação de pastagens: conceitos, alternativas e métodos de recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 226, p. 36-42, 2005.

MACEDO, M. C. M. Pastagens nos ecossistemas cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, 32., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p. 28-62.

MACIEL, G. A. et al. Relação de atributos físicos do solo e produtividade de pastagens em sub-bacias hidrográficas no município de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 2025-2030, 2009. Edição especial.

MAIA, C. E. Índice S para avaliação da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 1959-1965, 2011.

MATIAS, S. S. R. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

MELLEK, J. E. et al. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 69-76, 2010.

MELLO, C. R. et al. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836-841, jul./ago. 2002.

MELO, C. D.; PIRES, J. A. A.; FERNANDES, M. R. Situação atual das pastagens em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 226, p. 9-14, 2005.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho Distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, jul./ago. 2010.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostra de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 197-200, 1968.

PEDROTTI, A.; MÉLLO-JÚNIOR, A. V. **Avanços em ciência do solo: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental**. São Cristóvão: UFS; Aracaju: FAPITEC, 2009. 212 p.

REYNOLDS, W. D. et al. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 152, n. 3/4, p. 252-263, Sept. 2009.

ROCHA-JUNIOR, P. R. et al. Degradação de pastagens brasileiras e práticas de recuperação. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 952-968, 2013.

SANTOS, G. G. et al. Qualidade física do solo a partir da curva de retenção de água: contribuição à teoria do índice S. In: CONGRESSO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2010, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2010. 1 CD-ROM

SCHUNKE, R. M. **Alternativas de manejo de pastagem para melhor aproveitamento de N do solo**. Campo Grande: EMBRAPA, 2001. 26 p.

SERAFIM, M. E. et al. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 362-370, abr. 2013.

SILVA, A. P. et al. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 1-10, jan./fev. 2008.

STEFANOSKI, D. C. et al. Soil use and management and its impact on physical quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1991.

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