



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB
PASTAGENS COM DIFERENTES PERÍODOS DE
USO**

IARA TEREZINHA PIGNATARO NETTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

BRASÍLIA/DF
MARÇO/2008

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
SOB PASTAGENS COM DIFERENTES PERÍODOS DE USO

IARA TEREZINHA PIGNATARO NETTO

ORIENTADOR: EIYTI KATO
CO-ORIENTADOR: WENCESLAU J. GOEDERT

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PUBLICAÇÃO: 280/2008

BRASÍLIA/DF
MARÇO/2008

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
SOB PASTAGENS COM DIFERENTES PERÍODOS DE USO**

**IARA TEREZINHA PIGNATARO NETTO
MATRÍCULA 06/26015**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA
E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS AGRÁRIAS NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GESTÃO DE SOLO E
ÁGUA.**

**WENCESLAU J. GOEDERT, PhD. Professor Associado (FAV-UnB)
(CO-ORIENTADOR) CPF: 005.799.550/87; E-mail: goedert@UnB.br**

APROVADA POR:

**EIYTI KATO, Dr. Pesquisador Associado (FAV-UnB)
(ORIENTADOR) CPF: 143.483.571/53; E-mail: kato@UnB.br**

**JOSÉ MAURO DA SILVA DIOGO, Dr. Professor Adjunto (FAV-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO) CPF: 331.931.696/68; E-mail: diogojm@UnB.br**

**ALEXANDRE DE OLIVEIRA BARCELLOS, Dr. Pesquisador (CPAC- EMBRAPA)
(EXAMINADOR EXTERNO) CPF: 308.455.801/91; E-mail: barcello@cpac.embrapa.br**

BRASÍLIA/DF, 31 DE MARÇO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Pignataro Netto, Iara Terezinha

Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso. / Iara Terezinha Pignataro Netto; orientação de Eiyti Kato/co-orientação de Wenceslau J. Goedert. – Brasília, 2008. 67 p.; il.

Dissertação de Mestrado (M) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2008.

1 - degradação do solo. 2 - resistência mecânica do solo à penetração.
3 - densidade do solo. 4 - matéria orgânica do solo. I. KATO, E. II. Dr

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Netto, I. T. P. Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2008. 67 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Iara Terezinha Pignataro Netto

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Iara Terezinha Pignataro Netto

CPF: 023453799 – 01

Rua São José, 752, Aptº 1206 - Cristo Rei

80050-350 – Curitiba/PR – Brasil

Tel. (0XX41) 3206-4119

E-mail: ipignataro@yahoo.com.br

À minha família pela compreensão, incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Eiyti Kato e Wenceslau Goedert pela dedicação, amizade e orientação.

Ao professor Diogo pelo auxílio com importantes informações sobre as áreas estudadas.

Aos professores José Ricardo, Sebastião e Oliveira pela grande contribuição na realização deste trabalho.

À minha amiga Lídia que contribuiu compartilhando os seus conhecimentos nos trabalhos no laboratório de Química do solo e pelo bom convívio diário.

À funcionária do laboratório de Física do solo, Catarina, que muito ajudou com sua atenção e boa vontade.

Aos meus amigos e colegas de curso pela amizade e carinho.

A todos que contribuíram de uma forma ou outra para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

Capítulos / Sub-capítulos	Página
1 Introdução Geral	1
1.1 Solo	3
1.2 Tipo de Solo : Latossolos	4
1.3 Influência da Cobertura	5
1.4 Qualidade do Solo	6
1.4.1 Indicadores da Qualidade do Solo	7
Densidade	9
Porosidade Total	9
Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados	10
Resistência Mecânica do Solo à Penetração	11
Capacidade de Troca Catiônica	12
Matéria Orgânica	13
1.5 Uso Sustentável do Solo	13
1.6 Processos e Causas da Degradação do Solo sob Pastagens	15
2 Objetivos	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 Referências Bibliográficas	19

Capítulos / Sub-capítulos	Página
Capítulo Único	24
Resumo	25
Abstract	26
1 Introdução	27
2 Material e Métodos	30
2.1 Indicadores de Qualidade do Solo Estudados	34
2.1.1 Atributos Físicos	34
2.1.2 Atributos Químicos	35
2.2 Análise Estatística e Modelagem Gráfica	35
3 Resultados e Discussão	37
3.1 Atributos Físicos do Solo	37
3.1.1 Densidade	38
3.1.2 Porosidade Total	40
3.1.3 Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados	41
3.1.4 Resistência Mecânica do Solo à Penetração	43
3.2 Atributos Químicos do Solo	44
3.2.1 Capacidade de Troca Catiônica	45
3.2.2 Matéria Orgânica	47
3.3 Correlação Linear dos Atributos Físicos e Químicos	49
3.4 Modelo Comparativo e Índice de Qualidade do Solo (IQS)	51
4 Conclusão	55
5 Referências Bibliográficas	56

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro	Página
Capítulo Geral	
Quadro 1 Atributos do Solo e seus Níveis de Sustentabilidade	8
Quadro 2 Classes de Resistência Mecânica do Solo à Penetração e Graus de Limitação ao Crescimento das Raízes	11
Capítulo Único	
Quadro 1 Médias do teor de argila, da densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio ponderado dos agregados e resistência mecânica do solo à penetração em áreas sob pastagens e Cerrado nativo, com diferentes profundidades e tempos de uso	37
Quadro 2 Médias da Capacidade de Troca de Cátions e Matéria Orgânica do Solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em áreas sob Pastagens e Cerrado nativo, com diferentes tempos de uso, em duas profundidades	45
Quadro 3 Matriz de Correlação Linear para os Atributos Físicos e Químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em áreas sob Pastagens e cerrado nativo, com diferentes tempos de uso, em duas profundidades	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Capítulo Único	
Figura 1 Área cultivada com <i>Andropogon gayanus</i> , AN, na Fazenda Água Limpa, UnB – DF	31
Figura 2 Área cultivada com <i>andropogon gayanus</i> , AV, na Fazenda Água Limpa, UnB – DF	31
Figura 3 Área cultivada com <i>Brachiaria decumbens</i> , BN, na Fazenda Água Limpa, UnB – DF	32
Figura 4 Área cultivada com <i>Brachiaria decumbens</i> , BV, na Fazenda Água Limpa, UnB – DF	33
Figura 5 Área sob Cerrado nativo, CN, na Fazenda Água Limpa, UnB – DF	33
Figura 6 Densidade do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas	38
Figura 7 Porosidade Total do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas	41
Figura 8 Diâmetro médio ponderado dos agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas	42
Figura 9 Resistência mecânica a penetração vertical de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas	43
Figura 10 Capacidade de Troca Catiônica de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas	46
Figura 11 Matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas	47
Figura 12 Diagramas comparativos da qualidade do solo entre o Cerrado nativo e as áreas com as seguintes pastagens: <i>andropogon</i> , AN; <i>andropogon</i> , AV; <i>braquiária</i> , BN; <i>braquiária</i> , BV	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
Anexo 1 Resultado da análise de Variância da Argila Total	61
Anexo 2 Resultado da análise de Variância da Densidade do Solo	61
Anexo 3 Resultado da análise de Variância da Porosidade Total	61
Anexo 4 Resultado da análise de Variância do Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados	61
Anexo 5 Resultado da análise de Variância da Resistência Mecânica do Solo	62
Anexo 6 Resultado da análise de Variância da CTC a pH 7,2	62
Anexo 7 Resultado da análise de Variância da Matéria Orgânica do Solo	62
Anexo 8 Índice de Qualidade do Solo	62
Anexo 9 Valores Médios do pH em Água e em KCl	63
Anexo 10 Resultado da análise de Variância do pH em Água	63
Anexo 11 Resultado da análise de Variância do pH em KCl	63
Anexo 12 Resultado da análise de Variância do Cálcio e Magnésio	64
Anexo 13 Resultado da análise de Variância do Alumínio Trocável	64
Anexo 14 Resultado da análise de Variância da Acidez Potencial	64
Anexo 15 Resultado da análise de Variância do Potássio	64
Anexo 16 Resultado da análise de Variância do Fósforo	65
Anexo 17 Resultado da análise de Variância da CTC efetiva	65
Anexo 18 Resultado da análise de Variância da Soma de Bases	65
Anexo 19 Resultado da análise de Variância da Saturação por Alumínio	65
Anexo 20 Resultado da análise de Variância da Saturação por Bases	66
Anexo 21 Resultado da análise de Variância do Carbono Orgânico	66

QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PASTAGENS COM DIFERENTES PERÍODOS DE USO

RESUMO GERAL

Um dos grandes desafios, nas regiões tropicais, é desenvolver sistemas agropecuários que possam manter a alta produtividade e a boa qualidade dos seus componentes. O uso sustentável dos sistemas pastoris implantados nestas regiões depende, principalmente, de um manejo que possa promover a conservação do solo. Pois este, por meio de seus atributos físicos e químicos, influencia diretamente no desenvolvimento das plantas, que por sua vez, podem constituir um ambiente altamente produtivo. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do solo sob quatro pastagens, formadas com as espécies *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, com diferentes tempos de uso. As áreas estudadas estão localizadas na Fazenda Água Limpa, FAL, Campo Experimental da Universidade de Brasília, UnB, Brasília/DF. O solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. As áreas foram amostradas em duas camadas, de 0-5 cm e 5-20 cm, onde foram coletadas quinze amostras por camada. O delineamento foi inteiramente casualizado e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao Teste Tukey a 5% de probabilidade. A qualidade do solo nas áreas estudadas foi obtida pela quantificação de seus atributos físicos e químicos que foram comparados com os atributos do solo sob Cerrado nativo. A Capacidade de troca de cátions e o teor de matéria orgânica do solo mostraram-se pouco afetadas pelo manejo e pelo tempo de uso. A densidade do solo, a porosidade total e a resistência mecânica do solo à penetração foram bastante afetadas, tendo grande influência na redução da qualidade do solo. Dentre os índices encontrados, as áreas com braquiária apresentaram qualidade inferior às com andropogon. O manejo empregado e, principalmente, o maior tempo de uso contribuíram com as alterações nas propriedades físicas.

Termos de indexação: degradação do solo, resistência mecânica do solo à penetração, densidade do solo, matéria orgânica do solo.

RED YELLOW LATOSSOL PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY UNDER PASTURE WITH DIFFERENT USING TIME

ABSTRACT

A big challenge in tropical areas is to develop pasture systems that maintain components with high productivity and good quality. The sustainable pasture system implanted in those areas depends, mainly, on the management that can provide soil conservation. The soil, through their physical and chemical attributes, has direct influence in plants growing, which can constitute a high productivity environment. This study aims to evaluate the soil quality of four areas under pasture implanted with the species *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria brizantha*, with different using times. The experimental areas are located in Brasília/DF (Água Limpa Farm - Brasília University). The soil is a typical dystrophic red yellow latossol. The areas were sampled in two layers, 0-5 cm and 5-20 cm, with fifteen sub-samples by layer. The statistic scheme was completed randomized and the obtained data were submitted to variance analysis and Tukey Test by 5% probability. The soil quality in the areas was evaluated through physical and chemical attributes that were compared with the soil attributes under natural Cerrado. The cation exchange capacity and the soil organic matter content were little affected by the management and by using time. On other side, the bulk density, the total porosity and the soil mechanical resistance to penetration were highly affected, having a strong influence in the soil quality reduction. The area under braquiaria showed poorer soil quality than the andropogon area. The adopted management and, mainly, the longer using time contributed to the decrease of soil quality.

Index terms: soil degradation, soil mechanical resistance to penetration, bulk density, soil organic matter.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A sustentabilidade dos sistemas pastoris implantados nas regiões tropicais depende, principalmente, de um manejo que seja fundamentado na conservação dos componentes do solo. As suas condições físicas e químicas influenciam diretamente no desenvolvimento das plantas, que por sua vez, podem ou não se tornarem altamente produtivas. Contudo, o uso deste importante elemento tem mostrado que as alterações ocorridas em um ambiente natural, quando este é transformado em sistemas agropecuários, em geral, não formam um novo sistema sustentável.

Segundo Bertoní & Lombardi Neto (1999), o solo deve ser considerado como a fonte fundamental da riqueza nacional, pois nele encontram-se os materiais minerais e orgânicos indispensáveis à sobrevivência de atividades essenciais como a agricultura e a pecuária. Nos solos é que se originam os vegetais terrestres e indiretamente os animais, os quais são fornecedores de elementos que constituem a base da alimentação humana. Quando um país é possuidor de uma diversidade maior de solos, dá ao seu povo a oportunidade de obter melhor qualidade de vida. Neste sentido, uma nação deve realizar seu desenvolvimento tendo em vista a conservação ambiental, considerando, principalmente, a preservação do solo, visto que, como um recurso natural essencial deve ser utilizado de maneira sustentável.

Mesmo em ecossistemas naturais, os fatores como o solo, clima e organismos podem sofrer mudanças com o tempo. O homem tem procurado desenvolver e aprimorar suas técnicas de conhecimento, conservação e melhoramento dos solos em todas as regiões do mundo. É importante que o uso do solo possa ocorrer baseado em práticas que estejam de acordo com a sua capacidade de oferta, de modo a preservar o potencial produtivo e ambiental, mantendo a estabilidade do sistema sem a necessidade de uma recuperação futura. Os agroecossistemas são dinâmicos e modificam-se, continuamente, de acordo com a influência que sofrem dos fatores ambientais, biológicos, culturais e sócios econômicos (Resende et al., 2002).

Os principais agentes que causam a degradação do solo são o pastoreio excessivo, o descuido das práticas de conservação do solo e o desmatamento sem critérios técnicos. O Brasil possui cerca de 100 milhões de hectares de pastagens cultivadas e, estima-se que 50% encontra-se com algum grau de degradação. O manejo inadequado na agricultura e na pecuária constitui uma das principais causas da erosão e transporte de solos férteis. Os fatores resultantes de práticas impróprias evidenciam a redução do potencial produtivo da terra com efeitos destrutivos na qualidade do solo. Branco & Cavinato (1999) relatam como principais

consequências a redução do vigor das plantas, o declínio e a morte da vegetação que fazem aparecer áreas descobertas e, com isso, a erosão laminar que arrasta a parte superficial do solo tornando a área mais pobre.

A conversão de áreas nativas do Cerrado para sistemas agropecuários transforma o ambiente solo, alterando o equilíbrio deste ecossistema. Em geral, num primeiro momento, este processo influi negativamente na qualidade, em parte, pela redução na deposição de matéria orgânica, seguida por métodos de preparo com revolvimento e exposição do solo, usados para a formação dos novos sistemas. O manejo utilizado e as características próprias da nova vegetação interferem nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo alterações, principalmente, nas camadas superficiais.

Grandes áreas do cerrado estão ocupadas por pastagens e uma boa parte apresenta solos degradados. Estima-se que no Cerrado brasileiro, cerca de 80% das pastagens cultivadas apresenta algum grau de degradação (Aidar & Kluthcouski, 2003). Nas atividades agropecuárias prevalecem os sistemas extensivos, baseados no uso de plantas forrageiras adaptadas às condições de solo e clima normais do Cerrado, onde normalmente não é utilizado o manejo de forma correta (Vilela et al., 2003). Os sistemas pastoris, em sua grande maioria, são mal formados e tem sido submetido a alta intensidade de pastejo, o que causa a perda da cobertura vegetal, acelerando a degradação do ecossistema da pastagem (Nabinger et al., 2006).

Os pastos, geralmente, são bem adaptados as condições naturais encontradas nas regiões do cerrado. França & Moreira (1988) relatam que neste ambiente o capim nativo cresce em abundância no meio de uma vegetação arbórea e arbustiva. O solo da região é composto em sua maioria por Latossolos que são excelentes para as atividades agropecuárias, são planos, profundos e apresentam boa estrutura física. Entretanto, existem alguns fatores que podem ser limitantes a boa produtividade, entre eles, está a deficiência de nutrientes devido ao tipo do material de origem e ao baixo teor de matéria orgânica presente nesses solos, bem como, a irregular disponibilidade de água que resulta da estacionalidade do clima e da profundidade do lençol freático. O uso destes solos, visando aumentar a sua capacidade de produção, exige maior tecnologia e investimentos.

O complexo solo-planta-animal exerce diversas inter-relações que devem ser conhecidas e trabalhadas de modo a manter e aumentar o potencial destes elementos. Então, como o sistema está sujeito a várias mudanças, das quais, muitas provocadas pelo homem, este deve tornar-se responsável pela sustentabilidade do meio. Isto exige prática e

conhecimento das regras que regem o complexo, propiciando assim, maiores possibilidades de sucesso no estabelecimento e condução dos sistemas das pastagens (Pereira, 2004).

1.1 SOLO

O solo, pelo Sistema brasileiro de classificação dos solos, Embrapa (1999), é definido como corpo natural formado por partes sólidas, líquidas e gasosas, constituído de partículas minerais e orgânicas, que ocupam a maior parte da crosta terrestre. Contém matéria viva, pode ser vegetado e está sempre em evolução na natureza onde ocorre. É constituído de camadas que diferem pela natureza física, química e biológica e, que se desenvolvem com o tempo sob a influência do clima e da atividade dos organismos (Galetti, 1989). Entretanto, o conceito de solo pode variar conforme a ciência que o estuda e a função que lhe é dada. Como por exemplo, para a ecologia, o solo é o local onde se processa parte dos ciclos naturais, como o hidrológico, o da matéria orgânica, dos nutrientes e outros (Resende et al., 2002). Já, como base do desenvolvimento das atividades agropecuárias, o solo, é o lugar onde as plantas retiram os recursos necessários à sua nutrição, e que serve para fixar suas raízes, tendo a função de suporte para a vegetação.

Segundo Porto (2004), o solo forma-se com a alteração progressiva das propriedades físicas, químicas e mineralógicas do protolito, que na superfície condiciona-se ao equilíbrio com o ambiente do local. O processo de evolução é influenciado por fatores endógenos e exógenos, que são representados pela suscetibilidade de alteração dos minerais presentes, maior ou menor atuação da água, do oxigênio e do gás carbônico, bem como, a grande influência das condições climáticas e geomorfológicas. O solo como entidade natural independente, pode possuir características herdadas do material originário e/ou características adquiridas, cujas relações variam com o tempo (Palmieri & Larach, 2004). Assim, devido aos diferentes fatores de origem, são encontrados diversos tipos de solo, que podem diferir de um município para outro, e até dentro de uma mesma parcela de terra cultivada.

Em lugares com clima quente e úmido, os solos apresentam-se mais evoluídos e normalmente constituem uma boa cobertura vegetal, que com a contribuição dos organismos presentes constituem regolitos espessos, onde ocorre a ação dos ácidos orgânicos e a atividade das raízes que forçam seu crescimento, causando fraturas na massa mineral, facilitando a atuação de outros elementos. Os solos com as diversas camadas formadas, resultantes de um conjunto de fenômenos, são objetos de estudos que tem em vista o melhor conhecimento do

sistema e as influências que o manejo exerce nos seus constituintes, com o intuito de melhorar a produção contínua de alimentos.

1.2 TIPO DE SOLO: LATOSSOLOS

As principais classes destes solos são o Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Variação-Una (LU) e Latossolo Amarelo (LA), porém, as classes de maior ocorrência no cerrado são as de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo, que abrangem áreas em torno de 18,6% e 21,6%, respectivamente (Adámoli et al., 1985). Embora estes solos sejam quimicamente semelhantes, diferem nas características físicas e mineralógicas (Spera et al., 2006). Estudando os solos da Amazônia, Vieira (1988) aponta algumas diferenças entre algumas classes de Latossolos. O Latossolo Vermelho-Amarelo se diferencia do Latossolo Amarelo por possuir menor relação Al_2O_3/Fe_2O_3 na fração argila e maior porcentagem de Fe_2O_3 livre. E do Latossolo Vermelho, maior relação Al_2O_3/Fe_2O_3 e menor porcentagem de Fe_2O_3 .

São solos de seqüência de horizonte A, Bw e C, compostos por minerais altamente intemperizados que originam uma fração argila de baixa atividade. É comum a presença de argilo-minerais do tipo 1:1 e de óxidos de ferro e alumínio (Palmieri & Larach, 2004). São bem desenvolvidos e possuem uma estrutura granular, muito pequena, formada por grãos de quartzo residual e um plasma caolinítico com oxihidróxidos de ferro e de alumínio (Porto, 2004).

Estes solos ocupam cerca de 46% do Cerrado, estão presentes nas áreas planas a suave-onduladas deste bioma. São solos profundos, com excelentes propriedades físicas, textura que varia de média a muito argilosa, normalmente bem drenados, fortemente ácidos e com elevados teores de alumínio trocável. Em geral, apresentam fertilidade natural muito baixa e pouca quantidade de matéria orgânica (Kluthcouski & Stone, 2003). Conforme Vieira (1988), os solos tropicais possuem uma microvida ativa que atua na decomposição da matéria orgânica de forma muito rápida e normalmente não acumula húmus. Nestes solos, a matéria orgânica é de grande importância, pois, serve para melhorar as suas propriedades. Kluthcouski & Stone (2003) citam que as limitações com a fertilidade e a baixa retenção de água nos solos podem ser corrigidas ou amenizadas pelo aumento no teor de matéria orgânica. O que pode ser obtido por meio de sistemas de manejo que possam produzir maior quantidade de biomassa vegetal como, por exemplo, a rotação de culturas com a inclusão da braquiária.

Os Latossolos sofrem a influência da alta temperatura e umidade, características de ambientes tropicais, onde ocorrem chuvas torrenciais e o maior aquecimento do solo, o que aumenta a suscetibilidade à erosão. Contudo, são solos passíveis de serem corrigidos e melhorados, que com o manejo adequado podem proporcionar excelentes condições para o uso em sistemas agropecuários.

1.3 INFLUÊNCIA DA COBERTURA

As gramíneas podem ser consideradas como um dos principais tipos de vegetação que formam a cobertura de solo. Conforme Bertoni & Lombardi Neto (1999), cerca de 6000 espécies de gramíneas vivem em todo tipo de lugar, estão presentes em todos os continentes, exceto naquelas regiões muito nuas ou frias para conter qualquer tipo de vegetação. Estas plantas apresentam boa densidade de haste e sistema radicular abundante. Com o elevado conteúdo de material vegetal junto ao solo ocorrem pequenas rugosidades no terreno que prendem as partículas, reduzindo a intensidade da enxurrada e evitando a forte pressão da água. A cobertura vegetal é a defesa natural contra a erosão, ela realiza a proteção contra o impacto das gotas de chuva e a dispersão da água, interceptando-a antes que atinja o solo. Bem como, pela decomposição das raízes destas plantas são formados múltiplos corredores que permitem a melhor infiltração da água e deslocamento do ar (Dias Filho, 2005). Em geral, em áreas onde as culturas não promovem produções compensadoras ou é grande o perigo de erosão, é aconselhável o uso da terra para pastagens, estas, quando conservadas de modo adequado, podem contribuir com a qualidade do solo. As gramíneas forrageiras, além de formar uma camada espessa que proporciona excelente proteção à superfície do terreno, são grandes depositantes de matéria orgânica, a qual promove um efeito benéfico sobre a estrutura do solo.

Entretanto, para produzirem um aumento em biomassa vegetal dependem das condições locais que estão expostas, principalmente, dos elementos de natureza física, química e biológica presentes no solo, que influenciam diretamente no crescimento das raízes e desenvolvimento das plantas.

O cultivo de gramíneas é importante na melhoria e recuperação das propriedades do solo. Entretanto, isso ocorre em pastagens bem manejadas, de modo a manter a boa quantidade de massa vegetal e adequada cobertura do solo. Nas áreas de pastagens cultivadas no Cerrado predominam as espécies do gênero *Brachiaria*, principalmente, a *Brachiaria*

decumbens e a *Brachiaria brizantha* que apresentam boa capacidade de produção de folhagens, grande resistência a períodos secos e pragas, e um sistema radicular agressivo que favorece uma maior agregação do solo.

Garcia et al. (2004) menciona que as pastagens do gênero *Brachiaria* são bem adaptadas às diversas condições de clima e solo do Brasil. Em clima tropical como o do Cerrado brasileiro, devido a maior intensidade das chuvas, ocorre a lixiviação dos nutrientes do solo, e estes, na sua maioria apresentam baixa a média fertilidade. Nestas condições de fertilidade do solo a *Brachiaria decumbens* pode promover produções satisfatórias de forragem e formar boa cobertura do solo. Já a *Brachiaria Brizantha* é mais exigente em fertilidade, no entanto, possui maior potencial de produzir massa vegetal que a primeira (Salton et al., 2005). E, embora, apresente-se formando touceiras, pela alta produção de biomassa pode cobrir o solo de modo adequado.

O mesmo vem ressaltar que outro tipo de gramínea, o *Andropogon gayanus*, também é muito utilizada nas produções agropecuárias desta região. Estas plantas apresentam um estabelecimento mais lento do que as braquiárias, no entanto, possuem um sistema radicular mais profundo que possibilita uma maior resistência a períodos secos e, em geral, desenvolvem-se bem nos solos tropicais. Contudo, por seu hábito de crescimento em forma entouceirada, não formam uma boa cobertura para solo.

1.4 QUALIDADE DO SOLO

Quando se fala em qualidade do solo, refere-se, normalmente, ao estado de conservação dos seus atributos, que podem funcionar de modo equilibrado e apresentar um comportamento harmônico das funções desempenhadas. Segundo Doran & Parkin (1994), para um solo expressar qualidade é necessário que ele possa funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural, de modo a sustentar a produção biológica, promover a saúde dos animais e das plantas, e manter a qualidade do meio ambiente. O solo deve ser capaz de funcionar adequadamente, proporcionar para os elementos do agroecossistema um desenvolvimento saudável, melhorando a sua qualidade e promovendo a alta produtividade das plantas (Fageria & Stone, 2006).

Um solo pode ser considerado com boa qualidade ou de qualidade inferior, dependendo do contexto em que se encontra. É importante considerar a atividade que se desenvolve nele, os elementos que se relacionam e como estes são afetados. As interações que

ocorrem dentro de cada ecossistema solo devem ser compreendidas para definir o estado de qualidade do sistema. Como exemplo, pode-se citar os solos do Cerrado que, em geral, muito ácidos, com altos teores de alumínio e baixa fertilidade, em condições naturais dificultam o bom desenvolvimento da produção agrícola, entretanto, apresentam condições favoráveis para o desenvolvimento da vegetação nativa (Palmieri & Larach, 2004). Estes solos, quando sob vegetação natural, mostram-se estáveis e evidenciam um estado de qualidade que permite sustentar a vegetação presente e manter a estabilidade entre os constituintes deste ambiente.

Segundo Vieira (1988), o solo adequado deve fornecer às plantas espaço para o bom desenvolvimento da raiz, nutrientes e água disponível, ser suficientemente arejado e não conter substâncias tóxicas. O modelo do solo ideal para o melhor desempenho dos sistemas de cultivos deveria apresentar 50% de volume de sólidos e 50% de poros totais, distribuídos de modo que 33,5% fossem ocupados pela água e 16,5% pelo ar (Camargo & Alleoni, 1997), bem como, não serem suscetíveis à erosão e nem oferecer dificuldade alguma ao uso de máquinas (Resende et al., 2002).

1.4.1 INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO

Os indicadores são os próprios atributos do solo, que, por meio da ação dos diversos elementos do agroecossistema, sofrem modificações, as quais podem contribuir com a melhoria ou causar danos aos componentes do solo. As propriedades físicas, químicas e biológicas poderão informar sobre a qualidade do solo. Então, o monitoramento destas propriedades é de suma importância para adequar o manejo, principalmente, em áreas mais suscetíveis à degradação, como nos solos do cerrado. De acordo com Fialho et al. (2006), o acompanhamento da evolução dos atributos do solo serve para avaliar a sustentabilidade das práticas agrícolas e estabelecer parâmetros que visem à conservação do solo. Fatores como compactação, erosão eólica e hídrica do solo, e manejos que desarmonizem os atributos devem ser prioritariamente conhecidos e estudados, de modo a direcionar ações para o melhoramento do sistema (Lal, 2000).

Doran & Parkin (1996) propõem que os indicadores de qualidade do solo sejam práticos e fáceis para a sua boa utilização pelos profissionais, conservacionistas, produtores e outros. As propriedades escolhidas devem ser úteis para a maioria das situações, bem como, possuir características que permitam:

- Obter uma boa correlação com os fatores que atuam no ecossistema;

- Sensibilidade às variações do clima e do manejo ocorridas após alguns anos, tempo suficiente para refletir as mudanças na qualidade do solo;
- Quando possível, ser componente de uma base de dados existente sobre esse ecoagrossistema.

Conforme Goedert (2005), os atributos funcionam como indicadores do estado real do solo, esses podem fornecer diversas informações, como por exemplo, os atributos de natureza física que permitem avaliar a agregação das partículas e a compactação do solo. E os de natureza química, conhecer a reserva de nutrientes disponíveis para as plantas. O autor sugere, no quadro 1, um conjunto mínimo de indicadores para avaliar a qualidade do solo sob uso agrícola e seus níveis de sustentabilidade em latossolos tropicais.

Quadro 1 – Atributos do solo e seus níveis de sustentabilidade sugeridos por Goedert, 2005.

Atributo	Nível de Sustentabilidade
Densidade do Solo (Ds)	< 1,0 g cm ⁻³
Porosidade Total (Pt)	> 60 cm ³ cm ⁻³
Resistência Mecânica à Penetração (Rp)	< 1,0 MPa
Grau de Floclulação	> 50 %
Teor de Matéria Orgânica (MO)	Textura Argilosa: > 40 g kg ⁻¹
	Textura Média: > 30 g kg ⁻¹
	Textura Arenosa: > 20 g kg ⁻¹
Capacidade de Troca de Cátions (CTC)	Textura Argilosa: > 10 cmol _c dm ⁻³
	Textura Média: > 7 cmol _c dm ⁻³
	Textura Arenosa: > 4 cmol _c dm ⁻³

Os atributos assinalados, em sistemas agropecuários com manejo deficiente, são rapidamente afetados por diferentes causas e exercem bastante influência no desenvolvimento das plantas.

Mielniczuk (1999) também vem ressaltar a importância do monitoramento da qualidade do solo e a da contribuição mais eficaz de atributos sensíveis ao manejo e ao ambiente, e de fácil determinação. Que permite conhecer de modo mais rápido as condições do solo e, com isso, pode-se intervir no manejo antes das terras serem totalmente degradadas.

▪ DENSIDADE DO SOLO

A densidade é determinada nas condições naturais do solo pela prova volumétrica (Vieira, 1988), que corresponde a massa de solo seco em um determinado volume. É uma propriedade que pode variar com a atuação de alguns componentes do sistema, como a matéria orgânica e o cultivo intensivo. A densidade recebe uma influência benéfica da matéria orgânica, que melhora a agregação do solo, e com isso, promove a redução desta propriedade. Por outro lado, o cultivo intensivo provoca a quebra dos agregados do solo e, como consequência, ocorre o aumento da densidade e a diminuição da porosidade, o que pode influir na aeração e na infiltração de água. Esse atributo tende a aumentar com a profundidade, normalmente, por influência de fatores como o teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação e maior compactação (Kiehl, 1979).

Segundo Camargo & Alleoni (1997), essa propriedade também pode influir na condutividade térmica do solo. Se for considerado um mesmo conteúdo de água, a condutividade térmica em solos com densidade alta é maior que com densidade baixa.

A densidade do solo pode ser modificada continuamente pelo uso da terra e, é bastante influenciada pelo manejo. A utilização de máquinas e equipamentos pesados, bem como, elevada carga animal, favorece o aumento deste atributo (Bertol et al., 2006).

▪ POROSIDADE DO SOLO

A porosidade é um dos atributos mais importante que podem expressar a qualidade do solo. Em condições naturais, normalmente, ocorre boa porosidade, porém, qualquer alteração, quer natural ou provocada pelo homem, modifica o movimento da água e do ar, o que influi nos processo bioquímicos do solo e pode dificultar o desenvolvimento das plantas (Grohmann, 1972).

É definida como o espaço no solo que está ocupado por ar e água, constituído de microporos, poros intermediários e macroporos. Nos Latossolos, muito velhos, o tamanho dos poros é mais ou menos definido, é comum encontrar os macroporos entre os grânulos e os microporos dentro dos agregados. Os solos argilosos possuem grande microporosidade, onde ocorre a presença de água por adsorção, neles a infiltração e trocas gasosas são menores. Entretanto, esses solos também podem apresentar uma grande macroporosidade dada pela agregação, principalmente, os Latossolos que possuem agentes cimentantes como os óxidos

de ferro e alumínio em grande quantidade. Os macroporos constituem a rota principal ao crescimento das raízes, de modo que os solos mal estruturados podem inibir o pleno desenvolvimento do sistema radicular (Camargo & Alleoni, 1997). O volume mínimo de macroporos desejável no solo para satisfazer as exigências de aeração da maioria das plantas é cerca de 10% (Bertol et al., 2006).

O tamanho dos poros do solo pode variar, eles dependem das partículas e dos agregados. A distribuição dos espaços pode mudar pela atuação de alguma pressão ou por rolamento das partículas. A quantidade, o tamanho, a distribuição e a continuidade são diferentes de um solo para outro (Resende et al., 2002).

▪ DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO DE AGREGADOS

Este atributo serve como um indicativo da estabilidade das partículas, isto é, indica a quantidade de grumos resistentes à ação das chuvas ou de outros fatores desagregadores. A estabilidade dos agregados em água é expressa por índices como o Diâmetro Médio Ponderado de agregados (DMP) e o Diâmetro Médio Geométrico de agregados (DMG). O conhecimento da qualidade da agregação do solo é de grande importância para subsidiar o planejamento do manejo e, se necessário, implantar práticas conservacionistas complementares (Bertol et al., 2006).

Os principais agentes que contribuem para melhorar a agregação das partículas do solo são os minerais de argila, a matéria orgânica, o cálcio e os óxidos de ferro e alumínio (Camargo & Alleoni, 1997).

Stone et al. (2003), ao apresentarem os resultados relacionados às propriedades físicas do solo, em Latossolo Vermelho distrófico, onde são comparados diversos sistemas de manejo, inclusive a pastagem de braquiária, mostraram que as áreas com a presença desta gramínea, consorciada ou solteira, foram as que expressaram mais qualidade, se aproximando dos valores encontrados na área sob mata nativa. Salton et al. (2005) estudando a matéria orgânica em Latossolos Vermelhos, em experimentos com lavoura, lavoura-pastagem e pastagem permanente verificou que o DMP foi maior para o sistema de pastagem permanente. O aporte de carbono no solo via raízes é fundamental para a existência de macroagregados. O ecossistema das pastagens contribui na formação de agregados maiores pela ação mecânica decorrente do crescimento e funcionamento das raízes, e dos microorganismos que são estimulados a produzir substâncias na região onde ocorre a massa radicular.

▪ RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

É um parâmetro usado para verificar o nível de compactação do solo, que pode causar um impedimento físico na superfície e subsuperfície. O preparo com máquinas e equipamentos pesados, o pisoteio dos animais e o impacto da chuva em solos descobertos, quando em maior frequência e/ou por muito tempo são alguns dos elementos que provocam o adensamento do solo. Esta propriedade é influenciada pela textura, densidade e conteúdo de água, quanto mais seco estiver o solo, maior será a sua resistência mecânica à penetração (Camargo & Alleoni, 1997).

É comum encontrar pastagens degradadas que apresentam alta densidade, reduzida porosidade e baixa infiltração, o que reflete certo grau de compactação. Nestas condições, as partículas do solo encontram-se pulverizadas, comprimidas e/ou deformadas pelo manejo inadequado, principalmente, em terras trabalhadas com o solo muito seco ou com excesso de umidade. A resistência mecânica à penetração é encontrada em solos que estão em processo de degradação e, o efeito dessa condição causa um impedimento ao crescimento do sistema radicular das plantas devido à restrição de água, nutrientes, ar e espaço para sua expansão. No quadro 2 estão representadas as classes de resistência mecânica do solo e os graus de limitações ao crescimento das raízes apresentados por Camargo & Alleoni (1997).

Quadro 2 - Classes de resistência mecânica do solo à penetração e graus de limitação ao crescimento das raízes adaptado de Canarache (1990), citado por Camargo & Alleoni (1997).

Classes	Limites (MPa)	Limitações ao crescimento das raízes
Muito baixa	< 1,1	Sem limitações
Baixa	1,1 – 2,5	Pouca Limitação
Média	2,6 - 5,0	Algumas Limitações
Alta	5,1 – 10	Sérias Limitações
Muito Alta	10,1 – 15,0	Raízes praticamente não crescem
Extremamente Alta	> 15,0	Raízes não crescem

Solos bem manejados ou solos sob vegetação nativa, em geral, não apresentam restrições ao desenvolvimento das plantas, estes possuem uma resistência mecânica do solo à penetração das raízes nula ou quase nula.

▪ CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA

Nos solos do cerrado, altamente intemperizados, a capacidade de troca de cátions deve-se a fração argila e, principalmente, a matéria orgânica que representa um grande percentual da CTC total. A fração argila possui uma mineralogia muito pobre, os Latossolos são compostos por caolinita, óxidos de ferro e de alumínio, que apresentam baixa capacidade de troca catiônica. A CTC desses solos está entre 4 e 14 cmolc dm^{-3} . E na matéria orgânica pode-se encontrar uma CTC aparente de 280 cmolc dm^{-3} , o que a torna uma das principais fontes de nutrientes para as plantas (Kluthcouski & Stone, 2003). A capacidade de troca de cátions dos solos do Bioma Cerrado é altamente dependente das cargas negativas formadas pela matéria orgânica (Spera et al., 2006).

O solo do ecossistema das pastagens possui como principais fontes de entrada de nutrientes o material de origem, matéria orgânica do solo, deposição das excreções dos animais em pastejo, deposição de nutrientes da atmosfera, fixação simbiótica e não simbiótica e a adubação (Pereira, 2004). Os nutrientes se movimentam pelos diferentes compartimentos do ecossistema, tais como, solo-planta-animal-atmosfera, onde sofrem modificações moleculares que os tornam com maior ou menor disponibilidade para a utilização dos microorganismos do solo e da comunidade vegetal (Dubeux Junior et al., 2006).

Na constituição do solo, as substâncias minerais e orgânicas possuem uma reserva de elementos nutritivos que nem sempre é mobilizada com a mesma velocidade com que eles são retirados pelas colheitas (Bastos, 1987). Entretanto, o ideal é que sejam retidas grandes quantidades de nutrientes, cedendo-os à medida que a solução do solo empobrece.

Malavolta et al. (2002) lembram que os solos sob vegetação natural, sem que ocorra nenhuma interferência no seu estado nativo, propiciam condições de equilíbrio para os seus componentes e promovem naturalmente a manutenção e a melhoria da fertilidade.

▪ MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A matéria orgânica é toda a substância morta resultante dos restos de plantas, animais e organismos, que como resíduos apresentam-se em todos os estágios de decomposição e influenciam de diversas formas os elementos do solo. A deposição da matéria orgânica no solo pode variar conforme o tipo de vegetação presente. Por exemplo, quando é produzida pelas árvores de uma floresta, que possuem mais material vegetal na parte aérea do que nas raízes, os restos orgânicos das folhas e ramos ficam acumulados nos primeiros centímetros do solo. Neste caso, a contribuição das raízes é menor, o que não ocorre com as gramíneas, que, normalmente produzem grandes quantidades de material orgânico tanto no interior do solo, como na parte aérea (Vilela et al., 2004).

A matéria orgânica, por ser sensível às modificações que ocorrem no solo e pela sua influência nos atributos essenciais, tem sido considerada como indicador-chave de qualidade do solo. Ela atua na ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos, formação de agregados, infiltração e retenção de água, entre outros. Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica aumenta a fertilidade do solo, contribui com o fornecimento de cargas negativas e propicia a retenção de cátions, tornando-se um componente fundamental na capacidade produtiva desses solos.

Malavolta et al. (2002) ressaltam a capacidade de a matéria orgânica influenciar a maioria das propriedades do solo e citam outras contribuições, como o efeito regulador na temperatura do solo e o retardamento na fixação de fósforo.

1.5 USO SUSTENTÁVEL DO SOLO

Nos últimos anos tem aumentado a preocupação com a qualidade dos sistemas de produção agropecuária. O uso de práticas impróprias tem causado a degradação de muitas áreas de pastagens, que apresentam sua capacidade produtiva reduzida devido a alterações provocadas nos componentes do solo. Todavia, a intensidade das modificações nos atributos físicos, químicos e biológicos pode ser reduzida por meio do manejo adequado e a adoção do uso racional, envolvendo um planejamento responsável que procure manter este ecossistema em equilíbrio e com boa produção. Conforme Lal (2000), um dos principais desafios para o século 21 é eliminar práticas de manejos que causam a degradação do solo e, substituir por

aquelas que possam promover a restauração dos sistemas visando o aumento da qualidade ambiental.

A busca por sistemas sustentáveis e produtivos, pela adoção de tecnologias, em áreas já utilizadas para a agropecuária, pode evitar o comprometimento de novas áreas de vegetação nativa. Para Martha Junior et al. (2006) é necessário que os agroecossistemas deste século sejam capazes de maximizar a quantidade e a qualidade dos diversos produtos agrícolas, bem como, de manter a sustentabilidade do meio. E ainda, lembra que a integração lavoura e pecuária e a adubação de pastagens são bons exemplos de manejo que contribuem para melhorar estes sistemas. A baixa fertilidade natural dos solos do cerrado e a falta de adubação pelos produtores ocupam um lugar de destaque como contribuintes para a degradação das pastagens nesta região (Martha Junior & Vilela, 2002).

Nos solos tropicais, para melhorar a oferta de nutrientes e propiciar a matriz física ideal ao crescimento das plantas, é necessário usar práticas como o manejo correto da matéria orgânica, a boa cobertura e a baixa mobilização do solo. Em boas condições ambientais, o solo pode melhorar a qualidade dos seus constituintes. Tedesco et al. (1999) cita que a utilização correta dos recursos disponíveis pode, ao mesmo tempo, satisfazer as necessidades humanas e conservar a qualidade ambiental.

Conforme Bertol et al. (2006), a conservação do solo em áreas de pastagem está diretamente relacionada com o manejo animal e com a planta forrageira. As gramíneas forrageiras, quando encontram condições favoráveis e podem desenvolver livremente suas raízes, constituem um meio de enriquecer o solo com substâncias húmicas, que, em meio de pH acima de 5,6, tornam-se substâncias agregadoras de grumos (Primavesi, 2002).

Rocha (1991) relata que nos ecossistemas naturais em uso, desde que o ambiente não seja sensivelmente perturbado, a dinâmica do clima e dos mecanismos internos de adaptação atua no sentido de recuperar a estabilidade. Entretanto, é importante ressaltar que o sistema deve ser considerado em seu conjunto, como um todo, com as inúmeras relações que ocorrem entre os elementos presentes, das quais resulta a formação de componentes que serão responsáveis pelo novo estado de equilíbrio.

Pela visão de Goedert (2005) é imprescindível manter a qualidade do solo, com a interação entre as suas propriedades, para que estas possam influir positivamente no processo e, assim, obter-se um ambiente favorável que assegure a boa produtividade e a melhor qualidade ambiental. É preciso entender as necessidades do solo com o intuito de conseguir a sustentabilidade real nos sistemas agropecuários.

1.6 PROCESSOS E CAUSAS DA DEGRADAÇÃO DO SOLO SOB PASTAGENS

Nas pastagens implantadas no Centro-Oeste é comum a ocorrência de manejo sem os cuidados necessários para o funcionamento correto do sistema solo-planta-animal. Nesta região, os solos apresentam algumas limitações que, se não forem corrigidas, podem levar a destruição de importantes propriedades que exercem influência no desempenho das pastagens (Vilela et al., 2003).

As pastagens que recebem um manejo inadequado tendem a desorganizar os seus principais componentes e, com o tempo, apresentam um grau mais elevado de degradação que provoca efeitos negativos nos atributos do solo. É comum encontrar-se mais de uma causa envolvida no processo de desgaste das pastagens. De acordo com Dias Filho (2006) as principais causas da degradação dos sistemas pastoris são:

- O manejo da pastagem de forma inadequada que, em geral, não restitui os nutrientes retirados do solo, bem como, o uso do fogo para eliminar o pasto não consumido, provocar rebrote ou controlar plantas daninhas;
- Falhas no estabelecimento da pastagem causadas pelo preparo impróprio da área, plantio fora de época e a utilização de sementes sem qualidade;
- O pastejo sem levar em conta o tempo certo para o restabelecimento do capim e a lotação animal sem controle;
- O excesso ou a falta de chuvas, baixa fertilidade, drenagem deficiente dos solos e, pelo ataque de insetos e pragas.

As pastagens sob Latossolos, quando são manejadas de maneira imprópria, provocando a exposição do solo, este tende a sofrer ressecamento. O processo é influenciado pelo tipo de solo que apresenta tendência de formar crostas superficiais, provavelmente, devido à flocculação das argilas que passam a comportar-se funcionalmente como silte e areia fina (Correia et al., 2004).

Com a atuação freqüente de fatores, como os citados anteriormente, ocorre a destruição de muitas partes da cobertura vegetal e, conseqüentemente, o solo fica desprotegido dando início ao processo de desagregação das partículas superficiais. Segundo Bertol et al. (2006), a ação das máquinas e implementos utilizados no preparo do solo destrói

os agregados e deixa as partículas da subsuperfície expostas à erosão. As áreas descobertas estão sujeitas a maior ação erosiva da chuva e da enxurrada, bem como, ao forte impacto causado pelos cascos dos animais, que podem provocar um selamento superficial e compactar as camadas mais superficiais. A pressão mais intensa causa a diminuição dos poros, com a deformação da estrutura física do solo. Contudo, é preciso lembrar que alterações na estrutura física do solo, com o tempo, podem ocorrer mesmo sob manejos que revolvem menos o solo (Stone et al., 2003).

A erosão dos solos está presente em todos os biomas brasileiros, desde a Mata Atlântica até a Floresta Amazônica, passando pelos Cerrados, Caatinga, Pantanal e Campos (Baruselli, 2008). É um dos principais fatores que destroem os solos de forma acelerada e, muitas vezes, impõe maior dificuldade na recuperação das áreas. Vieira (1988) cita alguns elementos que concorrem para a suscetibilidade do solo à erosão e, dentre eles, estão os fatores climatológicos, a topografia mais acidentada, com maiores declives no terreno e o microrelevo, bem como, a falta de superfícies de fricção, seja com a presença de pedras ou cobertura de vegetação, que possam agir como protetores, a pouca infiltração de água, a presença de camadas compactadas no perfil e uma menor estabilidade do material do solo. Segundo Amaral (1984), o uso do fogo com frequência também é um contribuinte potencial para a destruição do solo, que após certo tempo, reduz a umidade e fertilidade natural, forma uma camada endurecida, onde podem ocorrer rachaduras e desprendimento de pedaços de terra, favorecendo uma erosão mais profunda.

O processo inicial de degradação do solo ocorre com a mudança de suas características originais, seguida de erosão laminar, que lentamente, arrasta a camada superficial. Com o tempo evidenciam-se perdas de matéria orgânica e o comprometimento da estrutura do solo, causando a redução de sua fertilidade e produtividade. Conforme Spera et al. (2006), a perda gradual de matéria orgânica e da agregação natural é um aspecto altamente negativo para a conservação do solo.

Bertoni & Lombardi Neto (1999) escrevendo sobre a erosão hídrica relata como ela pode danificar o solo. Inicialmente, o procedimento se dá através das gotas de chuva que caem sobre a superfície, provocam o desprendimento das partículas de solo e o transporte por salpicamento. As partículas soltas, com o aumento da enxurrada, são carregadas para outros locais, sendo depositadas nas partes mais baixas do terreno. O volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência da chuva. Quanto mais intensa a chuva, maior é a perda de solo, mas a duração e a frequência, neste caso, tem atuação semelhante a intensidade. A primeira mantida por mais tempo pode encharcar o solo e

diminuir a infiltração, e com excesso de água ocorre a enxurrada. A segunda, com intervalos curtos, age da mesma forma. A erosão, principalmente do tipo laminar transporta o solo da superfície e junto carrega os nutrientes importantes para as plantas, expõe as terras das camadas inferiores e acelera a degradação da estrutura física, reduzindo a fertilidade do solo (Amaral, 1984).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos do solo sob pastagens, com diferentes históricos de área, em relação a vegetação nativa de Cerrado stricto sensu.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar os atributos de qualidade do solo, de natureza física e química, em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens cultivadas.
2. Identificar os indicadores mais adequados que possam inferir sobre a qualidade do solo tendo em vista a maior expressão dos efeitos causados e a fácil aplicabilidade.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÂMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L. G. & NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. Solos do Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel; Brasília: Embrapa, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985. 47p.

AIDAR, H. & KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades Lavoureira e Pecuária nos Cerrados. In: AIDAR, H.; STONE, L. F. & KLUTHCOUSKI, J., eds. Integração Lavoura-Pecuária. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA Feijão e Arroz, 2003. p.23-58.

AMARAL, N. D. Noções de Conservação do Solo. 2ª Ed. São Paulo: Nobel, 1984. 120p.

BARUSELLI, M. S. Erosão: um lento e contínuo processo de destruição dos solos. FUNDAÇÃO AGRISUS. Agricultura Sustentável. Conveniada: Fundação de Estudos Agrários Luiz Queiroz – FEALQ.

Disponível em: <http://www.agrisus.org.br/artigos.asp?cod=21>, acesso em 22/01/2008.

BASTOS, E. Manual de Irrigação. 2ª ed. Coleção Brasil Agrícola. São Paulo. Ícone, 1987. 103p.

BERTOL, I.; MAFRA, A. L. & COGO, N. P. Conservação do solo em pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C. & FARIA, V. P., eds. As Pastagens e o Meio Ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.139-163.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. 4ª. Coleção Brasil Agrícola. São Paulo, Ícone, 1999. 336p.

BRANCO, S. M. & CAVINATO, V. M. Solos: A Base da Vida Terrestre. 1ª ed. Coleção Polêmica. São Paulo, Moderna, 1999. 79p.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, ESALQ, 1997. 132p.

CORREIA, J. R.; REATTO, A. & SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. IN: SOUZA, D. M. G. & LOBATO, E., eds. Cerrado: correção do solo e adubação. 2ª Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnológica, 2004. p.29-61.

DIAS FILHO, M. B. Degradação e recuperação de pastagens: In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C. & FARIA, V. P., eds. As Pastagens e o Meio Ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.185-215.

DIAS FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 2ª ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173p.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. & COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p.3-21. (SSSA Special publication, 35)

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. ed. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.25-37 (SSSA Special publication,49)

DUBEUX JR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. & CUNHA, M. V. Fluxo de nutrientes em ecossistemas de pastagens: impactos no meio ambiente e na produtividade. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C. & FARIA, V. P., eds. As Pastagens e o Meio Ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.439-493.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos. 1ª ed. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FAGERIA, N. K. & STONE, L. F. Qualidade do solo e meio ambiente. Santo Antônio de Goiás; Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Documento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644, 197)

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S. & SILVA JUNIOR, J. M. T. Indicadores de Qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. R. Ci. Agronômica, 37: p.250-257, 2006.

FRANÇA, V. & MOREIRA, T. Agricultor Ecológico: Técnicas Alternativas de Produção. 2ª ed. São Paulo. Nobel, 1988.

GALETI, P. A. Guia Técnico Agropecuário: Solos. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, 1989. 142p.

GARCIA, R.; ROCHA, F. C.; BERNARDINO, F. S. & GOBBI, K. F. Forrageiras Utilizadas no Sistema Integrado Agricultura-Pecuária. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A. & AGNES, E. L., eds. Manejo Integrado: integração agricultura-pecuária. Viçosa: UFV; DFP; DFT, 2004. p.332-337.

GOEDERT, W. Qualidade do solo em Sistema de Produção Agrícola. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. SBCS, v.1, p.1-200.

GROHMANN, F. Porosidade. In: MONIZ, A. C. Elementos de Pedologia. Polígono, Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1972. p.77-84.

KIEHL, E. J. Manual de Edafologia: relações solo-planta. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres LTDA, 1979. 263p.

KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L. F. Manejo Sustentável dos Solos dos Cerrados. In: AIDAR, H.; STONE, L. F. & KLUTHCOUSKI, J., eds. Integração Lavoura-Pecuária. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA Feijão e Arroz, 2003. p.59-104.

LAL, R. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. Soil Science. 165(3): 191-207, 2000.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P. & ALCARDE, J. C. Adubos e Adubações. São Paulo, Nobel, 2002. 200p.

MARTHA JUNIOR, G. B.; VILELA, L. & BARCELLOS, A. O. A Planta Forrageira e o Agroecossistema. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C. & FARIA, V. P.,

eds. As Pastagens e o Meio Ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.87-138.

MARTHA JUNIOR, G. B. & VILELA, L. Pastagens no Cerrado: Baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 50)

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-7.

NABINGER, C.; DALL'AGNOL, M. & CARVALHO, P. C. F. Biodiversidade e Produtividade em Pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C. & FARIA, V. P., eds. As Pastagens e o Meio Ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.37-86.

PALMIERI, F. & LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B., orgs. Geomorfologia e Meio Ambiente. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.59-122.

PEREIRA, J. C. As Pastagens no Contexto dos Sistemas de Produção de Bovinos. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A. & AGNES, E. L. Manejo Integrado: integração agricultura-pecuária. Viçosa: UFV; DFP; DFT, 2004. p.287-326.

PORTO, C. G. Intemperismo em regiões tropicais. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B., orgs. Geomorfologia e Meio Ambiente. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.25-57.

PRIMAVESI, A. Manejo Ecológico do Solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo, Nobel, 2002. 549p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. & CORRÊA, G. F. Pedologia: Bases para Distinção de Ambientes. 4ª ed. Viçosa. Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra - NEPUT, 2002. 338p.

ROCHA, G. L. Ecosistemas de Pastagens: Aspectos Dinâmicos. Vol. 2. Piracicaba. Fundação de Estudos Luiz de Queiroz – FEALQ, 1991. 391p.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M. & CONCEIÇÃO, P. C. Matéria Orgânica do Solo na interação lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados. Embrapa Agropecuária Oeste; Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, 2005. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 29)

SPERA, S. T.; CORREIA, J. R. & REATTO, A. Solos do Bioma Cerrado: propriedades químicas e físico-hídricas sob uso e manejo de adubos verdes. In: CARVALHO, A. M & AMABILE, R. F., eds. Cerrado: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p.41-65.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. & KLUTHCOUSKI, J. Influência das Pastagens na Melhoria dos Atributos Físico-Hídricos do Solo. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. & AIDAR, H., eds. Integração Lavoura-Pecuária. Santo Antonio de Goiás. Embrapa Feijão e Arroz, 2003. p.171-182.

TEDESCO, M. J.; SELBACH, P. A.; GIANELLO, C. & CAMARGO, F. A. O. Resíduos Orgânicos no Solo e os Impactos no Ambiente. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.159–192.

VIEIRA, L. S. Manual da Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais. 2ª Ed. São Paulo. Agronômica Ceres, 1988. 464p.

VILELA, L.; SOUZA, D. M. G. & SILVA, J. E. Adubação Potássica. IN: SOUZA, D. M. G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2ª Ed. Brasília. Embrapa Informação e Tecnológica, 2004. p.169-182.

VILELA, L.; MACEDO, M. C. M.; MARTHA JUNIOR, G. B. & KLUTHCOUSKI, J. Degradação de Pastagens e indicadores de Sustentabilidade. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. & AIDAR, H., eds. Integração Lavoura-Pecuária. Santo Antonio de Goiás. Embrapa Feijão e Arroz, 2003. p.105-128.

CAPÍTULO ÚNICO

Trabalho a ser encaminhado para a Revista Brasileira de Ciência do Solo

QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PASTAGENS COM DIFERENTES PERÍODOS DE USO

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do solo em pastagens com *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* cv. marandu, com diferentes tempos de uso, empregando como referência o Cerrado nativo. As áreas estudadas estão localizadas na Fazenda Água Limpa, FAL, Campo Experimental da Universidade de Brasília, UnB, Brasília/DF. O solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico. As áreas foram amostradas em duas camadas, de 0-5 cm e 5-20 cm, onde, foram coletadas quinze subamostras por camada. O delineamento foi inteiramente casualizado e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao Teste Tukey a 5% de probabilidade. A qualidade do solo nas áreas estudadas foi obtida pelas seguintes atributos: capacidade de troca de cátions, matéria orgânica do solo, densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio ponderado dos agregados e resistência mecânica do solo à penetração. A capacidade de troca de cátions e o teor de matéria orgânica do solo mostraram-se pouco afetadas pelo manejo e pelo tempo de uso. Por outro lado, a densidade do solo, a porosidade total e a resistência mecânica do solo à penetração foram bastante afetadas, tendo grande influência na redução da qualidade do solo. O excessivo pisoteio de animais por um longo tempo, o uso de máquinas e implementos, e a cobertura deficiente, ocasionada pelo manejo inadequado, foram os principais fatores que promoveram as alterações no solo. O índice da qualidade do solo mostrou a seguinte seqüência: *Andropogon gayanus* mais recente > *Andropogon gayanus* mais velho > *Brachiaria brizantha* > *Brachiaria decumbens*.

Termos de indexação: degradação do solo, resistência mecânica do solo à penetração, densidade do solo, matéria orgânica do solo.

RED YELLOW LATOSSOL PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY UNDER PASTURE WITH DIFFERENTS USING TIME

ABSTRACT

This study aims to evaluate the soil quality in areas under cultivated pasture with *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria brizantha* cv. marandu, with different using times, having as reference the natural Cerrado. The experimental areas are located in Brasília/DF (Água Limpa Farm - Brasília University). The soil is a typical dystrophic red yellow latossol. The areas were sampled in two layers, 0-5 cm and 5-20 cm, with fifteen sub-samples by layer. The statistic scheme was completed randomized and the obtained data were submitted to variance analysis and Tukey Test by 5% probability. The soil quality in the areas was evaluated based on the following attributes: cation exchange capacity, soil organic matter, bulk density, porosity, soil mechanical resistance to penetration and aggregate stability. The cation exchange capacity and the soil organic matter content were little affected by the management and by using time. On other side, the bulk density, the total porosity and the soil mechanical resistance to penetration were highly affected, having a strong influence in the soil quality reduction. The highly animals treading for long time, the agricultural machines and implements, and the deficient groundcover caused by inefficient management was the mainly factors that contributed with soil changing. The soil quality index show the following sequence: *Andropogon gayanus* more recent > *Andropogon gayanus* older > *Brachiaria brizantha* > *Brachiaria decumbens*.

Index terms: soil degradation, soil mechanical resistance to penetration, bulk density, soil organic matter.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios nas regiões tropicais é desenvolver sistemas de produção vegetal e animal que possam manter a alta produtividade e a qualidade ambiental. Nestes agroecossistemas há a predominância de solos muito intemperizados que necessitam de tratamentos conservacionistas, os quais, normalmente, propiciam a manutenção e a melhoria do meio como um todo. A condição de qualidade dos sistemas agropecuários deve-se, em primeiro lugar, ao estado de conservação do solo, que pode mudar com o passar do tempo devido à ocorrência de eventos naturais ou de ações geradas pelo manejo.

Palmieri & Larach (2004) definem o solo como resultante da ação conjunta do clima e dos organismos, com a influência do relevo e do tempo, sobre restos minerais depositados e enriquecidos de detritos orgânicos, comportando-se como um corpo de características distintas que se apresenta em constante transformação. De modo geral, a parte vital do solo é representada pelos trinta ou quarenta centímetros superficiais, denominada de camada de terra arável, onde se concentra a maior parte da matéria orgânica e dos microrganismos, o ar circula facilmente promovendo um ambiente de vida mais intensa, favorável ao desenvolvimento das plantas (Malavolta et al., 2002).

O solo é um importante recurso natural que possui a capacidade de realizar várias funções que exercem influência sobre os componentes do ambiente. No ecossistema das pastagens pode ser considerado como um elemento determinante para o crescimento das gramíneas, pois através de suas propriedades físicas e químicas influi diretamente no processo de estabelecimento e desenvolvimento destas plantas. O sistema solo é um meio em equilíbrio dinâmico que pode ser modificado pelas diversas formas de manejo e, dependendo do grau de interferência, podem ocorrer efeitos desestabilizadores em todo o conjunto dos elementos agropastoris. Neste contexto, o manejo do solo passa a ser um instrumento essencial para ser usado na busca de atividades agropecuárias sustentáveis (Casalinho & Martins, 2004).

O solo que se apresenta em bom estado de conservação e exprime certa qualidade, tem uma grande contribuição na sustentabilidade dos sistemas agropecuários, os quais, em equilíbrio, podem garantir alta produtividade e um ambiente saudável para as plantas, animais e o próprio homem. Santana (2005) comenta sobre a crescente preocupação com o ambiente e com a qualidade de vida, e vem salientar o anseio por novos sistemas de cultivo que possam difundir conceitos que visem o desenvolvimento buscando atender as necessidades atuais e futuras, favorecendo uma relação benéfica em todo ecossistema.

A formação de agroecossistemas, geralmente, se dá pelo avanço sobre áreas de vegetação nativa, e com a pressão do aumento exponencial da população mundial ocorre a expansão de fronteiras agrícolas com mais frequência e com abrangência de maior extensão de terra. O ecossistema natural com sua diversidade de plantas e organismos, adaptados as condições apresentadas pelo próprio sistema, denota estabilidade ao meio. Entretanto, quando é transformado para a produção de alimentos, inicialmente, demonstra uma perda na sua estabilidade com a retirada da vegetação nativa. Contudo, isso não deve significar degradação, apenas uma desorganização temporária, pois outro tipo de planta vai ocupar o lugar, onde irá formar-se um sistema diferente do que existia, nascendo uma nova comunidade de espécies, que se bem manejado, poderá apresentar um estado de ótimas condições ambientais para os seus constituintes. O produtor pode alimentar e proteger todos os organismos presentes com o manejo certo, mediante a utilização de boas práticas, de modo a criar um sistema que determine um comportamento estável e com qualidade. Então, a transformação de sistemas naturais para cultivados, nem sempre deve ser considerada como uma forma destrutiva do ambiente e, sim uma mudança para novo estado com condições de encontrar o equilíbrio. Entretanto, devemos concentrar-nos em trabalhos racionalmente planejados e que exprimam eficiência para obter-se agroecossistemas superiores.

Por outro lado, a preocupação crescente sobre a sustentabilidade nos sistemas das pastagens, existe em função de manejos que se realizam sem os cuidados necessários, causando a destruição de elementos importantes do solo e reduzindo a produtividade dos constituintes deste ambiente. Para alguns produtores os pastos são considerados como plantas milagrosas que sempre irão conseguir se restabelecer, mesmo na ausência de tratamento adequado. E, muitas vezes, pelos pastos não apresentarem lucro diretamente, e sim através dos animais por eles alimentados, são manejados deficientemente, sendo evitado gastos maiores para melhorar a produção das plantas. As pastagens estão presentes em grandes áreas do País. No Cerrado existe cerca de 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas e uma expressiva atividade pecuária (Sano et al., 1999). Esta região, embora apresente algumas limitações, como baixa disponibilidade de nutrientes e deficiência hídrica em alguns períodos do ano, tem condições físicas muito favoráveis às atividades agropecuárias. Boa parte dos solos nas áreas cultivadas com pastos são Latossolos, que apresentam excelentes condições de agregação, boa profundidade e são de fácil manejo. As pastagens são formadas predominantemente por espécies de gramíneas do gênero *Brachiaria*, principalmente, pelas espécies *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* (Salton et al., 2005). Estas plantas são bem adaptadas às condições edafoclimáticas dessa região e, de modo geral, podem produzir

grande quantidade de biomassa vegetal e propiciar a plena cobertura da superfície. E, também contribuir através de sua massa de raízes com a estruturação do solo.

A maioria dos solos deste bioma são distróficos, e a falta de elementos essenciais para a manutenção da vegetação provoca um estado de redução no desenvolvimento das plantas, o que contribui para aumentar o processo de degradação (Paciullo et al., 2006). A região Centro-Oeste possui sérios problemas com a degradação das pastagens, e o manejo inadequado pode conduzir a conseqüências desastrosas que, normalmente, exige um tempo mais longo e altos custos para a reconstituição do sistema.

A qualidade do solo nos sistemas agropastoris concorre com a sustentabilidade das pastagens e, diante da grande área de pastos degradada atualmente, é de suma importância, avaliar os efeitos nas propriedades do solo. Esse assunto tem despertado o interesse de vários pesquisadores que buscam descobrir que fatores influem na manutenção da qualidade dos sistemas agropecuários.

A hipótese deste estudo é que o solo com vegetação nativa transformado em área de pastagem sofre uma degradação nas suas propriedades, principalmente nos atributos físicos, que podem se agravar dependendo da intensidade do manejo e do tempo de uso. O objetivo deste trabalho é avaliar as alterações nos atributos físicos e químicos do solo sob pastagens, com diferentes tempos de uso, em relação a vegetação nativa do Cerrado stricto sensu.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas estudadas estão localizadas na Fazenda Água Limpa - FAL, Campo Experimental da Universidade de Brasília – UnB, no Distrito Federal, que limita-se ao norte com o Ribeirão do Gama e o Núcleo Rural da Vargem Bonita, ao sul com a BR 251, ao leste com o Córrego Taquara e o IBGE, e ao oeste com a estrada de ferro e o Country Club de Brasília.

A altitude da região varia entre 1000 e 1200 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw (tropical estacional de savana). A região apresenta um período chuvoso de outubro a março e uma estação seca de abril a setembro. A precipitação anual média é em torno de 1550 mm. A umidade relativa do ar, entre junho e setembro, fica abaixo de 70%, podendo cair para 16% nos períodos mais secos. A temperatura, geralmente, fica entre 18 e 28,5°C.

O solo predominante na área de estudo é classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 1999), como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, A moderado, textura argilosa a muito argilosa e com relevo plano.

O trabalho foi realizado de novembro de 2006 a setembro de 2007, e foram avaliadas cinco áreas, sendo quatro com solos sob pastagens e um sob Cerrado nativo, que serão descritas a seguir.

Área 1 - Pastagem cultivada com a espécie *Andropogon gayanus* (AN), que teve sua implantação realizada em março de 2005, no final do período chuvoso. As plantas cultivadas, devido a restrições provocadas pela seca, não conseguiram um bom desenvolvimento e, a pastagem presente na área é resultante da rebrota destas plantas, que ocorreu com a chegada da chuva, alguns meses depois. Este local apresenta a associação da pastagem com árvores e, representa, tipicamente, um sistema silvopastoril com os componentes arbóreos não cultivados, em área de cerrado. O preparo do solo foi por meio de uma gradagem que teve a função de promover algum grau de escarificação, para favorecer o desenvolvimento inicial das plantas. A realização deste processo, devido a presença das árvores, ocorreu de forma irregular, formando corredores entre as plantas e, algumas vezes, um mesmo local servia como um cruzamento na movimentação da grade. O mesmo procedimento foi usado na aplicação de calcário e adubo, que foram distribuídos a lanço, nos espaços entre as árvores. Foram colocados no solo cerca de 1300 kg de calcário e 300 kg de NPK (10-10-10) por hectare. Também ocorreu a incorporação da vegetação rasteira. Está localizada entre as

seguintes projeções UTM: 187752 W e 8235677 S; 187704 W e 8235777 S; 187881 W e 8235846 S; 187918 W e 8235756 S.



Figura 1 - Área cultivada com *Andropogon gayanus* (AN) na Fazenda Água Limpa, UnB – DF

Área 2 - Pastagem cultivada com a espécie *Andropogon gayanus* (AV) que foi implantada a mais ou menos quinze anos. É uma pastagem antiga que possui a vegetação muito degradada e serve para o pastoreio de ovinos, num sistema de rodízio que impõe uma alta lotação animal. Na área foram realizados diversos tipos de tratos culturais, tais como, roçagens mecanizadas, construção de terraço de base estreita e aplicação de adubos e corretivos, que ocorreu de forma bastante irregular. Situa-se entre as projeções UTM: 186272 W e 8235154 S; 186351 W e 8235196 S; 186310 W e 8235284 S; 186239 W e 8235248 S.



Figura 2 - Área cultivada com *Andropogon gayanus* (AV), na Fazenda Água Limpa, UnB – DF

Área 3 - Pastagem com a espécie *Brachiaria brizantha* cv. marandu (BN) implantada no início de do ano de 2005. É uma área que já possuía um histórico de manejo anterior. Neste local ocorreu, há alguns anos atrás, a retirada de árvores e da vegetação rasteira. O preparo do solo foi realizado com práticas do sistema convencional, com o uso de grade e aplicação de cerca de 1100 kg de calcário e 300 kg de NPK (10-10-10) por hectare. O material da vegetação rasteira anterior foi incorporado ao solo. O início da utilização da área pelos animais ocorreu em maio de 2006. A partir desta data, o capim foi liberado para o pastejo de bovinos, em tempo integral, com 3 UA/ha. Esta área está entre as projeções UTM 187899 W e 8235561 S; 187827 W e 8235712 S; 187978 W e 8235756 S; 187993 W e 8235606 S.



Figura 3 - Área cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (BN) na Fazenda Água Limpa, UnB – DF

Área 4 - Pastagem cultivada com a espécie *Brachiaria decumbens* (BV), com cerca de quinze anos de uso e, com o pasto em estado avançado de degradação. Esta área, antes de ser ocupada pela gramínea, foi submetida a diferentes cultivos. A implantação da pastagem foi pelo sistema convencional. O solo recebeu algum aporte de nutrientes, que foram aplicados com grande irregularidade. É um pasto utilizado por bovinos, em tempo integral, com 1UA/ha, que representa uma alta lotação animal devido às condições da pastagem da área. Está localizada entre as seguintes projeções UTM: 186024 W e 8235344 S; 186196 W e 8235419 S; 186284 W e 8235274 S; 186098 W e 8235186 S.



Figura 4 - Área cultivada com *Brachiaria decumbens* (BV) na Fazenda Água Limpa, UnB – DF

Área 5 - Cerrado nativo (CN) é um solo sob vegetação natural, Cerrado stricto sensu, a princípio, sem a interferência antrópica. Esta área foi utilizada como um parâmetro de comparação dos atributos para os solos cultivados com as pastagens. Suas projeções UTM são: 187704 W e 8235777 S; 187752 W e 8235677 S; 187881 W e 8235846 S; 187918 W e 8235756S.



Figura 5 - Área sob Cerrado nativo, Cerrado stricto sensu, na Fazenda Água Limpa, UnB – DF

As propriedades físicas e químicas do solo foram avaliadas em cinco áreas amostrais, medindo cada uma cerca de quatro hectares. As coletas de solo foram realizadas em duas camadas, de 0-5 cm e 5-20 cm de profundidade. Para a retirada das amostras de solo, em cada gleba, admitiu-se uma linha diagonal imaginária, onde foram marcados três pontos principais, e ao redor de cada um deles, com um raio de 2,5 metros, mais quatro pontos. Obtendo-se o total de quinze pontos coletados por camada.

2.1 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO ESTUDADOS

2.1.1 ATRIBUTOS FÍSICOS

Os indicadores analisados foram:

- Densidade do solo (Ds);
- Porosidade total (Pt);
- Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP).
- Resistência mecânica do solo à penetração vertical (Rp);

As análises dos atributos físicos foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade de Brasília. A análise granulométrica e os indicadores densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) foram analisados conforme especificações do Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997).

- ✓ A análise granulométrica foi determinada pelo método de Bouyoucos;
- ✓ A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico, e as amostras indeformadas foram coletadas com um amostrador do tipo Uhland, de cilindro com o volume igual a 100 cm³;
- ✓ A densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo Método do Balão Volumétrico;
- ✓ A porosidade total (Pt) foi obtida pela fórmula, $Pt = [1 - (Ds / Dp)] * 100$, que utiliza os valores encontrados na densidade do solo (Ds) e na densidade de partículas (Dp);

- ✓ A estabilidade dos agregados foi determinada por via úmida, calculando-se o diâmetro médio ponderado (DMP) pela equação proposta por Youker & McGuiness (1956).

2.1.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS

Os indicadores analisados foram:

- Capacidade de troca de cátions (CTC)
- Matéria orgânica do solo (MOS)

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do solo da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade de Brasília. Foram determinados os seguintes elementos químicos: Cálcio e Magnésio (Ca+Mg), Fósforo (P), Potássio (K), Alumínio trocável (m), Acidez potencial (H+Al) e pH em água e em KCl. As análises seguiram as recomendações do Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997). Foram utilizadas amostras deformadas, coletadas em duas camadas, de cada uma das cinco áreas estudadas.

- ✓ A Capacidade de troca de cátions foi determinada através dos valores da soma de bases (Ca+Mg e K) e da acidez potencial (H+Al);
- ✓ O teor de matéria orgânica foi determinado conforme o método Walkey-Black (Embrapa, 1997), pela obtenção de carbono orgânico na oxidação por via úmida com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 1N) em meio sulfúrico.

2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA E MODELAGEM GRÁFICA

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com três repetições, cada uma sendo a média de cinco subamostras retiradas de cada um dos três pontos da diagonal imaginária. As áreas são representadas nas parcelas e as camadas nas subparcelas. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, pelo programa M START C. Em seqüência, foi realizado o teste de médias pelo teste Tukey a 5% de significância e a correlação linear pelo programa SANEST (Zonta & Machado, 1984).

A avaliação da qualidade dos solos das áreas sob pastagens foi realizada pelo modelo comparativo de qualidade do solo baseado em Araújo (2004). Neste modelo, o ambiente natural conservado do Cerrado nativo foi considerado como referência para os solos estudados. O cálculo foi realizado separadamente para cada comparando-as com o Cerrado nativo, que teve seu valor definido como 100%. Os atributos usados no modelo comparativo foram a densidade do solo, porosidade total, resistência mecânica do solo à penetração, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica, que foram calculados pela expressão:

$$Iz = a + [a * (Sr - Sy) * Sr^{-1} * b]$$

Onde:

Iz = valor do indicador (z) avaliado para um determinado tipo de uso, z = Ds, Pt, Rp, CTC, MOS;

a = 100% / n° de indicadores;

b = 1, se a redução do valor do indicador for considerada desejável;

-1, se o aumento do valor do indicador for considerado desejável;

Sr = valor do indicador avaliado do solo referência (CN);

Sy = valor do indicador avaliado de acordo com o tipo de uso do solo em análise,

y = AN, AV, BN, BV.

Os atributos físicos Ds, Pt e Rp, após serem calculados foram agregados resultando num valor percentual, que juntamente com a CTC e MOS foram colocadas em um diagrama de três eixos para expressar a qualidade do solo de cada área em relação ao Cerrado nativo.

O índice de qualidade do solo (IQS) foi calculado pela expressão:

$$IQS = Ax * Ac^{-1}$$

Ax = Área geométrica formada entre os 3 vértices de atributos no diagrama do modelo para os tipos avaliados, x = AN, AV, BN, BV;

Ac⁻¹ = área geométrica formada entre os 3 vértices de atributos no diagrama do modelo para o Cerrado nativo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS

Os solos que foram avaliados possuem textura argilosa e muito argilosa, com exceção do solo sob braquiária (BN) que apresentou textura média na camada de 0-5 cm e argilosa de 5-20 cm. Já os solos sob AN, AV e BV mostraram-se argilosos na superfície e muito argilosos na subsuperfície. E o Cerrado nativo demonstrou ser muito argiloso nas duas camadas. Os resultados obtidos nas análises das propriedades físicas estão representados no quadro 1.

QUADRO 1 - Médias do teor de argila, da densidade do solo, porosidade total, diâmetro médio ponderado dos agregados e resistência mecânica do solo à penetração em áreas sob pastagens e Cerrado nativo, com diferentes camadas e tempos de uso.

Profundidade (cm)	Áreas				
	⁽¹⁾ (AN)	(AV)	(BN)	(BV)	(CN)
Argila (%)					
0 a 5	53,56 bA	56,20 bA	31,04 bB	51,13 bA	66,41 bA
5 a 20	80,19 aA	67,71 aA	44,99 aB	63,58 aA	76,52 aA
Densidade do Solo, g cm ⁻³					
0 a 5	0,78 aB	0,98 aA	0,99 aA	0,81 aB	0,62 aC
5 a 20	0,74 aBC	0,87 bA	0,88 bA	0,81 aAB	0,66 aC
Porosidade Total, m ³ m ⁻³					
0 a 5	0,69 aAB	0,62 aC	0,62 aC	0,66 aBC	0,74 aA
5 a 20	0,69 aAB	0,63 aC	0,65 aC	0,62 aBC	0,74 aA
Diâmetro Médio Ponderado, m m					
0 a 5	2,90 aA	2,81 aB	2,90 aA	2,92 aA	2,91 aA
5 a 20	2,93 aA	2,68 aB	2,90 aA	2,91 aA	2,92 aA
Resistência Mecânica do solo à Penetração, MPa					
0 a 5	0,25 aC	0,26 aC	0,37 aB	0,59 aA	0,16 aD
5 a 20	0,19 bC	0,25bB	0,25 bB	0,41 bA	0,13 bD

Letras maiúsculas comparam áreas entre colunas e letras minúsculas comparam camadas entre linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%. ⁽¹⁾AN, *Andropogon gayanus*, mais novo; AV, *Andropogon gayanus*, mais velho; BN, *Brachiaria brizantha*, mais nova nova e BV, *Brachiaria decumbens*, mais velha; CN, Cerrado nativo.

De acordo com os resultados apresentados no quadro 1, os atributos físicos analisados indicaram a ocorrência de variações entre as áreas avaliadas indicando que as pastagens foram afetadas, possivelmente, pela cobertura, pelo manejo e tempo de uso. A densidade do solo e a resistência mecânica do solo diferiram entre as áreas e foram mais afetadas na camada de 0 a 5 cm. A porosidade total e o diâmetro médio ponderado dos agregados também manifestaram distinção entre as áreas, porém, não se observou diferença entre as camadas de cada área.

3.1.1 DENSIDADE DO SOLO

Tendo como referência o Cerrado nativo (CN) verifica-se que os maiores valores encontrados para a densidade do solo estão nas áreas com solos sob pastagem de andropogon mais antigo (AV) e braquiária mais nova (BN). As áreas com solo sob andropogon mais novo (AN) e braquiária mais velha (BV), apesar de exibirem valores menores que os das áreas anteriores, também se distinguiram do solo referência, na camada de 0-5 cm. Contudo, na camada de 5-20 cm, a área com BV apresentou densidade semelhante às áreas com AV e BN, bem como, com AN, que por sua vez, mostrou-se menor que estas últimas e, igual ao Cerrado nativo. A figura 6 apresenta a densidade dos solos estudados e permite visualizar que os solos sob andropogon velho (AV) e braquiária nova (BN) são iguais e foram os mais afetados nas duas camadas.

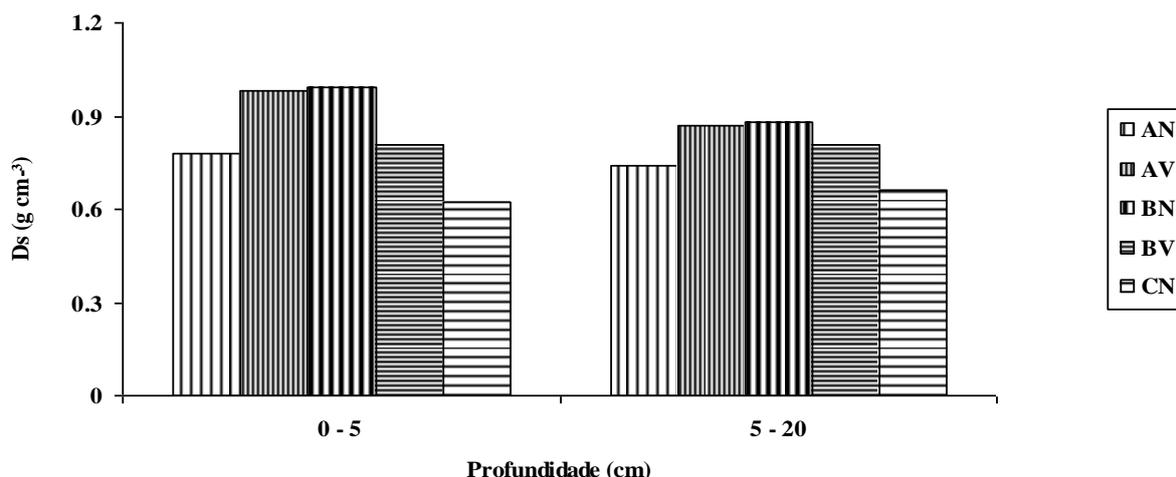


Figura 6 - Densidade do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

O maior aumento na densidade pode ter sido originado pela pressão das máquinas e implementos, e pela pouca cobertura que permitiu a ação mais intensa da chuva e do pisoteio

dos animais. De acordo com Kondo & Dias Junior (1999), o efeito do pisoteio de animais é mais pronunciado nos primeiros 3 cm. Bertol (2006) menciona que o tempo de pastejo, a frequência e a lotação animal, quando realizadas do modo inadequado, tornam o solo mais denso. As densidades mais altas foram cerca de 60 % maiores do que no solo sob Cerrado nativo. Na área com o andropogon velho (AV), o uso de máquinas e implementos nos tratos culturais e o baixo índice de cobertura vegetal, devido a plantas pouco produtivas pela degradação da pastagem, influenciaram no aumento deste atributo. O tipo de gramínea, com hábito de crescimento cespitoso e formando touceiras pouco folhadas pelo desgaste da planta, provocou a exposição de partes do solo, aumentando o impacto de elementos como as gotas de chuva e o tráfego de animais. E os efeitos refletidos na área com braquiária nova (BN) são os resultados da fragilidade deste solo, de textura média, que no ambiente tropical é muito suscetível à erosão (Correia, 2004), principalmente, quando revolvido e submetido a diversas pressões. Este solo, por possuir maior percentual de areia, apresenta, naturalmente, densidade maior que nos solos argilosos (Vieira, 1988). Bem como, da utilização de máquinas e implementos usados na implantação da pastagem que provocaram pressão sob a superfície, quebra e a exposição das partículas, o que favoreceu a ação direta da chuva sobre o solo por algum tempo. No processo de preparo do solo ocorre a influência direta dos implementos agrícolas (Fageria & Stone, 2006), e normalmente, os efeitos são mais pronunciados nas propriedades físicas do solo. Como também, da influência exercida pela alta carga de animais que foi colocada no pasto novo.

As áreas com os solos sob AN e BV são similares e foram afetadas igualmente nas duas camadas. Ao observarmos o solo com andropogon novo (AN) pode-se deduzir que, provavelmente, esta área foi afetada pelo processo de implantação da pastagem, entretanto, as raízes maiores das árvores presentes na área podem ter contribuído, pois o movimento exercido para o seu crescimento promove o deslocamento das partículas e o adensamento do solo. Na área com braquiária velha (BV) era esperado que fosse encontrada a maior densidade entre os solos com pastagens, devido a esta área ter suportado o pastoreio de muitos animais, por vários anos, e ter uma cobertura desgastada pelo consumo e pisoteio excessivo da gramínea. No entanto, apresentou uma densidade intermediária, que pode ter sido devido a resiliência do solo mais antigo, com a contribuição da matéria orgânica formada pelas raízes em grande quantidade. Embora, as aplicações de adubos e corretivos tenham ocorrido de modo irregular, parece ter contribuído com a produção de raízes. A calagem pode melhorar a capacidade produtiva, beneficiar a atividade biológica, que promove a mineralização da matéria orgânica, e conseqüentemente, o desenvolvimento das raízes que podem explorar

maior volume de solo, melhorando as condições do meio (Bernardi et al., 2003), e com isso fornecendo maior proteção às partículas. A *Brachiaria decumbens* é uma espécie produtora de grande quantidade de raízes, que, juntamente com os resíduos fornecidos pelas excreções animais podem ter favorecido na diminuição da densidade neste solo. Segundo Imhoff et al. (2000), a matéria orgânica originada dos resíduos vegetais e animais contribui para reduzir a densidade do solo.

Conforme o quadro 1, os valores observados nas pastagens mais antigas são similares aos encontrados por Araújo et al. (2007) e Neves et al. (2007), em pastagem cultivada por um período semelhante. Embora a densidade dos solos analisados seja maior do que no Cerrado nativo, nenhuma das áreas apresentou o valor considerado como limitante para o desenvolvimento radicular. Segundo Bowem (1981) citado por Camargo & Alleoni (1997), o valor crítico, que a partir do qual podem ocorrer restrições para o crescimento radicular é de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ para solos médios e argilosos. Como as densidades apresentadas estão abaixo do valor crítico, então, conforme Goedert (2005) pode-se inferir que o adensamento apresentado por esses solos está dentro dos níveis de sustentabilidade e não impõe grandes restrições ao crescimento das plantas nas camadas analisadas.

3.1.2 POROSIDADE DO SOLO

Em todas as áreas de pastagens ocorreu uma redução significativa na porosidade quando comparadas ao Cerrado nativo. Os solos refletiram o comportamento inverso da densidade do solo, quanto mais densos, menos espaços vazios são encontrados, assim apresentam as semelhanças de acordo com o atributo citado anteriormente. Os valores de porosidade total observados nos solos das pastagens são similares aos encontrados em pastagens na região do Cerrado por Marchão et al. (2007) e Kondo & Dias Junior (1999). Conforme mostrado na figura 7, a redução na porosidade total provocou efeitos semelhantes na camada de 0 a 20 cm.

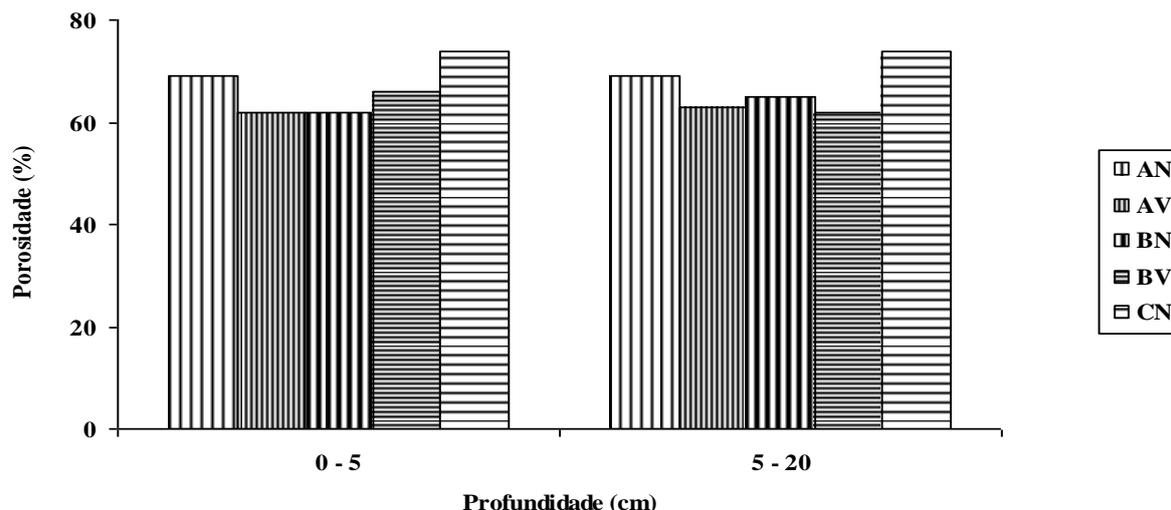


Figura 7 - Porosidade total do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

Estatisticamente, os solos sob andropogon novo (AN) e braquiária velha (BV) sofreram as menores reduções na porosidade entre as pastagens, indicando a existência de maior quantidade de poros favorecidos pelas raízes em decomposição da gramínea e dos arbustos e árvores, assim como, pela matéria orgânica originada dos resíduos animais e da parte aérea das plantas. Em estudos com sistemas agroflorestais, Carvalho et al. (2004) relatou que a contribuição das árvores foi importante na melhor condição daquele ambiente. Contudo, a porosidade do solo sob AN e BV foi afetada pelos mesmos elementos que causaram o aumento na densidade e a deformação da estrutura destes solos, reduzindo a quantidade de poros. Bem como, nos solos sob AV e BN que, como consequência das maiores densidades destes solos, manifestaram as mais baixas porosidades entre as pastagens. A ação da chuva sobre o solo com cobertura degradada e a pressão exercida pelos elementos que tornam os solos mais densos, provocam a redução da porosidade, possivelmente, com efeito, na quantidade, tamanho e continuidade dos macroporos. Esta propriedade varia conforme a textura, profundidade, teor de matéria orgânica, preparo do solo e sistema de cultivo (Fageria & Stone, 2006).

3.1.3 DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO

O diâmetro médio ponderado dos agregados apresentou desigualdade entre as áreas, porém, não foram observadas diferenças nas camadas de cada área. A variação ocorrida entre as áreas ficou por conta de apenas um solo, o sob andropogon velho (AV) que se mostrou

diferente dos outros. Nesta área, as propriedades apresentadas anteriormente manifestaram o maior aumento na densidade e maior redução na porosidade do solo. Na figura 8, o solo sob andropogon velho (AV) foi estatisticamente distinto dos demais, porém, não se observou diferenças entre as suas camadas, indicando que o solo foi afetado igualmente até 20 cm.

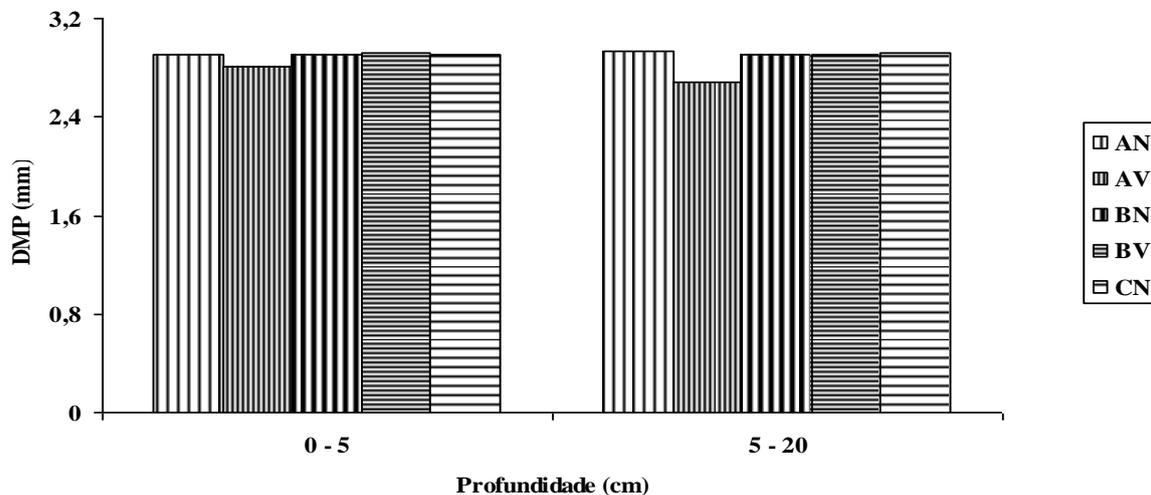


Figura 8 – Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

Este solo, como foi comentado anteriormente, tem uma cobertura de pastagem desgastada pelo tempo de uso, que com o manejo inadequado pode ter ocasionado a ruptura dos agregados. A cobertura do solo e o fornecimento contínuo de material orgânico atuam como agente de formação e estabilização da estrutura do solo (Martins et al., 2002). Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), a matéria orgânica do solo é fundamental na estabilização dos agregados e, esses por sua vez, são condicionadores de importantes propriedades do solo. Entretanto, como as análises estatísticas comprovaram a igualdade no percentual de matéria orgânica entre todos os solos estudados, o menor diâmetro ponderado dos agregados na superfície desse solo pode ser devido à pequena porção de biomassa vegetal da cobertura e a exposição do solo ao impacto mais intenso dos diversos elementos. E o DMP na camada mais profunda pode ter como agente as operações realizadas na época da implantação da pastagem, nos tratos culturais, bem como, os processos pedogenéticos que ocorreu nesta área. Fageria & Stone (2006) citam que a estrutura do solo é que controla a sua funcionalidade, que, quando bem estruturado permite que as raízes possam se expandir e acessar facilmente a água e os nutrientes, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

3.1.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

A resistência mecânica do solo à penetração (R_p) demonstrou diferenças altamente significativa entre as áreas e entre as camadas de cada área. Todos os solos apresentaram-se distintos do Cerrado nativo. As maiores resistências mecânicas do solo foram apresentadas nas áreas com BV e BN. Os solos sob AN e AV mostraram-se semelhantes e tiveram os menores valores numéricos de R_p entre as áreas de pastagens. Na figura 9 podemos verificar que a maior resistência mecânica do solo à penetração ocorreu na camada de 0-5 cm, no solo sob braquiária velha, confirmando que o pisoteio pelos animais provoca a compactação do solo mais próximo da superfície (Kondo & Dias Junior 1999; Moreira et al., 2004).

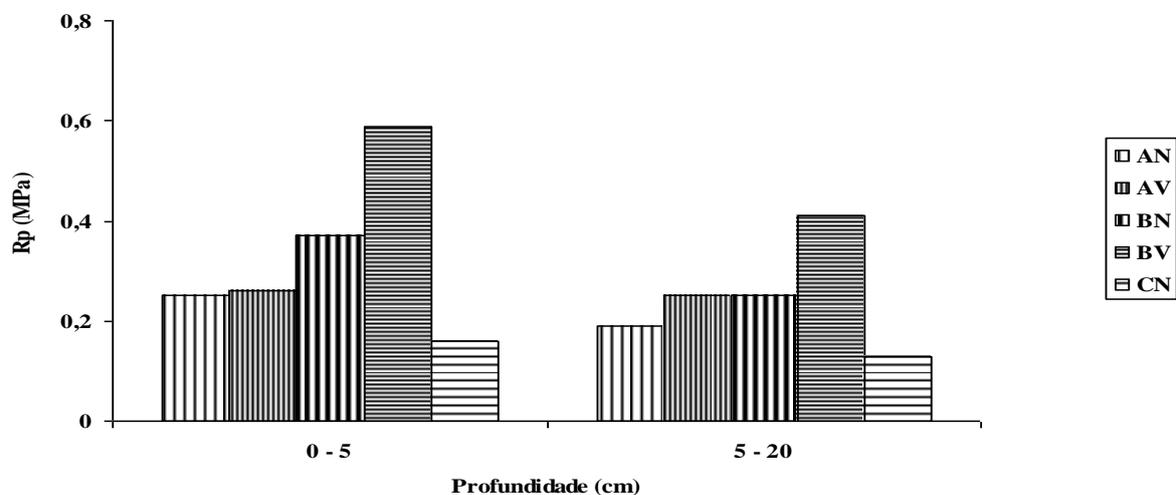


Figura 9 – Resistência mecânica a penetração vertical (R_p) de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

Contudo, na camada de 5-20 cm deste mesmo solo, ocorreu o segundo maior valor numérico entre as pastagens, caracterizando, possivelmente, que o uso da área por mais tempo possibilitou a ação mais abrangente dos fatores que propiciaram ou provocaram maior pressão sob o solo. O histórico dessa área relata a permanência de muitos animais em pastejo contínuo e longo tempo de uso, o que pode ter reduzido drasticamente a vegetação da cobertura do solo e intensificado os efeitos causados pela ação erosiva da chuva e, principalmente, pelo pisoteio dos bovinos. Conforme Carvalho (1976) citado por Imhoff et al. (2000), o impacto promovido pelo pisoteio de bovinos, de 400 kg a 500 Kg, pode provocar uma pressão de 0,49 MPa e atingir a camada de 5 cm a 10 cm.

A resistência mecânica do solo foi o atributo físico que maior variação apresentou entre as áreas e entre as camadas das áreas. O solo sob braquiária nova (BN), na camada de 0-5 cm, mostrou-se mais resistente, evidenciando que este solo, naturalmente mais frágil em

condições de cerrado, foi afetado com maior intensidade pelo processo de implantação e, principalmente, pela alta carga de animais em pastejo. A partir desta camada este solo tem a resistência mecânica reduzida. Segundo Imhoff et al. (2000), a proporção e o tipo das mudanças ocorridas nas características do solo, causadas pelo pisoteio animal, dependem da intensidade do pisoteio, da umidade e do tipo de solo. Os solos sob andropogon novo (AN) e andropogon velho (AV) demonstraram ter semelhança na superfície e apresentaram-se diferentes na camada de 5-20 cm. As duas áreas foram mais afetadas na camada de 0-5 cm, provavelmente, pelos mesmos elementos que causaram o aumento na densidade destes solos, mas, na camada de 5-20 cm, a área com AN sofreu menor efeito que a com AV. Neste caso, o solo sob AN pode ter sido influenciado positivamente pelo maior volume de raízes, menor tempo de uso e, principalmente, pela não ocupação por animais. O Cerrado nativo apresentou valores numéricos de resistência do solo muito baixos, manifestando a ausência de fatores que promovem o maior adensamento do solo, e confirmando sua condição estrutural favorável ao crescimento das raízes.

Conforme Camargo & Alleoni (1997), o processo mais rápido e destrutivo das propriedades do solo é dado por forças externas resultantes do tráfego de animais, veículos, pessoas, assim como, o crescimento de raízes grandes que empurram as partículas para forçar sua passagem. E, observando as modificações ocorridas nos atributos físicos dos solos com pastagens, pode-se inferir que, ao comparar os valores encontrados com aqueles das classes de resistência à penetração de solos e graus de limitação ao crescimento das raízes, citados pelo mesmo autor, não ocorrem restrições físicas que dificultem o crescimento das raízes.

3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS

As propriedades químicas dos solos estudados, apresentadas no quadro 2, mostraram que a capacidade de troca de cátions (CTC) e a matéria orgânica do solo (MOS) foram afetadas pela cobertura e profundidade. Estatisticamente, os valores da CTC apresentaram alguma diferença entre as áreas, porém, a maioria foi semelhante ao Cerrado nativo. Os resultados encontrados para a matéria orgânica dos solos expressaram igualdade entre todas as áreas de pastagens, que foram similares ao Cerrado nativo.

QUADRO 2 – Médias da capacidade de Troca de Cátions e Matéria Orgânica do Solo de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em áreas sob pastagens e Cerrado nativo, com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

Profundidade (cm)	Áreas				
	⁽¹⁾ (AN)	(AV)	(BN)	(BV)	(CN)
CTC, cmol _c dm ⁻³					
0 a 5	10,86 aA	8,18 aB	8,44 aB	9,15 aB	9,00 aB
5 a 20	8,26 bA	7,14 bAB	7,36 bAB	8,17 bA	6,55 bB
Matéria orgânica (%)					
0 a 5	6,11 aA	5,47 aA	6,04 aA	5,84 aA	5,71 aA
5 a 20	4,86 bA	4,94 bA	5,46 bA	5,26 bA	4,88 bA

Letras maiúsculas comparam áreas entre colunas e letras minúsculas comparam camadas entre linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%. ⁽¹⁾AN, andropogon novo de um ano e meio de uso; AV, andropogon velho de quinze anos; BN, braquiária nova de dois anos; BV, braquiária velha de quinze anos; CN, Cerrado nativo.

3.2.1 CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA

Conforme o quadro 2, a capacidade de troca de cátions apresentou uma variação significativa entre as áreas e entre as camadas de cada área. Os solos sob pastagens e o Cerrado nativo mostraram a CTC mais elevada na camada de 0-5 cm, onde, normalmente, os solos apresentam a maior quantidade de matéria orgânica. Nas regiões tropicais a presença da matéria orgânica pode representar uma grande parte da CTC total dos solos (Bayer & Mielniczuk, 1999). Na porção mais superficial, de 0-5 cm, o solo sob AN mostrou o maior valor numérico de CTC, diferenciando-se das áreas com as pastagens AV, BN e BV que, estatisticamente, foram iguais ao Cerrado nativo. Entretanto, na camada de 5-20 cm, foi observada a ocorrência de redução significativa na capacidade de troca de cátions dos solos de todas as áreas, indicando a menor contribuição da matéria orgânica nesta camada. Na figura 10 pode-se constatar a superioridade da CTC do solo sob andropogon novo na camada de 0-5 cm.

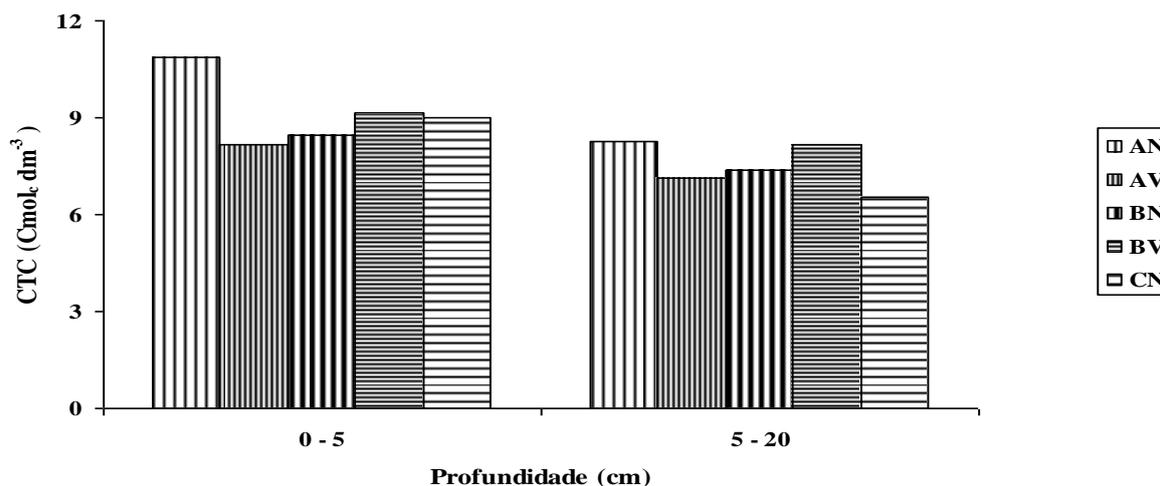


Figura 10 – Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

De acordo com Souza et al., (2004), para este solo que possui uma textura argilosa, na camada de 0-5 cm, a CTC apresentada é considerada boa para os solos do cerrado. A capacidade de troca de cátions mais elevada nesta área pode ter sido influenciada pela matéria orgânica, na camada de 0-5 cm, e pelo maior teor de argila, que, camada de 5-20 cm, se mostrou mais elevado. A matéria orgânica é resultante da incorporação da vegetação rasteira, das raízes em decomposição e dos resíduos depositados pela parte aérea das plantas. Os principais fatores que afetam a CTC dos solos tropicais são: textura, quantidade e tipo de argila, e, principalmente, o teor de matéria orgânica (Fageria & Stone, 2006). Os componentes orgânicos são importantes para o reabastecimento da solução do solo com nutrientes, que, depende intimamente do complexo de troca (Primavesi, 2002). E os principais elementos responsáveis pela troca de cátions nos solos tropicais são a caolinita, os óxidos de ferro e alumínio, e a matéria orgânica do solo (Rajj, 1991).

Por outro lado, na camada de 5-20 cm, as áreas com pastagens demonstraram possuir CTC estatisticamente semelhantes. Sendo que AN e BV são mais elevadas do que CN e, AV e BN similares a este. Contudo, se observados pela textura muito argilosa, dos solos sob AN, AV e BV, a CTC é baixa e, é média para o solo sob BN, de textura argilosa (Souza et al., 2004). E segundo o mesmo autor, o Cerrado nativo, com textura muito argilosa, possui uma CTC baixa nas duas camadas. A redução ocorrida na CTC entre as camadas das áreas, possivelmente, foi devido a menor quantidade de raízes presentes nesta camada e a diminuição no teor de matéria orgânica advindo da superfície. Nos Latossolos distróficos, a fração mineral é muito pobre e a maior parte de suas cargas negativas são acrescentadas ao solo pela matéria orgânica. A Caolinita, o mineral presente nestes solos, possui uma CTC

baixa, entre 3-5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, enquanto as substâncias húmicas, entre 400 a 1400 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. A contribuição da MOS na CTC total dos solos é tanto maior quanto menor for a contribuição da fração mineral (Canellas et al., 1999).

3.2.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A matéria orgânica apresentou tendência semelhante a da CTC, indicando os maiores valores na camada de 0-5 cm e os menores na camada de 5-20 cm. Entre as áreas não se observou diferenças, no entanto, ocorreu desigualdade com alta significância entre camadas de cada área. A matéria orgânica foi afetada em profundidade pela influência do teor dos constituintes orgânicos e minerais do solo. A figura 11 mostra que as áreas com as maiores diferenças no teor de MOS, entre as camadas, foram os solos sob andropogon novo (AN) e o Cerrado nativo (CN), que apresentaram reduções de 24% e 27%, respectivamente, na segunda camada.

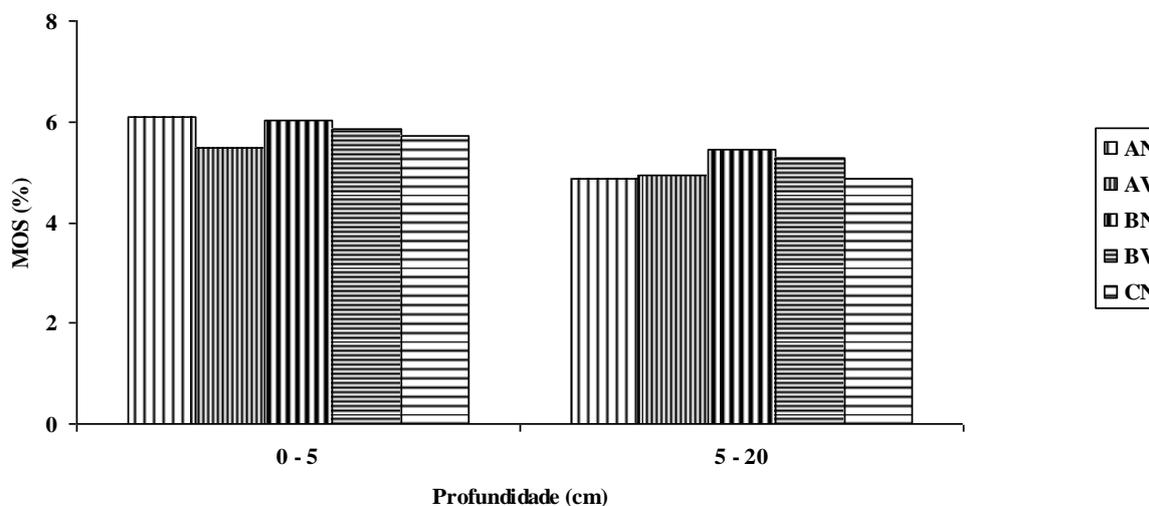


Figura 11 – Matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

As outras áreas demonstraram diminuições entre as camadas menores que 13%. Segundo Mielniczuk (1999), nas regiões tropicais e subtropicais, o teor de matéria orgânica nos solos nativos, com seu estado natural estável, pode servir como referência para solos manejados de diversas formas.

Os maiores valores apresentados nas áreas com pastagens, na camada de 0-5 cm, representam a matéria orgânica fornecida pelas raízes da gramínea, mais expressivas nesta camada pela liteira, que é enriquecida com grande quantidade de resíduos da parte aérea das

plantas. E no Cerrado nativo, as raízes da vegetação rasteira que se desenvolvem mais próximo da superfície, das plantas maiores e, principalmente, pela abundância dos resíduos que caem sobre o solo. Entretanto, a maior redução da matéria orgânica na área com andropogon novo (AN) e com Cerrado nativo, em relação à camada de 5-20 cm, pode ser resultante da menor quantidade de resíduos e raízes que, normalmente, atinge esta profundidade. Que, se comparada com a superfície destas áreas, as quais recebem elevada deposição dos restos da vegetação mais abundante da parte aérea, apresenta-se em quantidade bem reduzida nesta camada. Cerca de 40 a 50% do carbono do solo pode ser armazenado até 30 cm (Salton et al., 2005), mas, geralmente, os teores mais elevados estão bem próximos da superfície.

As pastagens que apresentaram as menores reduções na camada de 5-20 cm podem ter como fatores contribuintes a incorporação da vegetação rasteira e, conseqüentemente, a homogeneização das camadas pelo preparo do solo por ocasião da implantação da pastagem na área mais nova e pela incorporação de maior quantidade de raízes nas áreas mais velhas.

A diferença observada entre as camadas de cada área já era esperada, pois a maior parte das raízes das gramíneas e boa quantidade de matéria orgânica, fornecida pelos resíduos da parte aérea das plantas, acumula-se próximo da superfície. A semelhança no teor de matéria orgânica entre as áreas de pastagens e o Cerrado nativo deve-se ao comportamento das gramíneas, que, são excelentes produtoras de biomassa vegetal. Braz et al. (2004) analisando o carbono orgânico do solo, encontrou em pastagens de braquiária, com 5 e 18 anos de uso contínuo pelos animais, o conteúdo de matéria orgânica nos solos maior que na mata nativa.

3.3 CORRELAÇÃO LINEAR DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Os valores das correlações entre as propriedades do solo estão apresentados no quadro 3. Dentre os resultados encontrados para os atributos físicos e químicos foi observada a ocorrência de correlações significativas e altamente significativas que exerceram influência de forma direta e inversa.

QUADRO 3 – Matriz de Correlação Linear para atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em áreas sob pastagens e cerrado nativo, com diferentes tempos de uso, em duas camadas.

VAR ⁽¹⁾	RP	D M P	ARG	MO	CTC
D s	0,38**	-0,36*	-0,60**	0,11	-0,02
RP	----	0,08	-0,32	0,23	0,32
D M P	----	----	-0,73	0,18	0,17
ARG	----	----	----	-0,45*	-0,25
pH	----	----	----	-0,09	-0,20
MO	----	----	----	----	0,71**

** , * Significância de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. ⁽¹⁾ densidade do solo - Ds (g cm⁻³), diâmetro médio ponderado - DMP (mm), resistência mecânica do solo à penetração - Rp (MPa), argila - ARG (%), pH em KCl - pH, matéria orgânica - MO (%) e capacidade de troca de cátions - CTC (cmol_c dm⁻³).

A correlação linear realizada entre as propriedades físicas e químicas mostrou que houve uma relação altamente significativa e direta entre os seguintes atributos: Ds x Rp e MO x CTC, e inversa entre Ds x ARG. Seguida pela correlação significativa e inversa com as propriedades Ds x DMP, e ARG x MO.

De acordo com Gonçalves e Gonçalves (1985) citado por Guerra e Liveira (1999), as correlações apresentaram intensidade fraca e forte. A correlação média, fraca, altamente significativa, que ocorreu entre a densidade e a resistência mecânica do solo à penetração indica que pode ter sido influenciada pela maior densidade encontrada nas áreas com braquiária, que contribui de modo significativo para o aumento da resistência do solo. Com os solos mais densos devido à textura média da braquiária mais nova, e pressão exercida pelas máquinas e implementos, bem como, pela alta carga de animais, formou-se uma camada mais resistente nas duas áreas, porém, nas camadas avaliadas, este impedimento não é restritivo ao desenvolvimento das plantas. O arranjo das partículas e a pressão exercida no solo por

diversos fatores provocam o aumento da densidade que, pode aumentar a resistência do solo e, conseqüentemente, atingir certo grau de compactação (Araújo et al., 2007).

A correlação forte e altamente significativa que ocorreu entre a matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions evidenciou a contribuição muito significativa que a MOS fornece a CTC destas áreas de pastagens. Nos solos tropicais, pobres em nutrientes, constituídos por argilas do tipo 1:1 como a caolinita, e óxidos de ferro e alumínio como os da região do cerrado, recebem uma grande contribuição da matéria orgânica do solo. A maior parte das cargas negativas do complexo de troca é fornecida pela fração orgânica do solo (Silva & Resck, 1997).

A correlação forte e altamente significativa da densidade do solo com a argila mostrou que o menor teor de argila encontrado na área com braquiária nova, e conseqüentemente, maior quantidade de areia (Vieira, 1988), exerceu grande influência na alta densidade desta área. Os solos iguais a este, em regiões tropicais são altamente suscetíveis à erosão, com conseqüências, principalmente, nos atributos físicos do solo.

A correlação baixa e significativa entre a densidade do solo e o diâmetro médio ponderado demonstrou que a menor agregação encontrada na área com AV teve uma pequena contribuição no aumento da densidade desta área, porém não influenciou diretamente na resistência mecânica do solo. O sistema de manejo nessa área influenciou negativamente a agregação do solo. A cobertura do solo e o fornecimento contínuo de material orgânico atuam como agente de formação e estabilização dos agregados (Martins et al., 2002), propiciando a redução no adensamento do solo.

A correlação baixa e significativa entre a argila e a matéria orgânica indicou a diferença no teor dos dois componentes em relação a profundidade do solo. As áreas avaliadas apresentaram na camada superficial menor teor de argila e maior quantidade de matéria orgânica e, na camada de 5-20 cm, aumenta o teor de argila e reduz a matéria orgânica. Isto ocorre, normalmente, pois a maior parte da MOS é formada pela grande quantidade de raízes que se encontram na camada mais próxima da superfície. Entretanto, na área com BN, devido à melhor homogeneização do solo pela aração e gradagem, estes dois componentes mostram pouca diferença na influência que exerceram, confirmando assim a baixa correlação apresentada.

3.4 MODELO COMPARATIVO E ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO (IQS)

Os diagramas do modelo comparativo de qualidade do solo entre as áreas de pastagens e o Cerrado nativo apresentados na figura 12, demonstram que ocorreram algumas influências negativas nos solos com pastagens, que podem ser consequência do tempo de uso e do manejo administrado.

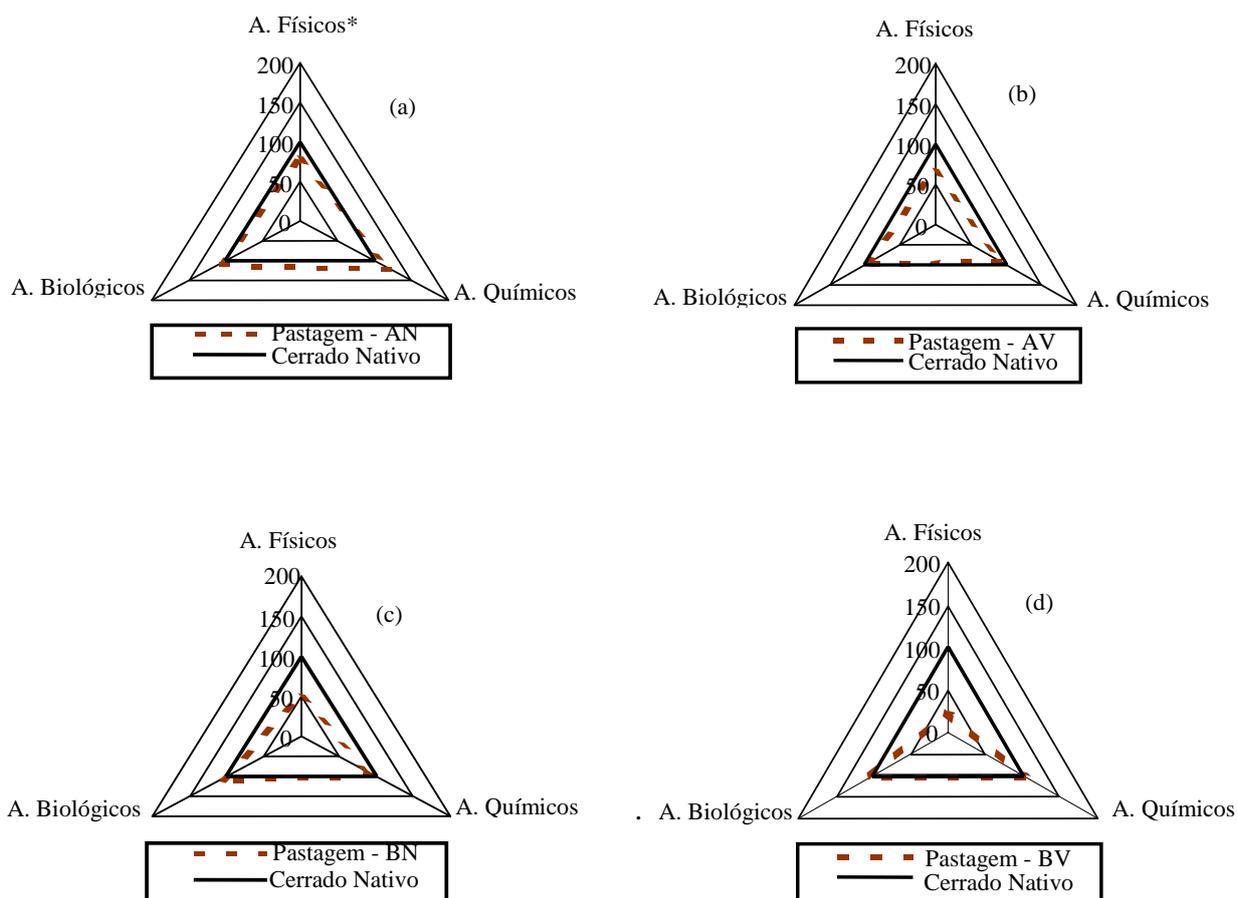


Figura 12 – Diagramas comparativos da qualidade do solo entre o Cerrado nativo e as áreas com as seguintes pastagens: (a) andropogon novo, AN; (b) andropogon velho, AV; (c) braquiária nova, BN; (d) braquiária velha, BV. *Atributos físicos (Ds, Pt e Rp), Capacidade de troca de cátions (CTC) e matéria orgânica do solo (MOS).

A figura 12 mostra que os atributos químicos CTC e MOS das áreas de pastagens possuem qualidade semelhante aos mesmos atributos do solo sob Cerrado nativo, o que, provavelmente, deve-se a expressiva produção de resíduos vegetais pelas gramíneas que propiciam o teor elevado de matéria orgânica e com isso, apresentam uma CTC igual ao Cerrado nativo. O solo sob AN que, em relação a este último, manifestou uma CTC maior, pode indicar a influência da adubação mineral usada no preparo do solo. Segundo Martha Junior et al. (2006), o significativo aumento no teor de matéria orgânica, em solos vegetados

por pastagens, melhora a capacidade química do solo, em razão do maior potencial de liberação de nutrientes pela mineralização da matéria orgânica do solo.

O diagrama apresentado na figura 12a demonstra que a área com o solo sob AN apresenta os atributos físicos inferiores aos do Cerrado nativo. Os valores mais baixos nesses atributos, possivelmente, foram influenciados pelos efeitos do processo de implantação da pastagem. Contudo, o maior fornecimento de resíduos orgânicos pelas árvores, vegetação rasteira e a gramínea, pode ter contribuído com a melhor conservação da estrutura do solo em relação às outras áreas com pastagens. Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), o aumento da matéria orgânica é fundamental para as propriedades físicas do solo. O IQS nesta área foi 0,83, apresentando-se superior as demais pastagens.

O diagrama 12b representa a área com andropogon velho (AV), onde os atributos físicos apontaram maior alteração que na área citada anteriormente, confirmando a influência negativa exercida pelo pisoteio dos animais, pelas máquinas e equipamentos usados nos tratos culturais, e pelo maior tempo de uso. O IQS calculado para esta área é de 0,62.

De acordo com o diagrama 12c, pode-se verificar que o solo sob braquiária nova (BN) demonstrou que ocorreram modificações acentuadas nos seus atributos físicos, provocando um IQS de 0,51, cerca de 50% inferior ao IQS do Cerrado nativo. E, segundo a exposição do último diagrama, 12d, o solo com a pastagem de braquiária velha (BV) apresentou o menor índice de qualidade entre todas as áreas, 0,23, indicando que os atributos físicos foram bastante alterados pelo tempo e condições de uso.

Após as observações relatadas sobre o comportamento do solo das áreas avaliadas, pode-se inferir que os atributos físicos foram os mais afetados e, que estes são os maiores responsáveis pela redução na qualidade destes solos. De modo geral, o processo de implantação, os tratos culturais com o uso de máquinas e implementos, e a permanência dos animais nas áreas por longo tempo foram os principais fatores que promoveram as alterações no solo. Entre todas as áreas com pastagens, os índices de qualidade mais elevados estão representados nos solos das duas áreas com andropogon. A gleba com AN foi a que manifestou as melhores condições físicas e o solo sob BV as piores, quando comparados ao Cerrado nativo. Os diversos fatores que agiram nas áreas de pastagens contribuíram de maneira distinta na redução da qualidade do solo. As duas pastagens mais antigas, AV e BV tiveram o seu solo alterado por elementos semelhantes, porém, no solo sob andropogon velho, os tratos culturais e a manutenção da fertilidade beneficiaram os seus atributos, que promoveram melhor qualidade do solo em relação a área com braquiária velha.

A densidade do solo, a porosidade total e a resistência mecânica do solo à penetração foram as propriedades que mais contribuíram para a redução na qualidade das áreas. Dentre estes atributos, a resistência mecânica do solo à penetração, mostrou grande influência no IQS das áreas sob braquiária, resultando em efeitos mais negativos na área de braquiária com maior tempo de uso.

Esta propriedade do solo, em geral, com o passar do tempo, tende a ser mais afetada pela continuidade da ação dos diversos elementos, e com isso, aumenta os efeitos sobre as camadas do solo gerando um processo de compactação.

A compactação do solo é um dos fatores responsáveis pela perda de produtividade em áreas de pastagens. O uso exagerado de implementos e máquinas agrícolas, seja no processo de preparo ou nos tratos culturais, aliado a elevada lotação de animais, que, com o alto consumo e excessivo pisoteio destroem a vegetação e, a ação da chuva no solo descoberto, são fatores que podem provocar a desestruturação do solo em pouco tempo. A intensidade dos efeitos negativos depende da umidade contida no solo na ocasião da pressão exercida pelas máquinas ou pelos animais, da quantidade e forma vegetal existente na área, do tipo de animal e da pressão de pastejo. Assim como, das propriedades do solo, em especial, da textura e do teor de matéria orgânica. A degradação mecânica do solo, normalmente, provoca a formação de duas camadas distintas, uma decorrente da pulverização das partículas, que resulta no selamento superficial, e a outra pela compactação na subsuperfície, que forma o pé-de-grade ou pé-de-arado. Os solos com camadas compactadas apresentam baixa infiltração de água, ocorrência de escoamento superficial e estrutura mais densa com a redução da porosidade. Onde, primeiramente, os macroporos são afetados, ocasionando raízes deformadas e superficiais por falta de espaço e elementos essenciais para o seu crescimento. A redução dos poros limita a exploração maior do solo pelas raízes e dificulta o acesso a água, ao ar e aos nutrientes pelas plantas.

Para melhorar as condições destes solos, procura-se diminuir a sua resistência através do rompimento da camada compactada que, geralmente, é realizado por implementos como os escarificadores e os subsoladores, que provocam a quebra e o afrouxamento da estrutura compacta formada no perfil. Entretanto, a efetividade dessa prática está condicionada ao manejo adotado após a descompactação, que deve ser por meio de práticas conservacionistas baseadas na melhoria da capacidade de uso do solo. A manutenção das boas condições estruturais pode ser alcançada através de um manejo que possa promover a redução da intensidade de preparos do solo ou tratos culturais que provocam a exposição dos grumos; o cultivo de plantas com alta produção de biomassa e com sistema de raízes abundante e

agressivo; o manejo animal de acordo com a oferta de forragem e com a preservação da vegetação, possibilitando boas condições de rebrote das plantas. A biomassa produzida pela parte aérea das gramíneas age como protetora das partículas superficiais do solo, que, com bom desenvolvimento forma uma cobertura mais espessa e reduz os impactos das gotas de chuva e a pressão exercida pelos cascos dos animais. Por outro lado, com a cobertura rala são intensificados os danos causados ao solo, principalmente, pela chuva, que desagrega as partículas e transporta sedimentos por salpicamento e, com isso, acentua o processo erosivo, carregando, pelo escoamento superficial, grande quantidade de solo e nutrientes para outros locais.

A preservação de cobertura sobre a superfície do solo diminui a erosão e aumenta o teor de matéria orgânica, que pode melhorar a estabilidade da estrutura e os níveis de fertilidade do solo, contribuindo com o restabelecimento da pastagem. Segundo Bertol et al. (2006), as forrageiras que crescem prostradas, mais próximas e com maior distribuição sobre a superfície, promovem melhores efeitos protetores do que aquelas com desenvolvimento ereto, formando touceiras.

Contudo, sistemas de manejo que possam melhorar a qualidade do solo são importantes no processo de recuperação e manutenção de áreas degradadas. Geralmente, são práticas que apresentam baixo grau de mobilização, cobertura mais expressiva e priorizam o aumento da matéria orgânica. Atuam na minimização do processo erosivo, obtendo como resultado o aumento da infiltração da água e a redução do escoamento superficial. E, entre os sistemas sustentáveis, pode-se citar o plantio direto, a integração Lavoura-pecuária e os sistemas agroflorestais, onde são adotados tipos de manejos que visam a boa qualidade do solo. No plantio direto, como pontos mais positivos, tem-se a contribuição do aumento dos restos vegetais que beneficia os atributos físicos, químicos e os microrganismos do solo. Enquanto, no sistema Lavoura-pecuária, a maior oferta de nutrientes advindos das lavouras melhora o desenvolvimento das gramíneas, que por sua vez, aumentam a quantidade de matéria orgânica. E por fim, no agroflorestal, a maior exploração do solo pelas raízes das árvores mais profundas favorece a translocação mais efetiva dos nutrientes, pelo maior alcance e melhor estrutura física do solo promovida pelos diversos tipos e tamanhos de raízes.

A melhor qualidade do solo sob pastagens proporciona um ambiente mais estável, criando condições adequadas para aumentar a produtividade destes sistemas.

4 CONCLUSÃO

1 Em relação ao Cerrado nativo, as áreas com pastagens apresentaram reduções na qualidade do solo. O índice de qualidade do solo (IQS) foi de 0,83, 0,62, 0,51 e 0,23, respectivamente, para as áreas sob pastagens de andropogon novo (AN), andropogon velho (AV), braquiária nova (BN) e braquiária velha (BV);

2 O índice de qualidade do solo (IQS) de 0,83, sugere que áreas de pastagens menos perturbadas apresentam boa qualidade;

3 O índice de qualidade do solo (IQS) de 0,23, reflete um grau elevado de degradação verificado visualmente pelo aspecto da pastagem;

4 Os atributos físicos que mais influenciaram na redução da qualidade do solo foram: densidade do solo, porosidade do solo e resistência mecânica do solo, sendo este último o que mais contribuiu na redução da qualidade da área, com a braquiária velha (BV), mais afetada pelo sistema de manejo e pelo tempo de uso;

5 A resistência mecânica do solo à penetração foi um atributo que refletiu bem a qualidade do solo e, é de fácil aplicabilidade em condições de campo;

6 Os atributos químicos foram pouco afetados pelo uso do solo para pastagens.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. Avaliação da Qualidade do Solo em Diferentes Usos. Brasília. Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias. Universidade de Brasília, 2004. 77p.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J. & LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. R. Bras. Ci. Solo, 31: 1099 -1108, 2007.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da Matéria. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.

BERTOL, I.; MAFRA, A. L. & COGO, N. P. Conservação do solo em pastagens. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C.; SILVA, S. C. & FARIA, V. P., eds. As Pastagens e o Meio Ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.139-163.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R. LEANDRO. W. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E. & CARVALHO, M. C. S. Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados. Ro de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22p. (Embrapa Solos. Documentos; n. 46, ISSN 1517-2627)

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. & BODDEY, R. M. Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo “input” tecnológico na região dos Cerrados. Embrapa, 2004. (Circular Técnica, ISSN 1519-7328, 9)

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, ESALQ, 1997. 132p.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. & AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 69-89.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J. & ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade um solo sob sistema agroflorestal. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

CASALINHO, H. D. & MARTINS, S. R. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade em agroecossistemas: avaliações integrando os conhecimentos acadêmicos e não-acadêmicos. In: CANUTO, J. C. & COSTABEBER, J. A. *Agroecologia: conquistando a soberania alimentar*. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p.212-225.

CORREIA, J. R.; REATTO, A. & SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. IN: SOUZA, D. M. G. & LOBATO, E., eds. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2ª Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnológica, 2004. p.29-61.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de pesquisa de solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FAGERIA, N. K. & STONE, L. F. *Qualidade do solo e meio ambiente*. Santo Antônio de Goiás; Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Documento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644, 197)

GOEDERT, W. Qualidade do solo em Sistema de Produção Agrícola. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. SBCS, v.1, p.1-200.

GUERRA, N. B. & LIVEIRA, A. V. S. Correlação entre o perfil sensorial e determinações físicas e químicas do abacaxi cv. Pérola. *Rev. Bras. de Fruticultura*, Cruz das Almas, v. 21, n.1, p.32-35, 1999.

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

KONDO, M. K. & DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. R. Bras. Ci. Solo, 23: 211-218, 1999.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P. & ALCARDE, J. C. Adubos e Adubações. São Paulo, Nobel, 2002. 200p.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.42, n.6, p.873-882, 2007.

MARTHA JUNIOR, G. B.; BARCELLOS, A. O.; VILELA, L. & SOUZA, D. M. G. Benefícios econômicos e ambientais da integração lavoura-pecuária. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 26p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 154)

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. & FERREIRA, M. M. Avaliação dos atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. CERNE, v. 18, n. 1, p.32-41, 2002.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a Sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-7.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M. & STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo vermelho distrófico sob pastagem recuperada e degradada. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 20p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Arroz e feijão, ISSN 1678-9601; 9)

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M. & SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. Scientia Florestalis, n.74, p.45-53, 2007.

PACIULLO, D. S. C.; AROEIRA, L. J. M. & PIRES, M. DE F. A. Sistemas silvopastoris para a produção de leite. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. DE; SILVA, S. C. DA;

FARIA, V. P., eds. As Pastagens e o Meio Ambiente: Anais do 23º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p.327-352.

PALMIERI, F. & LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B., orgs. Geomorfologia e Meio Ambiente. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.59-122.

PRIMAVESI, A. Manejo Ecológico do Solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo, Nobel, 2002. 549p.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Ceres, Potafos, 1991. 343p.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M. & CONCEIÇÃO, P. C. Matéria Orgânica do Solo na interação Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados. Embrapa Agropecuária Oeste; Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, 2005. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 29) 58p.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. de O. & BEZERRA, H. S. Área e distribuição espacial de pastagens cultivadas no Cerrado brasileiro. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 21 p. (Embrapa Cerrados, Boletim de Pesquisa, 3)

SANTANA, D. P. A agricultura e o Desafio do Desenvolvimento Sustentável. Sete Lagoas, MG, 2005. Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento (Comunicado Técnico 132. ISSN 1679-0162)

SILVA, J. E. & RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M. Biologia dos solos do cerrados. Planaltina, Embrapa, 1997. p.465-524.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. & REIN, T. M. Adubação com fósforo. IN: SOUZA, D. M. G. & LOBATO, E., eds. Cerrado: correção do solo e adubação. 2ª Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação e Tecnológica, 2004. p.147-167

VIEIRA, L. S. Manual da Ciência do Solo: com ênfase aos solos tropicais. 2ª Ed. São Paulo. Agronômica Ceres, 1988. 464p.

ZONTA, E. P. & MACHADO, A. A. SANEST – Sistema de Análise Estatística. Campinas. Instituto Agronômico de Campinas – IAC, 1984.

YOUKER, R. E. & MCGUINNESS, J. L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregates of soil. Soil Science, v. 83, p. 291-294, 1956.

ANEXOS

ANEXO 1 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Argila (ARG) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	4015,086	1003,772	18,6967**	0,0001
Resíduo	10	536,871	53,687		
Profundidade	1	742,220	742,220	18,1289**	0,0017
Trat*Prof	4	1197,732	299,433	7,3137**	0,0051
Resíduo	10	409,412	40,941		
Total	29	6901,322			

Coeficiente de variação – 10,82%; ** - Significância a 1%.

ANEXO 2 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a Densidade do Solo (Ds) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	0,361	0,090	72,1373**	0,0000
Resíduo	10	0,013	0,001		0,0070
Profundidade	1	0,015	0,015	11,4224**	0,0214
Trat*Prof	4	0,025	0,006	4,7112*	
Resíduo	10	0,013	0,001		
Total	29	0,426			

Coeficiente de variação – 4,44%; **, * - Significância a 1% e 5%; respectivamente.

ANEXO 3 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Porosidade Total (PT) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	593,191	148,298	17,6232**	0,0002
Resíduo	10	84,149	8,415		
Profundidade	1	0,163	0,163	0,0121 ns	
Trat*Prof	4	43,931	10,983	0,8147 ns	
Resíduo	10	134,808	13,481		
Total	29	856,242			

Coeficiente de variação – 5,52%; ** - Significância a 1%; ns- não significativo.

ANEXO 4 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para o Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) analisado nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	0,135	0,034	15,1289**	0,0003
Resíduo	10	0,022	0,002		
Profundidade	1	0,004	0,004	1,2737 ns	0,2854
Trat*Prof	4	0,026	0,006	2,2474 ns	0,1364
Resíduo	10	0,029	0,003		
Total	29	0,215			

Coeficiente de variação – 1,85%; ** - Significância a 1%; ns- não significativo.

ANEXO 5 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Resistência mecânica do solo a penetração (RP) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	0,408	0,102	25,1450**	0,0000
Resíduo	10	0,041	0,004		
Profundidade	1	0,049	0,049	94,4580**	0,0000
Trat*Prof	4	0,033	0,008	15,9581**	0,0002
Resíduo	10	0,005	0,001		
Total	29	0,536			

Coeficiente de variação – 7,99%; ** - Significância a 1%;

ANEXO 6 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável CTC a pH 7,0 (T) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	15,363	3,841	10,2349**	0,0015
Resíduo	10	3,753	0,375		
Profundidade	1	19,976	19,976	92,8914**	0,0000
Trat*Prof	4	4,041	1,010	4,6982**	0,0215
Resíduo	10	2,150	0,215		
Total	29	45,283			

Coeficiente de variação – 5,58%; ** - Significância a 1%.

ANEXO 7 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Matéria Orgânica (MO) analisada nos tratamentos estudados

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	1,121	0,280	0,8203 ns	
Resíduo	10	3,417	0,342		
Profundidade	1	4,264	4,264	22,0260**	0,0009
Trat*Prof	4	0,537	0,134	0,6932 ns	
Resíduo	10	1,939	0,194		
Total	29	11,275			

Coeficiente de variação – 8,06%; ** - Significância a 1%; ns- não significativo.

ANEXO 8 – Índice de qualidade do solo nas áreas com pastagens e Cerrado nativo, com diferentes tempos de uso.

ÁREAS	IQS ⁽¹⁾
Cerrado nativo - CN	1,0
Pastagem de andropogon - AN	0,83
Pastagem de andropogon - AV	0,62
Pastagem de braquiária - BN	0,51
Pastagem de braquiária - BV	0,23

⁽¹⁾ Índice de qualidade do solo.

ANEXO 9 – Valores de pH em água e em KCl encontrados nos solos das pastagens e do cerrado nativo, em duas camadas.

ÁREAS	Profundidade (cm)	pH em H ₂ O	pH em KCl
Cerrado nativo – CN	0 - 5	5,07	4,07
	5 - 20	5,25	4,29
Pastagem de andropogon - AN	0 - 5	5,26	4,15
	5 - 20	5,24	4,23
Pastagem de andropogon - AV	0 - 5	6,11	4,94
	5 - 20	6,08	4,89
Pastagem de braquiária - BN	0 - 5	5,84	4,83
	5 - 20	5,65	4,77
Pastagem de braquiária - BV	0 - 5	6,02	4,84
	5 - 20	5,93	4,72

ANEXO 10 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável pH (H₂O) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	4,246	1,061	17,1775**	0,0002
Resíduo	10	0,618	0,062		
Profundidade	1	0,006	0,006	0,5674ns	
Trat*Prof	4	0,110	0,028	2,5327 ns	0,1064
Resíduo	10	0,109	0,011		
Total	29	5,088			

Coefficiente de variação – 1,85%; ** - Significância a 1%; ns- não significativo.

ANEXO 11 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável pH (KCl) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	3,036	0,759	32,5319**	0,0000
Resíduo	10	0,233	0,023		
Profundidade	1	0,002	0,002	0,1880 ns	
Trat*Prof	4	0,102	0,025	2,9629 ns	0,0745
Resíduo	10	0,086	0,009		
Total	29	3,459			

Coefficiente de variação – 2,03%; ** - Significância a 1%; ns- não significativo.

ANEXO 12 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Cálcio e Magnésio (CaMg) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	20,826	5,207	19,7387**	0,0001
Resíduo	10	2,638	0,264		
Profundidade	1	1,532	1,532	6,9598*	0,0248
Trat*Prof	4	1,003	0,251	1,1391 ns	0,3925
Resíduo	10	2,202	0,220		
Total	29	28,201			

Coefficiente de variação – 36,91%; **, * - Significância a 1% e 5%, respectivamente; ns- não significativo

ANEXO 13 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Alumínio (Al) analisada nos tratamentos estudados

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	3,201	0,800	37,779**	0,0000
Resíduo	10	0,212	0,021		
Profundidade	1	0,103	0,103	10,308**	0,0093
Trat*Prof	4	0,255	0,064	6,359**	0,0082
Resíduo	10	0,100	0,010		
Total	29	3,871			

Coefficiente de variação – 26,38%; ** - Significância a 1%.

ANEXO 14 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável acidez potencial (H+Al) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	41,084	10,271	18,3183**	0,0001
Resíduo	10	5,607	0,561		
Profundidade	1	8,845	8,845	24,4366**	0,0006
Trat*Prof	4	11,766	2,941	8,1259**	0,0035
Resíduo	10	3,620	0,362		
Total	29	70,922			

Coefficiente de variação –8,89%; ** - Significância a 1%.

ANEXO 15 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Potássio (K) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	7306,224	1826,556	13,8032**	0,0004
Resíduo	10	1323,286	132,329		
Profundidade	1	1422,661	1422,661	51,8649**	0,0000
Trat*Prof	4	1995,602	498,900	18,1881**	0,0001
Resíduo	10	274,301	27,430		
Total	29	12322,074			

Coefficiente de variação – 14,31%; ** - Significância a 1%.

ANEXO 16 - Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Fósforo (P) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	3,116	0,779	4,9925**	0,0179
Resíduo	10	1,560	0,156		
Profundidade	1	1,125	1,125	12,8644**	0,0050
Trat*Prof	4	1,339	0,335	3,8265**	0,0388
Resíduo	10	0,875	0,087		
Total	29	8,014			

Coefficiente de variação – 43,81%; ** - Significância a 1%.

ANEXO 17 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável CTC efetiva (t) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	12,111	3,028	13,9119**	0,0004
Resíduo	10	2,176	0,218		
Profundidade	1	3,434	3,434	17,6167**	0,0018
Trat*Prof	4	0,201	0,050	0,2577 ns	
Resíduo	10	1,949	0,195		
Total	29	19,871			

Coefficiente de variação – 24,17%; ** - Significância a 1%; ns - não significativo.

ANEXO 18 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Soma de Bases (SB) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	27,012	6,753	20,1005**	0,0001
Resíduo	10	3,360	0,336		
Profundidade	1	3,367	3,367	19,3893**	0,0013
Trat*Prof	4	0,970	0,242	1,3958 ns	0,3038
Resíduo	10	1,736	0,174		
Total	29	36,445			

Coefficiente de variação – 28,55%; ** - Significância a 1%; ns- não significativo.

ANEXO 19 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Saturação por Alumínio na CTC efetiva (m) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	30746,035	7686,509	35,2340**	0,0000
Resíduo	10	2181,558	218,156		
Profundidade	1	585,120	585,120	4,7590 ns	0,0541
Trat*Prof	4	1307,074	326,768	2,6577 ns	0,0957
Resíduo	10	1229,512	122,951		
Total	29	36049,299			

Coefficiente de variação – 33,92%; ** - Significância a 1%; ns- não significativo.

ANEXO 20 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável porcentagem de saturação por bases da CTC a pH 7,0 (V) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	4026,476	1006,619	23,834**	0,0000
Resíduo	10	422,353	42,235		
Profundidade	1	183,076	183,076	9,631*	0,0112
Trat*Prof	4	103,239	25,810	1,358 ns	0,3154
Resíduo	10	190,097	19,010		
Total	29	4925,241			

Coeficiente de variação – 26,08%; **, * - Significância a 1% e 5%; respectivamente; ns- não significativo

ANEXO 21 – Resultado da análise de variância apresentando os níveis significância para a variável Carbono Orgânico (C) analisada nos tratamentos estudados.

Causas de Variação	G. l.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB.>F
Tratamento	4	0,306	0,077	1,113 ns	0,4028
Resíduo	10	0,688	0,069		
Profundidade	1	1,492	1,492	44,234**	0,0001
Trat*Prof	4	0,291	0,073	2,159 ns	0,1475
Resíduo	10	0,337	0,034		
Total	29	3,115			

Coeficiente de variação – 5,79%; **, * - Significância a 1%; ns- não significativo.