



Universidade Federal
de São João del-Rei

GUILHERME FILGUEIRAS BAHIA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM
PASTAGEM COM DIFERENTES ESTÁGIOS DE
DEGRADAÇÃO SUBMETIDAS OU NÃO À QUEIMA**

**SETE LAGOAS
2019**

GUILHERME FILGUEIRAS BAHIA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM
PASTAGEM COM DIFERENTES ESTÁGIOS DE
DEGRADAÇÃO SUBMETIDAS OU NÃO À QUEIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Diego Antônio F. Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Cláudio Manoel T. Vitor

SETE LAGOAS

2019

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B151p Bahia, Guilherme Filgueiras.
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM
PASTAGEM COM DIFERENTES ESTÁGIOS DE DEGRADAÇÃO
SUBMETIDAS OU NÃO À QUEIMA / Guilherme Filgueiras
Bahia ; orientador Diego Antônio França Freitas;
coorientador Cláudio Manoel Teixeira Vitor. -- Sete
Lagoas, 2019.
42 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São
João del-Rei, 2019.

1. Propriedades do Solo. 2. Pastagem Degradadas.
3. Física do Solo. 4. Química do Solo. I. Freitas,
Diego Antônio França, orient. II. Vitor, Cláudio
Manoel Teixeira, co-orient. III. Título.

GUILHERME FILGUEIRAS BAHIA

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM
PASTAGEM COM DIFERENTES ESTÁGIOS DE
DEGRADAÇÃO SUBMETIDAS OU NÃO À QUEIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, Campus Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Diego Antônio F Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Cláudio Manoel T Vitor

Sete Lagoas, 31 de julho de 2019.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Donizete dos Reis Pereira - UFV

Prof. Dr. Julian Junio de Jesus Lacerda - UFPI

Prof. Dr. Diego Antônio França Freitas - UFV
Orientador

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Degradação em pastagens.....	2
2.2 Efeito do fogo no solo	3
2.3 Propriedades físicas dos solos	5
2.4 Propriedades químicas dos solos	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Caracterização das Áreas Experimentais	12
3.2 Classificação das Áreas Experimentais Quanto ao Estágio de Degradação	13
3.3 Classificação das Áreas Experimentais Quanto à Ocorrência de Queimadas	14
3.4 Amostragem.....	15
3.5 Análises Físicas.....	15
3.6 Análises Químicas	18
3.7 Análises Estatísticas.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
4.1 Matéria orgânica do solo.....	19
4.2 pH.....	20
4.3 Saturação por alumínio	22
4.4 Saturação por bases.....	23
4.5 Fósforo	24
4.6 Densidade do Solo	25
4.7 Macroporosidade	26
4.8 Microporosidade	28
4.9 Estabilidade de Agregados.....	29
4.10 Resistência do Solo à Penetração.....	31
5 CONCLUSÕES.....	33
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO EM PASTAGEM COM DIFERENTES ESTÁGIOS DE DEGRADAÇÃO SUBMETIDAS OU NÃO À QUEIMA

RESUMO - As grandes áreas ocupadas pelas pastagens degradadas, no território brasileiro, aliado às queimadas nesses locais, destacam a importância do entendimento desse ambiente, que tem causado grandes impactos ambientais, além de proporcionar baixa produtividade às pastagens brasileiras, o que contribui para a ineficiência das atividades relacionadas. Dessa forma, o estudo das propriedades físicas e químicas do solo nesses ambientes é de grande relevância para que esse processo seja mitigado ou, preferencialmente, evitado. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito dos estágios de degradação e de queimadas em profundidade, sobre as propriedades físicas e químicas do solo em pastagens. Para tanto, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial, sendo 8 áreas, variando os estágios de degradação (1, 2, 3 e 4) e a ocorrência de queimadas, em duas profundidades (0-10 e 10-20cm), com três repetições. As variáveis analisadas foram: densidade do solo, resistência do solo à penetração, estabilidade de agregados, macro e microporosidade, pH, saturação por alumínio, saturação por bases, matéria orgânica do solo e teor de fósforo. Os estágios de degradação apresentaram maior efeito nas propriedades físicas e químicas do solo em relação à queimadas e à profundidade. Ocorreu aumento na densidade do solo, na resistência à penetração e à saturação por alumínio e, redução da microporosidade, do tamanho dos agregados, da matéria orgânica do solo, do pH e da saturação por bases em função do aumento do nível de degradação das áreas. Além disso, não foi constatado efeito na microporosidade e no teor de fósforo.

Palavras-chave: Matéria orgânica; Estabilidade de agregados; Fertilidade do Solo.

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF PATURES WITH DIFFERENT STAGES OF DEGRADATION SUBMITTED OR NOT TO BURNING

ABSTRACT - The large areas occupied by degraded pastures in the Brazilian territory along with the burning that occur in these places emphasize the importance of understanding this environment, which has caused great environmental impacts, besides providing low productivity to the Brazilian pastures and contributing to the inefficiency of the pastures activities. Thus, the study of soil physical and chemical properties in these environments has great importance for this process to be mitigated or avoided, preferably. Therefore, the aim of this work was to evaluate the effect of degradation and deep burning stages on soil physical and chemical properties in pastures. For this, it was used a completely randomized design in a factorial scheme, with 8 areas varying the degradation stages (1, 2, 3 and 4) and the occurrence of burns at two depths (0-10 and 10-20 cm) with three repetitions. The variables analyzed were: soil density, soil penetration resistance, aggregate stability, macro and microporosity, pH, aluminum saturation, base saturation, soil organic matter and phosphorus content. The stages of degradation had the greatest effect on soil physical and chemical properties in relation to burning and depth. There was an increase in soil density, resistance to penetration and saturation by aluminum and reduction of macroporosity, aggregate size, soil organic matter, pH and base saturation due to the increase of the degradation level of the areas. In addition, there was no effect on microporosity and phosphorus content.

Keywords: Organic matter; Aggregate stability; Soil fertility.

Comitê Orientador: Prof. Dr. Diego Antônio França Freitas (Orientador - UFV); Prof. Dr. Cláudio Manoel Teixeira Vitor (Coorientador - UFSJ)

1 INTRODUÇÃO

As áreas de pastagens têm recebido grande destaque, em especial, no que se refere aos aspectos ambientais, principalmente nas questões relacionadas as emissões de gases de efeito estufa. Nesse sentido, pastagens bem manejadas possuem grande capacidade de armazenar carbono nos solos, em especial, as espécies do gênero *Urochloa*, o que favorece a mitigação dos efeitos das emissões de carbono na atmosfera (Segnini et al., 2007). Contudo, as pastagens degradadas e o efeito das queimadas atuam no sentido contrário, colaborando com os processos de aquecimento global (Dias-Filho, 2011). Nesse sentido, o ecossistema das pastagens mostra-se complexo e de grande importância.

As áreas de pastagens relacionam-se diretamente com a pecuária brasileira, setor que contribui fortemente com a economia do país. Em 2017, a pecuária correspondeu a 31% do Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio (Abiec, 2018), demonstrando assim, a importância da bovinocultura de leite e de corte para o Brasil.

O Brasil possui um dos maiores rebanhos de bovinos do mundo, com cerca de 171,858 milhões de animais (IBGE, 2017), sendo grande parte destinado a pecuária de corte. Essa atividade se baseia, principalmente, no uso das pastagens, visto que somente 12,5% dos animais abatidos são provenientes de sistemas intensivos como os confinamentos (Abiec, 2018).

O estado de Minas Gerais ocupa posição de destaque nesse cenário, uma vez que possui o segundo maior rebanho de bovinos do país, com 19,494 milhões de animais e a segunda maior área de pastagem (IBGE, 2017; Abiec, 2018). O estado tem grande importância na pecuária leiteira, sendo o maior produtor nacional e portador do maior número de vacas ordenhadas. A região em estudo, o município de Papagaios, está inserida em uma notável bacia leiteira que compreende a cidade de Pompéu, sétima maior produção municipal de leite do país (IBGE, 2016). Além disso, a pecuária leiteira também se pauta no uso das pastagens como fonte alimentar para o rebanho (Paciullo & Gomide, 2016), tornando o melhor entendimento da degradação dessas áreas tema fundamental para a região.

A maior parte da produção de bovinos no Brasil é feita sobre solos ácidos e com baixa fertilidade, no bioma Cerrado (Ferraz & Felício, 2010). As forrageiras com maior

importância no país, devido ao seu uso, são as dos gêneros *Urochloa*, *Panicum* e *Andropogon* (Macedo, 2005a). Além disso, cerca de 20% do território nacional é ocupado por pastagens (Queiroz et al., 2005). Segundo o Censo Agropecuário Brasileiro de 2017 (IBGE, 2017) a área total de pastagens naturais e cultivadas no Brasil é de 158,62 milhões de hectares. Cerca de 50 a 70% dessa área encontra-se em algum estágio de degradação (Dias-Filho, 2011), o que representa quase 100 milhões de hectares de pastagem degradadas.

A degradação das pastagens associadas ou não à queimadas, alteram as propriedades físicas e químicas do solo e são um dos principais fatores que tornam essas áreas mais frágeis, tanto do ponto de vista ambiental como agrônômico (Nascimento Júnior et al., 1994; Zimmer et al., 2012).

O entendimento dos efeitos da degradação das pastagens e da ação do fogo sobre os atributos do solo é de grande importância. Portanto, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes níveis de degradação e de queimadas sobre as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com pastagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Degradação em pastagens

As principais causas da degradação das pastagens estão relacionadas com a escolha incorreta da espécie forrageira, com a má formação inicial, com utilização de fogo, com a falta de reposição de nutrientes perdidos no sistema e com o manejo inadequado do pastejo (Peron & Evangelista, 2004).

A degradação das pastagens está relacionada com a perda de vigor da forragem, com a redução da produtividade e com a falha da capacidade de recuperação natural. Portanto, a produção vegetal é afetada quantitativamente e qualitativamente. Além disso, a pastagem perde a sua habilidade de resistir ao ataque de pragas, de doenças e de invasão de plantas daninhas (Zimmer et al., 2012).

Os estágios de degradação podem ser divididos em dois grandes grupos: pastagens em degradação, caracterizado pelo menor vigor da forragem, pela diminuição da capacidade suporte da área e pelo início da infestação de plantas daninhas; e pastagens

degradadas que possuem essas características acentuadas em associação com a morte das plantas forrageiras, o solo descoberto e algum nível de erosão (Dias-Filho, 2011).

Os principais indicadores da degradação das pastagens são a capacidade suporte da área, que está relacionada com a produção vegetal, com a porcentagem de solo descoberto e com o nível de infestação de invasoras, além das alterações na fertilidade e nas propriedades físicas do solo (Dias-Filho, 2011; Macedo, 2005a; Zimmer et al., 2012).

A degradação das pastagens, possui influência nas propriedades físicas do solo, principalmente devido a sua compactação (Silva et al., 1999), ocasionando mudanças na estrutura desse solo (Pignataro Netto et al., 2009). Corroborando com isso, Moreira et al. (2005) trabalhando com pastagens degradadas e recuperadas, verificaram valores mais elevados de densidade do solo, resistência à penetração e redução da porosidade devido a degradação.

A redução da fertilidade do solo, conseqüentemente a redução da produtividade vegetal da área também é uma das principais causas da degradação das pastagens. Essa redução está relacionada com a exportação de nutrientes via produtos animais e a saída desses, do sistema solo-planta por perdas através da lixiviação, da volatilização, da fixação e da erosão (Martins et al., 1996 citado por Kichel et al., 1999).

A falta de reposição de nutrientes contribui com o processo de degradação (Kichel et al., 1999; Peron & Evangelista, 2004), visto que a maioria dos solos brasileiros apresenta certa limitação ao estabelecimento de sistemas de produção vegetal em decorrência dos efeitos da acidez e da deficiência nutricional. Com destaque ao Cerrado brasileiro, que apresenta limitações químicas evidentes como elevada acidez, altos teores de Al (alumínio) trocável e deficiência de nutrientes, principalmente, P (fósforo), Ca (cálcio) e Mg (magnésio) (Souza et al., 2007).

2.2 Efeito do fogo no solo

O fogo atua como um dos principais agentes causadores da degradação das pastagens. O seu uso, geralmente, está relacionado com a eliminação da macega, ou seja, a eliminação da massa vegetal morta acumulada após um ciclo de crescimento, acontecendo predominantemente no início da estação úmida (Evangelista et al., 1993). Essa utilização tem como finalidade acelerar o rebrote, disponibilizar rapidamente nutrientes para as forrageiras (Rheinheimer et al., 2003) e combater plantas invasoras.

Vale ressaltar que, essa melhoria instantânea pode não perdurar ou até mesmo causar um desequilíbrio ao longo do tempo.

O fogo modifica diversas propriedades do solo de natureza física, química e biológica (Santos et al., 1992). Tais alterações dependem de vários fatores como: o tipo de solo, a cobertura vegetal, a duração, a intensidade e a frequência do fogo na área.

O material combustível, proveniente da vegetação da área, determina a duração e intensidade do fogo (Redin et al., 2011). Essas propriedades, por sua vez determinam a temperatura da queima e do solo (Santos; Bahia; Teixeira, 1992), influenciando assim as propriedades edáficas. A temperatura dita as mudanças nos atributos do solo, sendo que, sob menor intensidade, ocorrem inicialmente alterações biológicas, seguindo para químicas e somente em elevadas temperaturas, a física do solo é modificada (McKenzie et al., 2004). É importante destacar que a matéria orgânica começa a ter suas características químicas alteradas aos 200°C e é totalmente consumida aos 450°C. Portanto, outros atributos do solo também são modificados, uma vez que são altamente dependentes da matéria orgânica, como: estrutura do solo, capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes e atividade microbiana (DeBano, 1988).

Redin et al. (2011) em um estudo de revisão, visaram entender o impacto do fogo nas propriedades do solo e concluíram que os efeitos diretos ou indiretos do fogo, promovem diminuição dos macroporos, do tamanho dos agregados e aumento na resistência do solo à penetração e à densidade. Consequentemente, redução da taxa de infiltração de água e decréscimo na umidade do solo. Além do efeito da temperatura, o uso do fogo resulta na exposição do solo ao impacto das gotas de chuva, causada pela remoção da vegetação, aumentando a suscetibilidade do solo a compactação e a erosão (Peron & Evangelista, 2004).

Os efeitos do fogo, relatados por Redin et al. (2011), demonstraram aumento na disponibilidade de nutrientes como N (nitrogênio), P, K (potássio), Ca, Mg e do pH devido à mineralização e à deposição de cinzas. Fernandes & Fernandes (2002) trabalharam com pastagens nativas queimadas e reportaram aumento da CTC (Capacidade de Troca Catiônica) do solo, da saturação por bases, da soma de bases, do pH e do teor de fósforo, 15 dias após a queima. Contudo, Rheinheimer et al. (2003) também trabalharam com campo nativo, observaram que os atributos químicos do solo

tendem a voltar à normalidade 90 dias após a queimada. No entanto, algumas propriedades podem piorar devido a queima, com o passar do tempo.

Dias-Filho (2011) alerta sobre a influência do fogo na ciclagem de nutrientes, já que ocorre a remoção da matéria orgânica superficial, da volatilização de elementos como o N, S (enxofre) e P, das perdas de cinzas por erosão eólica e laminar. Além disso, pequenas quantidades de cálcio, de magnésio e de potássio podem se perder carreadas junto a fumaça (DeBano, 1989).

2.3 Propriedades físicas dos solos

As propriedades físicas do solo influenciam a estrutura do mesmo, no que diz respeito a forma como as partículas do solo estão arranjadas, definindo o espaço poroso e a distribuição desses poros por tamanho (Ferreira, 2010). Solos bem estruturados são aqueles que apresentam melhores condições de desenvolvimento para as plantas, conferindo boa infiltração e retenção de água, aeração apropriada e bom desenvolvimento radicular (Dexter, 2004), além de demonstrarem maior resistência aos processos erosivos (Ferreira, 2010). Ou seja, são solos que apresentam adequada densidade, porosidade, resistência à penetração e à estabilidade de agregados (Ferreira, 2010; Reichert et al., 2007). Cabe lembrar, que esses parâmetros são utilizados na avaliação da estrutura do solo, ressaltando a importância do estudo de mais de um fator para determinar a qualidade física do solo, de forma a evitar conclusões errôneas ou precipitadas (Silva et al., 2016).

A compactação do solo é o processo que mais impacta as propriedades físicas em ambientes de pastagens degradadas e/ou queimadas. Podendo ser definida como o aumento da densidade do solo devido ao rearranjo das suas partículas e consequente redução da porosidade em função de forças externas que atuam sobre a superfície. No geral, a compactação tem sido avaliada principalmente pela densidade do solo e pela resistência à penetração (Reichert et al., 2010).

A compactação do solo em pastagens está relacionada com a força que os animais aplicam sobre esse solo, influenciado pela carga animal (Moreira et al., 2005) e pela umidade do solo. Dessa maneira, a compactação é acentuada devido ao peso do animal ser distribuído por suas patas, que possuem área pequena, gerando maior pressão.

As pastagens, geralmente, apresentam maiores valores de densidade e menores de porosidade do solo, principalmente em relação a macroporosidade, quando comparado a

outros sistemas agrícolas, especialmente devido ao efeito do pisoteio animal. Isso foi observado por Mota et al. (2012), trabalhando com um Latossolo Amarelo distrófico. Visto que, essa situação foi verificada principalmente na camada superficial de 0-10 cm. Situações semelhantes foram constatadas por Lanzaova, (2005) e Pérez Gomar, (2005) em um Argissolo Vermelho-Amarelo e em um Vertissolo, respectivamente.

Grego et al. (2008) ao estudarem pastagens com diferentes níveis de degradação observaram que ocorreu aumento da densidade e diminuição da porosidade em pastagens degradadas. Já Moreira et al. (2005), trabalharam com pastagem recuperada e degradada de braquiária e verificaram que a pastagem degradada apresentou maior valor de resistência à penetração, principalmente nas camadas de 0-10 cm, chegando em torno de 2 MPa, evidenciando o processo de compactação, que afeta o desenvolvimento do sistema radicular das forrageiras.

O fogo, dependendo da sua intensidade, pode alterar as propriedades físicas do solo (McKenzie et al., 2004). A estrutura do solo, bem como a taxa de infiltração de água são afetadas diretamente pelo fogo, reduzindo a porosidade (DeBano, 1988). Além disso, pode ocorrer redução da estabilidade de agregados, aumento da densidade e consequentemente, elevação da resistência à penetração (Redin et al., 2011). Contudo, alguns trabalhos demonstram que o fogo não interfere em nenhuma dessas propriedades, como observado por Spera et al. (2000). Isso demonstra que o efeito da queimada sobre os atributos físicos é dependente da sua intensidade.

2.3.1 Densidade do Solo

A densidade do solo (D_s) representa a relação entre a massa do solo seco e o volume que esse ocupa, incluindo o espaço poroso, o que reflete primariamente na estrutura do solo. Portanto, é considerada uma propriedade física, afetada pelo manejo do solo (Araújo et al., 2012), além da textura e matéria orgânica (Arshad et al., 1996; Ferreira, 2010). As variações na densidade afetam outras propriedades como a porosidade e a resistência à penetração, o que interfere no suprimento de água, consequentemente o de nutrientes, de oxigênio e de crescimento radicular. Além disso, a D_s pode ser utilizada para monitorar a compactação do solo (Schoenholtz et al., 2000).

2.3.2 Macro e Microporosidade

A porosidade do solo se refere à porção do mesmo, em volume, não ocupada por sólidos, sendo determinada pelo arranjo das partículas do solo, o que caracteriza a

quantidade e a natureza dos poros existentes (Ferreira, 2010). Também é considerada uma propriedade dinâmica (Arshad et al., 1996), assim como a densidade, relacionada com alterações no volume do solo e muito influenciada pelo manejo do mesmo (Reichert et al., 2007; Richart et al., 2005).

Os poros do solo são classificados em relação ao seu tamanho, sendo os macroporos, no geral, maiores que 50 μm (Ferreira, 2010). Os mesmos são constituídos por bioporos, rachaduras e interagregados (Bronik & Lal, 2004), responsáveis pela infiltração da água, pela drenagem e pela aeração do solo (Hillel, 1998). Os microporos, por sua vez, são aqueles menores que 50 μm , responsáveis pela retenção de água e de solutos no solo (Ferreira, 2010; Hillel, 1998), formados intra-agregados.

Portanto, no que lhe diz respeito, os microporos são menos afetados pelo uso do solo, do que os macroporos, sendo mais influenciados pela textura e pela matéria orgânica (Mota et al., 2012). Dessa forma, o conhecimento acerca da macro e microporosidade tem maior relevância em relação à porosidade total.

2.3.3 Resistência do Solo à Penetração

A resistência do solo se refere a capacidade que esse possui de suportar forças sem apresentar falhas, isto é, rupturas (Ferreira, 2010), ou seja, correlaciona-se com o impedimento que o solo impõe ao crescimento radicular. Mesmo esse crescimento ocorrendo, em grande parte, através do espaço poroso, em especial pelos macroporos, a força exercida pelas raízes sobre as partículas e/ou agregados do solo deve ser suficiente para que ocorra a penetração e proporcione o seu alongamento (Bennie, 1996). Portanto, o aumento da resistência mecânica do solo causa sérios danos ao sistema radicular das culturas (Hatano et al., 1988), podendo provocar modificações morfológicas e fisiológicas nas espécies cultivadas (Richart et al., 2005).

A resistência do solo (RP) à penetração, por sua vez, é utilizada como uma excelente ferramenta na determinação de camadas compactadas (Torres et al., 2012), estando relacionada com o crescimento vegetal (Letey, 1985). Essa resistência possui influência de outros aspectos do solo, sendo diretamente proporcional à densidade (Borges et al., 1988) e indiretamente à umidade (Tormena & Roloff, 1996), além da textura, uma vez que solos argilosos apresentam maior resistência ao crescimento radicular do que solos arenosos.

2.3.4 Estabilidade de Agregados

Os agregados são partículas secundárias compostas por partículas primárias de solo aderidas entre si, por meio de uma força de coesão, maior do que a submetida as unidades vizinhas. Essa junção ocorre por meio de agentes cimentantes, como a matéria orgânica e os óxidos de ferro e de alumínio (Kemper & Rosenau, 1986). Já a estabilidade de agregados (EA) se baseia na classificação desses por tamanho, sendo que o tamanho do agregado caracteriza a sua vulnerabilidade de ser movido pela água e pelo vento, pelos processos erosivos, além de determinar as dimensões do espaço poroso do solo (Ferreira, 2010). Portanto, é um indicador da estabilidade da estrutura do solo (Six et al., 2000), sendo influenciado por outras propriedades como carbono orgânico, teor de argila e capacidade de troca catiônica. O uso do solo possui grande interferência na estabilidade de agregados e essa, no que lhe concerne, é importante para que ocorra aumento na produtividade agrícola e diminuição da erodibilidade dos solos (Bronik & Lal, 2004).

2.4 Propriedades químicas dos solos

As propriedades químicas do solo tem papel de destaque, não somente em relação a pastagens degradadas, mas também para o entendimento da qualidade geral do solo, bem como foi colocado por Vezzani & Mielniczuk, (2009). Estes autores definiram a qualidade do solo como a capacidade, desse, de exercer suas funções em plenitude considerando as propriedades físicas, químicas e biológicas.

As principais propriedades químicas utilizadas no levantamento da qualidade do solo ou para a determinação de fatores limitantes são: o pH, a matéria orgânica, o conteúdo de nutrientes e suas relações, os elementos fitotóxicos e as proporções de elementos em relação ao complexo de carga do solo, como a saturação por bases e por alumínio (Araújo et al., 2012).

As pastagens degradadas possuem alterações negativas nas suas propriedades químicas, em relação a áreas recuperadas e produtivas. Dessa forma, apresentam menor pH, matéria orgânica e teores de macro e micronutrientes (Moreira et al., 2005). Grande parte desse efeito pode ser explicado pela baixa cobertura vegetal que as áreas degradadas apresentam. Assim, o solo fica exposto aos intemperes climáticos e mais suscetível ao processo de erosão, o que agrava muito o processo de degradação (Lisbôa et al., 2016).

A queimada, geralmente, proporciona uma melhora nos atributos químicos logo após a sua ocorrência, aumentando o pH e o conteúdo de bases devido a deposição de cinzas, além da elevação simultânea do teor de fósforo disponível (Fernandes & Fernandes, 2002). Contudo, as áreas queimadas, predominantemente, apresentam redução dos teores de nutrientes e aumento da saturação de alumínio, como foi constatado por Dick et al. (2008).

As áreas queimadas têm a sua vegetação removida, o que as deixam mais expostas aos processos erosivos e conseqüentemente, a perda de nutrientes. Além disso, grande quantidade de N, P e S são volatizados e saem do sistema através da fumaça. Vale ressaltar, que os efeitos do fogo nos atributos químicos dependem de vários fatores, principalmente, da frequência em que as áreas são queimadas (McKenzie et al., 2004).

2.4.1 pH

O pH do solo é um dos indicadores da qualidade química mais utilizado nacionalmente, devido a maior parte dos solos brasileiros possuírem problemas com acidez elevada. O pH está relacionado com a atividade de H^+ e determina a acidez ativa do solo, sendo uma fração pequena que compõem essa propriedade (Souza et al., 2007).

Também, o pH do solo, possui influência em diversos processos edáficos, seja este de caráter químico ou biológico. Sendo considerado como um indicador químico chave no entendimento das necessidades do solo, determinando, por exemplo, a disponibilidade de nutrientes e a solubilidade do Al^{3+} . Ademais, afetando também a decomposição da matéria orgânica. Outro fator que ressalta a importância do pH é a facilidade e o baixo custo de sua determinação pelos laboratórios nas análises de solo de rotina (Schoenholtz et al., 2000; Souza et al., 2007).

2.4.2 Saturação por Alumínio

O alumínio trocável (Al^+) também é um dos componentes da acidez do solo, representando a acidez trocável. O Al^{3+} reage com a água liberando H^+ , contribuindo para o aumento da acidez (Echart & Cavalli-Molina, 2001). Além disso, a toxidez do Al^{3+} causada nas plantas, principalmente em ocasiões de pH baixo ($pH \leq 5$), tem sido um dos principais problemas na agricultura tropical, sendo um fator limitante a produção vegetal (Araújo et al., 2012; Souza et al., 2007).

A fitotoxidez causada pelo Al^{3+} promove menor crescimento e engrossamento radicular, afetando o meristema apical e a região de alongamento das raízes, que impede

a mitose e ainda, interfere no transporte e na absorção de nutrientes essenciais como Ca, Mg, K e P. Além disso, devido ao menor desenvolvimento das raízes, as culturas apresentam-se mais susceptíveis ao estresse hídrico, como por exemplo, em situações de veranicos, muito comum no Cerrado brasileiro (Delhaize & Ryan, 1995; Echart & Cavalli-Molina, 2001; Rout et al., 2001).

O teor do alumínio trocável tem importante efeito na determinação do potencial fitotóxico do Al^{3+} . Contudo, isso não depende somente do seu teor, mas também da forma como o complexo de carga negativa do solo está ocupada, ou seja, nesse caso, a porcentagem de Al^{3+} que ocupa a CTC efetiva do solo, denominada saturação por alumínio (m%) (Souza et al., 2007). A m% é considerado um indicador mais sensível e melhor relacionado a resposta produtiva das culturas, do que o próprio pH do solo (Schoenholtz et al., 2000).

2.4.3 Saturação por Bases

A soma de bases (SB) é representada pelo teor de Ca^+ , Mg^+ e K^+ , e a participação desses, na CTC do solo, representa a saturação por bases (V%) (Novais & Mello, 2007). A V% é considerada um bom indicativo da fertilidade do solo, sendo utilizada até mesmo na nomenclatura dos mesmos (Ronquim, 2010).

A capacidade de troca catiônica de um solo representa as cargas negativas presentes nas argilas, nos óxidos de ferro e de alumínio e na matéria orgânica do solo. Sendo assim, a CTC controla a capacidade de retenção de cálcio, de magnésio e de potássio no solo, além de poder ser ocupada por Al^{3+} e H^+ . Essa propriedade tem grande importância na dinâmica de nutrientes e no fornecimento desses, para as plantas. Dessa forma, a CTC é altamente influenciada pela matéria orgânica do solo, textura e pH do solo (McKenzie et al., 2004).

O Ca^+ tem função estrutural nos vegetais e atua como sinalizador secundário de muitos processos celulares. A absorção desse cátion depende de sua liberação, na solução do solo pelos coloides e também da transpiração das plantas, já que sofre transporte passivo junto à corrente transpiratória. O Mg^+ , por sua vez, atua na ativação de enzimas que participam da respiração, da fotossíntese e na síntese de RNA e DNA, além de fazer parte da molécula de clorofila. Já o K^+ tem papel fundamental na regulação osmótica dos vegetais e também na ativação de enzimas da respiração e da fotossíntese (Bloom & Smith, 2017).

2.4.4 Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo (MOS) tem grande importância como fonte de nitrogênio, sendo que a maior parte do N do solo está em formas orgânicas (Cantarella, 2007). A MOS também tem papel fundamental na manutenção de boas condições físicas e químicas, afetando a aeração, a retenção e o armazenamento de água, além de ser fonte de nutrientes e de contribuir de forma expressiva com a capacidade de troca catiônica do solo (Figueiredo et al., 2008).

O N é considerado o elemento mais impactante nas pastagens, principalmente nos sistemas mais intensivos. Esse nutriente tem grande importância na manutenção da produtividade e da sustentabilidade das pastagens, sendo que, sua deficiência tem papel decisivo na degradação das mesmas (Freire et al., 2012). Oliveira et al. (2001) trabalharam com pastagens degradadas de braquiária no Cerrado e concluíram que o nutriente mais limitante para a recuperação dessas áreas é o N.

2.4.5 Fósforo

O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para as pastagens, sendo apontado por Macedo (2005), como o nutriente mais limitante ao estabelecimento e à manutenção da produção sustentável no Cerrado brasileiro. As plantas absorvem o P, principalmente na forma de ânion monovalente, H_2PO_4^- e em algumas situações bivalentes, $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ (Dechen & Nachtigal, 2007). O P é componente dos açúcares fosfatados, intermediários da respiração e da fotossíntese e dos fosfolípidios que são constituintes das membranas vegetais. Além disso, faz parte dos nucleotídeos, utilizados no metabolismo energético como o ATP, e também no, DNA e RNA (Bloom & Smith, 2017).

A importância do fósforo, em grande parte, está relacionada às perdas do elemento nas pastagens, sua fixação possui protagonismo entre as perdas desse nutriente. O solo, principalmente com o aumento do grau de intemperismo, possui grande caráter drenoso para com o P, devido a sua adsorção, predominantemente, pelos oxidróxidos de Fe (ferro) e Al. Essa adsorção ocorre em maiores quantidades em solos argilosos (Novais et al., 2007; Valladares et al., 2003), como no caso dos solos do Cerrado. Latossolos desse bioma podem adsorver, segundo Ker (1995) citado por Novais et al. (2007), até 2 mg.cm^{-3} de P, o que equivale a 4.000 kg ha^{-1} de P (9.200 kg ha^{-1} de P_2O_5), considerando uma profundidade de 0-20 cm.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das Áreas Experimentais

O experimento foi realizado na Fazenda Taquara, situada no município de Papagaios-MG, localizado entre as coordenadas geográficas 19°24'47"S, 44°35'22"W e 19°24'30"S, 44°33'38"W, com altitude média de 700 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido (Cwa), com temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual de 1274,2 mm (EMBRAPA, 2010).



Figura 1. Localização das áreas experimentais, na fazenda Taquara, município de Papagaios-MG.

As áreas experimentais, representadas de 1 a 8 na Figura 1, possuem área de 2500 m² (50 x 50 m) cada, formadas a mais de 20 anos com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Após a formação das áreas, não foram feitas intervenções e entre os anos de 2012 a 2017, as pastagens foram submetidas à altas taxas de lotação, 2 animais/ha. No ano de 2018, as áreas foram expostas a taxas mais baixas, 1 cb/ha, visando a recuperação da sua capacidade produtiva. Todas as áreas foram tratadas da mesma maneira, desde a formação em relação ao manejo do pastejo. O solo das áreas experimentais é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013) classificado como muito argiloso, em ambas as camadas analisadas, segunda a classificação de Ribeiro et al. (1999).

Tabela 1. Composição granulométrica do solo nas áreas experimentais.

Área	Areia (g kg ⁻¹)		Silte (g kg ⁻¹)		Argila (g kg ⁻¹)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
1	75	75	50	50	875	875
2	125	100	75	50	800	850
3	25	25	100	75	875	900
4	200	150	75	75	725	775
5	100	75	75	50	825	875
6	100	125	75	50	825	825
7	150	125	50	50	800	825
8	100	150	50	25	850	825

3.2 Classificação das Áreas Experimentais Quanto ao Estágio de Degradação

As pastagens apresentaram níveis diferentes de degradação, sendo que essas foram classificadas em quatro estágios de degradação, segundo Dias-Filho (2011), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Estágios de degradação (ED) de pastagens, segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda na capacidade suporte (QCS) e de nível de degradação.

ED	Parâmetro limitante	QCS (%)	Nível
1	Vigor e solo descoberto	Até 20	Leve
2	Estágio 1 agravado + plantas invasoras	21 – 50	Moderado
3	Estágio 2 agravado + morte das forrageiras	51 – 80	Forte
4	Estágio 3 agravado + solo descoberto e erosão	>80	Muito Forte

Fonte: Adaptada de Dias-Filho (2011).

A capacidade suporte está relacionada com a máxima taxa de lotação, que resulta em um desempenho animal pré-definido, sem a deterioração da pastagem (Pinto & Ávila, 2013). Para definir a queda na capacidade suporte, leva-se em consideração a produtividade ideal esperada para uma determinada área, analisando o solo, o clima e o histórico da área (Dias-Filho, 2011).

O ED1 pode ser caracterizado por pequena redução no vigor da forragem e na diminuição da cobertura vegetal, o que resulta em uma baixa modificação na capacidade

suporte da área. O ED2 apresenta uma maior queda na capacidade suporte do que o ED1, devido ao menor vigor da vegetação, à menor cobertura do solo e ao aparecimento de plantas invasoras, o que acentua o processo de degradação. Já no estágio ED3, ocorre a morte das plantas forrageiras, contribuindo mais com a QCS. No ED4, existe um aumento do solo descoberto, fator que pré-dispõe a erosão e proporciona uma queda brusca na capacidade suporte da área, evidenciando um nível de degradação muito forte. A classificação das áreas quanto ao estágio de degradação está representado na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação das áreas experimentais quanto ao estágio de degradação.

Área	Estágio de Degradação
1	3
2	4
3	2
4	1
5	2
6	3
7	1
8	4

3.3 Classificação das Áreas Experimentais Quanto à Ocorrência de Queimadas

As áreas foram classificadas, em função da ocorrência de queimadas, em áreas queimada e não queimada. O fogo ocorreu, ocasionalmente, nas áreas queimadas nos meses de agosto e de setembro, dos anos de 2016 e de 2017 e foi classificado como de baixa intensidade, devido ao material queimado ser predominantemente de forragens senescentes.

O fogo ocorreu nas mesmas áreas nos dois anos, devido as características espaciais da propriedade, que permitiu o seu controle no mesmo lugar. Dessa forma, pôde ser estudado, o efeito da queimada sobre os atributos do solo, em comparação com as áreas não queimadas. A Tabela 4 traz a classificação das áreas quanto a ocorrência de queimadas.

Tabela 4. Classificação das áreas experimentais quanto ao estágio de degradação.

Área	Estágio de Degradação
1	Não Queimada
2	Não Queimada
3	Não Queimada
4	Não Queimada
5	Queimada
6	Queimada
7	Queimada
8	Queimada

3.4 Amostragem

Foram coletadas três amostras de solo, por área, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, representando as repetições. Para as análises de densidade e de porosidade, as amostras foram coletadas indeformadas, utilizando-se anéis volumétricos. Para a estabilidade de agregados foram coletados torrões com mais de 10 mm. A resistência à penetração, por sua vez, foi determinada utilizando-se o penetrômetro de impacto, modelo Stolf até 60 cm de profundidade. A distribuição dos pontos de amostragem foi realizada de forma aleatória na área, excluindo-se 5 metros das laterais, como bordadura.

Para análises químicas foram coletadas amostras deformadas, utilizando-se uma broca SACI aço inox durante a amostragem de solo, em janeiro de 2019. Após, obteve-se três amostras, compostas por área em duas profundidades 0-10 e 10-20 cm, constituída por 10 amostras simples, sendo o caminhamento utilizado para as coletas fora do tipo zig-zag.

3.5 Análises Físicas

3.5.1 Densidade do Solo

As amostras, para determinar a densidade do solo, foram coletadas com a sua estrutura indeformada, por meio de um anel de aço com bordas cortantes e volume interno conhecido (aproximadamente 50 cm³). Três repetições por área, realizadas nas camadas 0-10, 10-20 cm.

As amostras coletadas foram secas em estufa a 105°C, durante 24 a 48 horas, após esse período, as amostras foram retiradas e pesadas.

A densidade do solo foi determinada pela Equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{Vol} \quad (1)$$

D_s: densidade do solo, g/cm³;

M_s: massa do solo seco; g;

Vol: volume do solo, cm³.

A metodologia utilizada está de acordo com o Manual de Métodos e Análise de Solo (EMBRAPA, 1997).

3.5.2 Resistência do Solo à Penetração

A resistência do solo à penetração foi determinada, utilizando-se um penetrômetro de impacto, modelo Stolf da KAMAQ, durante a estação seca do ano. A profundidade amostrada foi de 0-60 cm, sendo a resistência à penetração analisada a cada 10 cm, realizando-se três repetições por parcela. Os dados obtidos foram processados utilizando-se a equação abaixo proposta por Stolf (1991).

$$RP = 5,6 + 6,89N \quad (2)$$

RP: resistência a penetração, kg cm⁻²;

N: número de impactos, impactos dm⁻¹.

Os valores de *RP* foram convertidos pra MPa multiplicando-se por 0,098, conforme Arshad et al. (1996).

3.5.3 Macro e Microporosidade

A macro e a microporosidade foram determinadas em mesa de tensão, sendo o conteúdo de água do solo retido no potencial de -6kPa, considerado como microporos. Cabe ressaltar que essa tensão é a mais indicada para os solos tropicais (Oliveira, 1968). A macroporosidade, por sua vez, foi definida entre o ponto de saturação e a de microporosidade (Grohmann, 1960; Reynolds et al. 2008).

$$\text{Micro} = \frac{M_{s_{-6kPa}} - M_s}{\text{Vol}} \quad (3)$$

Micro: microporosidade, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

$M_{s_{-6kPa}}$: massa do solo no potencial de -6kPa , g;

M_s : massa do solo seco, g;

Vol: volume do solo, m^3 .

$$\text{Macro} = Pt - \text{Micro} \quad (4)$$

Macro: macroporosidade, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

Pt: porosidade total, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

Micro: microporosidade, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

3.5.4 Estabilidade de Agregados

As análises da estabilidade de agregados foram realizadas pelo método do peneiramento úmido, segundo Yoder (1936), para as camadas de 0-10 e 10-20 cm. Os torrões foram secos ao ar e fracionados em peneiras, com malhas de 8 a 4 mm. Além disso, os cascalhos ou qualquer outro material que não pertencessem aos agregados, foram removidos.

As amostras foram divididas em duplicatas, de aproximadamente 25 gramas de solo, cada, acondicionadas em recipientes metálicos de peso conhecido. Uma das amostras foi submetida à secagem, em estufa a 105°C , por 24 horas, para a determinação da umidade gravimétrica (U). A segunda amostra foi submetida ao umedecimento lento conforme Kemper & Chepil (1965).

Dado a saturação da amostra, essa foi transferida para o agitador vertical, contendo malhas na sequência decrescente de 2,00; 1,00; 0,25 e 0,125 mm. O equipamento foi regulado à uma frequência de 15 oscilações por minuto, durante 15 minutos. Após a agitação, as amostras foram secas em estufa (105°C por 24 horas).

A partir do peso dos agregados, retidos em cada peneira e da umidade das amostras, foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP), segundo Castro Filho; Muzilli; Podanoschi (1998), utilizando-se a Equação 5:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (xi.wi) \quad (5)$$

DMP: diâmetro médio ponderado, mm.

xi: diâmetro médio das classes, mm;

wi: proporção de cada classe em relação ao total, mm.

3.6 Análises Químicas

3.6.1 pH

O pH foi analisado em água, por meio da medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H^+ , na solução do solo, utilizando-se eletrodo combinado, sendo a suspensão solo/água na proporção 1:2,5 (Santos et al., 2009b).

3.6.2 Fósforo e Potássio

O conteúdo de P e K foi determinado utilizando-se a solução extratora Melich 1, HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. O P extraído foi determinado pela espectrofotometria, lendo-se a intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico. O K, por sua vez, foi determinado diretamente pelo fotômetro de chama (Santos et al., 2009b).

3.6.3 Cálcio, Magnésio e Al trocável

Os elementos foram extraídos por meio da solução KCl 1 mol L^{-1} , sendo o Ca e o Mg, determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al trocável, por titulação com hidróxido de sódio (Santos et al., 2009b).

3.6.4 H + Al (Acidez potencial)

A acidez potencial do solo foi determinada utilizando-se solução de acetato de cálcio e titulação alcalimétrica do extrato (Santos et al., 2009b).

3.6.5 Matéria Orgânica do Solo (MOS)

A MOS foi determinada utilizando-se o método colorimétrico, baseado na leitura colorimétrica da cor verde, do íon Cr, reduzido pelo carbono orgânico (Santos et al., 2009b).

3.7 Análises Estatísticas

O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial (8x2)x3; sendo oito áreas variando os estágios de degradação, nível 1, 2, 3 e 4 e a ocorrência de queimada ou não, com três repetições. A análise de variância foi realizada a 5% de probabilidade, para os atributos do solo, sendo eles: densidade, resistência à penetração, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, pH, V%, m%, MOS e teor de fósforo. Quando pertinente, as médias foram submetidas ao teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011), para a realização da análise de variância e do de médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Matéria orgânica do solo

A porcentagem de matéria orgânica do solo está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Matéria orgânica do solo (MOS), %, em função das áreas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	3,60 Aa	3,13 Ab
ED 1 – Queimada	3,20 Aa	2,67 Bb
ED 2 – Não Queimada	3,23 Aa	3,07 Aa
ED 2 – Queimada	3,43 Aa	3,10 Ba
ED 3 – Não Queimada	2,20 Ca	2,03 Ca
ED 3 – Queimada	2,57 Ba	2,27 Ca
ED 4 – Não Queimada	2,60 Ba	2,30 Ca
ED 4 – Queimada	2,03 Ca	1,93 Ca
CV %	8,32	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

A MOS apresentou efeito significativo, em função da profundidade analisada, nas áreas ED 1 – Não Queimada, ED 1 – Queimada e ED. 2 – Queimada, com redução dos valores da MOS na camada mais profunda. Essa diferença de teores deve-se ao maior acúmulo de resíduos vegetais sobre o solo, afetando, predominantemente, a primeira camada. Fato, que também foi constatado por Santos et al. (2009) em pastagens.

Analisando o efeito das queimadas, percebeu-se que houve redução significativa da matéria orgânica no ED 1 (10-20 cm) e ED 4 (0-10 cm), devido ao efeito do fogo. Contudo, na ED 3 (0-10 cm) ocorreu aumento da MOS, em função da queima. Os resultados encontrados na literatura, sobre a ação do fogo na MOS são conflitantes, uma vez que, o seu efeito é variável com a intensidade do fogo, o tipo do material queimado, a umidade do solo, a época do ano e entre outros (Redin et al., 2011). Nesse sentido, Potes et al. (2010) constataram valores maiores de matéria orgânica do solo em situação de pastagens queimadas, em camadas subsuperficiais. Contudo, Potes et al. (2012) trabalharam com pastagens queimadas e não observaram diferença significativa em relação a MOS na camada 0-5 cm, em função da ocorrência de fogo. A redução da matéria orgânica do solo pode ocorrer, devido a sua oxidação e a sua volatilização, pela ação das chamas (Dias-Filho, 2011), bem como a sua perda pelos processos erosivos, devido a superfície ter ficado exposta. Já o seu aumento, pode estar relacionado com o acréscimo da massa vegetal da área estimulada pelo fogo, proporcionando maiores produções vegetais e substituição de raízes (Evangelista et al., 1993).

Examinando os dados, em função dos estágios de degradação, notou-se uma redução significativa do teor de MOS, nas áreas mais degradadas. Rosendo & Rosa, (2012) trabalharam com pastagens recuperada e degradada, todavia notaram menor teor de carbono na área degradada. Atribuíram a isso, o fato de existir bastante solo exposto nessa situação. Isso corrobora com os resultados do trabalho e com o estudo de Schaefer et al., (2002), que demonstraram perda significativa de matéria orgânica do solo, em situação de baixa cobertura vegetal. Além disso, a deposição de resíduos das pastagens nas áreas degradadas são menores, uma vez que a produção vegetal nessa situação também é menor (Peron & Evangelista, 2004; Zimmer et al., 2012).

4.2 pH

O pH do solo nas áreas estudadas, está representado na Tabela 6.

Tabela 6. pH do solo, em função das áreas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	5,53 Aa	5,80 Aa
ED 1 – Queimada	5,37 Aa	5,30 Ba
ED 2 – Não Queimada	5,20 Aa	5,37 Ba

ED 2 – Queimada	5,43 Aa	5,40 Ba
ED 3 – Não Queimada	4,37 Ca	4,33 Da
ED 3 – Queimada	4,86 Ba	4,97 Ca
ED 4 – Não Queimada	4,53 Ca	4,43 Da
ED 4 – Queimada	4,27 Ca	4,23 Da
CV %	3,77	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

Após análise, não houve diferença significativa, em relação ao pH, em função das profundidades amostradas, como também, foi constatado por Santos et al. (2009), em pastagens de capim elefante. Em relação ao efeito das queimadas, houve aumento de pH no estágio de degradação 3 (0-10 e 10-20 cm), devido a ocorrência do fogo. Isso pode estar relacionado à deposição de cátions alcalinos, como Ca e Mg, incineração da matéria orgânica e efeito alcalinizante das cinzas (Evangelista et al., 1993). Entretanto, na camada de 10-20 cm, no estágio de degradação 1 a área queimada, apresentou um pH menor, sendo que em algumas situações o pH pode até ser reduzido, visto o efeito da remoção da cobertura vegetal nessas áreas, contribuindo com a remoção de bases trocáveis através da erosão (REDIN et al., 2011).

Estudando o pH, em função dos estágios de degradação, para ambas as camadas amostradas, percebeu-se um decréscimo no valor dessa propriedade, à medida que se intensificou o processo de degradação da área. Resultado semelhante foi encontrado por Moreira et al. (2005), que constataram valores de pH menores, em áreas de pastagem degradadas. Lourente et al. (2011) também observaram menor valor de pH em pastagem degradada. Essa redução do pH, acompanhando os estágios de degradação, pode estar relacionada aos solos de Cerrado, que apresentam baixa fertilidade e elevada acidez, naturalmente (Ferraz & Felício, 2010), e também ao fato das pastagens degradadas, geralmente, estarem em situações de compactação, o que impõe um baixo fluxo de O₂, fazendo com que haja acúmulo de CO₂, que reagindo com a água forma carbonatos e bicarbonatos ácidos (Moreira et al., 2005). Ademais, a remoção de cátions alcalinos, devido a erosão, processos que são intensificados nas áreas mais degradadas, a redução da cobertura vegetal, faz com que ocorra acúmulo de elementos acidificantes, como, H⁺ e Al³⁺, na CTC do solo, contribuindo com a redução do pH (Souza et al., 2007).

4.3 Saturação por alumínio

Os dados de saturação por alumínio (m%) são apresentados na Tabela 7. Observou-se, que essa propriedade, demonstrou comportamento semelhante ao pH. Tal semelhança se deve, em grande parte, a influência que o pH possui na m%, determinando a solubilidade do Al.

Tabela 7. Saturação do solo por alumínio (m%), %, em função das áreas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	2,67 Aa	0,00 Aa
ED 1 – Queimada	8,33 Aa	27,00 Bb
ED 2 – Não Queimada	12,33 Aa	22,00 Ba
ED 2 – Queimada	7,33 Aa	15,67 Ba
ED 3 – Não Queimada	53,33 Ba	54,33 Ca
ED 3 – Queimada	56,67 Ba	53,00 Ca
ED 4 – Não Queimada	56,00 Ba	53,67 Ca
ED 4 – Queimada	70,00 Ba	73,67 Ca
CV %	24,04	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

A saturação por alumínio, quando analisada em função das profundidades amostradas, apresentou diferença significativa apenas no estágio de degradação 1, com presença de queimadas, permanecendo as médias estatisticamente iguais nas demais áreas. Esse aumento da m%, em profundidade, pode estar relacionado com a produção vegetal, sendo que essa área foi classificada com baixo nível de degradação. Dessa forma, ocorre grande extração de nutrientes pela forrageira, que concentra suas raízes na camada de 0-20 cm (Silva et al., 2014), removendo bases trocáveis, o que contribui com o acúmulo de Al^{3+} na CTC do solo. Fato semelhante, foi observado por Santos et al. (2009), em pastagens de Tifton 68.

O fogo demonstrou efeito significativo, somente na camada de 10-20 cm, na área com estágio de degradação 1, sendo que houve um aumento da m% em função da queimada. Fato que pode estar relacionado com a remoção da cobertura vegetal, contribuindo com os processos de perdas de nutrientes, principalmente as bases trocáveis. Dessa forma, ocorre menor concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} e maior de H^+ e Al^{3+} . Dick et al. (2008) trabalharam em áreas de pastagem queimada e não queimada e

observaram diferença significativa entre esses locais, para a saturação de alumínio nas camadas 0-5, 0-20 e 40-60 cm, nas quais as áreas sujeitas ao fogo possuíam maior valor de saturação por alumínio.

As pastagens não degradadas ou em degradação (Estágios 1 e 2) apresentaram menores valores de m% do que as áreas degradadas (Estágios 3 e 4), em ambas as camadas. Isto demonstra o efeito da acidez e da toxidez de alumínio, na degradação das pastagens. Esses maiores valores de m%, nas áreas degradadas, estão relacionados com os mesmos fatores que causam a redução de pH nessas situações, como a remoção de cátions alcalinos e o acúmulo de H^+ e Al^{3+} (Souza et al., 2007).

4.4 Saturação por bases

Os dados de saturação por bases estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Saturação do solo por bases (V%), %, em função das áreas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	41,00 Aa	38,00 Aa
ED 1 – Queimada	34,00 Ba	19,00 Cb
ED 2 – Não Queimada	33,00 Ba	27,00 Ba
ED 2 – Queimada	27,67 Ba	21,33 Ba
ED 3 – Não Queimada	11,67 Ca	10,33 Da
ED 3 – Queimada	12,33 Ca	13,33 Da
ED 4 – Não Queimada	12,67 Ca	13,00 Da
ED 4 – Queimada	6,67 Ca	6,23 Da
CV %	23,98	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

Observou-se, diferença significativa, em função da profundidade, somente na área com estágio de degradação 1, com fogo. Como comentado anteriormente, essa redução do valor de V%, na camada de 10-20 cm, pode ter ocorrido, devido ao efeito da remoção de bases trocáveis pela forrageira. Fato que também contribuiu com o aumento da m% nessa situação.

Analisando os dados de V%, nas áreas com estágio 1 (0-10 e 10-20 cm), percebeu-se que houve redução dos valores dessa propriedade, devido às queimadas. Tavares Filho et al. (2011) estudaram os efeitos das queimadas, em pastagens manejadas, com queima e sem queima e também observaram valores menores de saturação por bases,

nas áreas queimadas, na camada de 0-15 cm. Dick et al. (2008), por sua vez, encontraram menor concentração de cálcio e de magnésio em pastagem queimada em comparação à pastagem sem queima. Heringer et al. (2002) também observaram essa tendência e atribuíram esse fato a perda de nutrientes devido à erosão, uma vez que, após a queima, a área fica desprotegida contra o impacto das gotas de chuva por um longo tempo. Assim, mesmo havendo deposição de nutrientes via cinzas, pode ocorrer a perda desses elementos, favorecendo a redução da V%, nesses casos.

Verificando os resultados de V%, em função dos estágios de degradação, notou-se um decréscimo nesse valor à medida que o processo de degradação foi agravado. Essa diferença, em relação a V% em função dos níveis de degradação, está fortemente ligada à cobertura vegetal da área, em função da remoção de nutrientes, especialmente ligados à matéria orgânica, pela erosão hídrica. Como um dos fatores de classificação das pastagens degradadas é a cobertura vegetal, essa, por sua vez, modula a perda de solo e de matéria orgânica, conseqüentemente, de nutrientes. Isso foi estudado por Schaefer et al. (2002), em situação de chuva simulada, sendo que o tratamento com 100% de cobertura da área, não houve perda de solo nem de nutrientes. Já nos tratamentos com menos de 80% de cobertura, ocorreram uma acentuada perda de solo, matéria orgânica e nutrientes, em especial cálcio, magnésio e potássio.

4.5 Fósforo

Os dados de P Meh estão expressos na tabela 9.

Tabela 9. Teor de fósforo (P Meh), mg dm⁻³, em função das áreas classificadas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	0,90 Aa	0,93 Aa
ED 1 – Queimada	1,53 Aa	0,50 Aa
ED 2 – Não Queimada	1,60 Aa	1,70 Aa
ED 2 – Queimada	1,93 Aa	0,77 Aa
ED 3 – Não Queimada	1,80 Aa	1,80 Aa
ED 3 – Queimada	1,20 Aa	1,23 Aa
ED 4 – Não Queimada	2,60 Aa	2,00 Aa
ED 4 – Queimada	1,80 Aa	1,50 Aa
CV %	47,47	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

Percebeu-se que não houve diferença significativa em relação as áreas e as profundidades estudadas. Ou seja, não ocorreu efeito de nenhum dos fatores sobre a variável analisada. Fato que pode ser explicado, devido à alta variabilidade dos dados obtidos, uma vez que o coeficiente de variação para o fósforo foi considerado muito alto, de acordo com Pimentel-Gomes (2009), no tocante aos ensaios agrícolas.

Contudo, os teores de P Meh, em todas as áreas, podem ser considerados de baixo a muito baixo, conforme Ribeiro et al. (1999b). Portanto, o fósforo pode ser considerado um elemento limitante em todas as áreas, sendo a elevação do seu teor, necessária para a recuperação das áreas degradadas e maximização da produção das áreas não degradadas.

4.6 Densidade do Solo

Os dados obtidos, de densidade do solo, estão apresentados na Tabela 10, sendo possível observar que, no geral, não houve efeito da profundidade sobre a Ds, uma vez que, ocorreu diferença significativa somente na área ED 1 - Queimada. Essa diferença pode estar relacionada com efeito do pisoteio animal, que possui maior impacto nos primeiros centímetros do solo. Fato semelhante, foi constatado por diversos autores (Correa & Reichardt, 1995; Schneider et al., 1981; Trein et al., 1991; Vzzoto et al., 2000).

Tabela 10. Densidade do solo, $g\ m^{-3}$, (Ds) em função das áreas (Estágio de Degradação - Queimada) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	1,06 Aa	1,10 Aa
ED 1 – Queimada	1,21 Ba	1,12 Ab
ED 2 – Não Queimada	1,22 Ba	1,20 Ba
ED 2 – Queimada	1,24 Ba	1,22 Ba
ED 3 – Não Queimada	1,41 Ca	1,40 Ca
ED 3 – Queimada	1,46 Da	1,43 Ca
ED 4 – Não Queimada	1,37 Ca	1,37 Ca
ED 4 – Queimada	1,47 Da	1,49 Da
CV %	3,48	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

A densidade do solo, sofreu interferência do fogo, nas áreas ED 1, 3 e 4, na profundidade de 0-10 cm e também, na ED 4, no perfil de 10-20 cm. Spera et al. (2000) atribuíram ao aumento da densidade do solo, em pastagem queimada, à remoção da cobertura vegetal. Essa remoção deixa o solo mais susceptível ao impacto das gotas de chuva e ao pisoteio animal, levando-se a compactação. Os mesmos autores, também relacionaram o incremento da densidade ao ressecamento do solo, que cria uma crosta superficial compactada, sendo que fato semelhante foi reportado por Redin et al. (2011).

A densidade do solo sofreu significativo incremento, em relação ao aumento da degradação das áreas, sendo que as áreas degradadas (ED 3 e 4) apresentaram valores de Ds considerados limitantes. Segundo Klein (2006), para um Latossolo Vermelho, a densidade limitante ao desenvolvimento das culturas é de $1,33 \text{ Mg.m}^{-3}$ e a densidade ótima é $1,08 \text{ Mg.m}^{-3}$. Esse aumento de densidade é explicado pela compactação dessas áreas, que foi intensificada em virtude da redução da cobertura vegetal. Segundo Silva et al. (2000), o pisoteio animal tem pequeno impacto na Ds, quando mantido uma boa cobertura vegetal na área. Isso ocorre, dado a interceptação do impacto da pata do animal pela massa vegetal, assim, o solo não é atingido diretamente. Outro ponto importante, já comentado, é a exposição do solo ao impacto da gota de chuva, o que contribui para o processo de compactação (Spera et al., 2000). Além disso, a ausência de forragem nas áreas degradadas, reduz o efeito benéfico que as raízes possuem na estruturação do solo, o que impede a redução da densidade, por esse meio (Imhoff et al., 2000).

4.7 Macroporosidade

A macroporosidade, Tabela 11, apresentou comportamento semelhante a Ds, uma vez que alterações na densidade do solo, normalmente, alteram a porosidade, principalmente a macro (Reichert et al., 2007; Richart et al., 2005). Portanto, os fatores que modificam a densidade do solo, geralmente, são os mesmos responsáveis pela alteração da macroporosidade.

Tabela 11. Macroporosidade, $m^3 m^{-3}$, em função das áreas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	0,19 Aa	0,19 Aa
ED 1 – Queimada	0,15 Ba	0,17 Aa
ED 2 – Não Queimada	0,15 Ba	0,16 Aa
ED 2 – Queimada	0,14 Ba	0,11 Ba
ED 3 – Não Queimada	0,10 Ca	0,12 Ba
ED 3 – Queimada	0,09 Da	0,10 Ba
ED 4 – Não Queimada	0,12 Ca	0,12 Ba
ED 4 – Queimada	0,06 Da	0,07 Ca
CV %	16,02	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

A macroporosidade não sofreu influência em profundidade, bem como a Ds. Isso também foi observado por Santos et al. (2009) em pastagens perenes. Quando comparado, as áreas com e sem queima, ocorreu diferença nas áreas Est. 1, 3 e 4 na camada de 0-10 cm e Est. 2 e 4, no perfil de 10-20 cm. Segundo Souza et al. (2004), em áreas queimadas de cana-de-açúcar ocorreram redução da macroporosidade, em grande parte, devido ao aumento da densidade do solo.

A macroporosidade teve uma significativa redução nas áreas degradadas (ED 3 e 4), principalmente, devido ao aumento da densidade do solo nessas áreas. Muller et al. (2001), verificaram redução dos macroporos em pastagem degradada, em função do incremento da Ds, ocasionando menor taxa de infiltração de água e de aeração do solo.

Contribuindo com isso, Moreira et al. (2005), verificaram maiores valores de macroporosidade, em pastagens recuperadas, em relação às degradadas, na camada de 7,5-30 cm. Seguindo esse raciocínio, foi feito um estudo de regressão, em função da Ds e macroporosidade das áreas, considerando a profundidade de 0-20 cm e determinando o coeficiente de correlação (R^2). O gráfico está representado na Figura 2 e demonstra boa correlação entre Ds e macroporosidade, R^2 igual a 0,9619, sendo essas propriedades inversamente proporcionais. Também, Muller et al. (2001), relataram boa correlação entre a densidade do solo e a macroporosidade, visto que, obtiveram um coeficiente de determinação de 0,85.

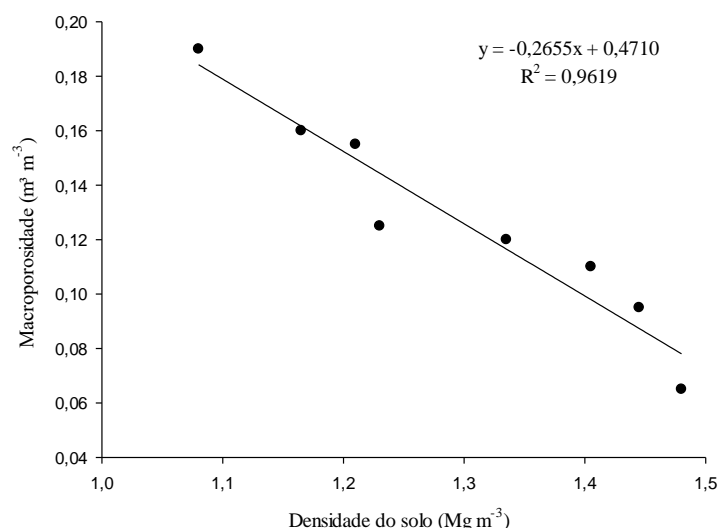


Figura 2. Macroporosidade em função da densidade do solo

4.8 Microporosidade

Os dados de microporosidade estão representados na Tabela 12.

Tabela 12. Microporosidade, m³ m⁻³, em função das áreas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	0,30 Aa	0,31 Aa
ED 1 – Queimada	0,23 Aa	0,26 Aa
ED 2 – Não Queimada	0,23 Aa	0,24 Aa
ED 2 – Queimada	0,24 Aa	0,27 Aa
ED 3 – Não Queimada	0,24 Aa	0,24 Aa
ED 3 – Queimada	0,23 Aa	0,26 Aa
ED 4 – Não Queimada	0,22 Aa	0,23 Aa
ED 4 – Queimada	0,26 Aa	0,20 Ba
CV %	13,95	

As médias nas colunas, seguida de mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5%. As médias nas linhas, seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste F, a 5%.

Verificou-se, que não houve efeito significativo de nenhum dos fatores, nos valores dessa propriedade, exceto para a área ED 4 – Queimada, que apresentou um valor menor na camada de 10-20 cm. A razão para esse comportamento, da microporosidade, é a sua baixa relação com o manejo do solo, sendo mais afetada pela textura e pela matéria orgânica (Mota et al., 2012). Aliado a esses resultados, Santos et al. (2009), em pastagens perenes de verão, não verificaram diferença significativa na microporosidade,

em função da profundidade, e Lanzasova et al. (2007), variaram a intensidade de pastejo e verificaram que não houve influência do pisoteio animal na microporosidade.

4.9 Estabilidade de Agregados

Na tabela 13, estão apresentados os valores obtidos para o **Diâmetro médio ponderado (DMP)**.

Tabela 13. DMP de agregados, mm, em função das áreas (Estágio de Degradação - Fogo) e das profundidades.

Áreas	Profundidade	
	0-10 cm	10-20 cm
ED 1 – Não Queimada	5,30 Aa	4,73 Ab
ED 1 – Queimada	4,77 Ba	4,40 Aa
ED 2 – Não Queimada	4,50 Ca	4,37 Aa
ED 2 – Queimada	4,13 Ca	3,93 Ba
ED 3 – Não Queimada	4,23 Ca	3,50 Cb
ED 3 – Queimada	4,13 Ca	3,53 Cb
ED 4 – Não Queimada	3,20 Da	2,97 Da
ED 4 – Queimada	2,47 Ea	2,37 Ea
CV %	7,11	

As médias nas colunas seguida de mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. As médias nas linhas seguida de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Observou-se redução do DMP em profundidade nas áreas ED 1 – Não Queimada, ED 3 – Não Queimada e ED 3 – Queimada. Fato semelhante, foi detectado por Lima et al. (2003), que atribuíram a essa circunstância, a diminuição dos teores de carbono do solo, em camadas mais profundas. A formação dos agregados do solo está relacionada, primariamente, com a união de partículas, por meio de agentes ligantes, como a matéria orgânica, complexos de cátions polivalentes e óxidos, formando agregados menores, chamados de microagregados. Posterior a esse processo, ocorreu a união dos microagregados, por meio da ação de raízes e hifas de fungos, além de polissacarídeos provenientes de microrganismo e plantas, formando agregados maiores, os macroagregados (Tisdall & Oades, 1982). A redução da MOS, em profundidade, foi verificada em algumas áreas, no presente trabalho, devido a menor deposição de resíduos vegetais, nessas camadas.

Ainda, Silva et al. (2014) notaram maior concentração de raízes de braquiária na camada de 0-10 cm, e como foi comentado, as raízes e seus exsudatos tem papel fundamental na agregação do solo. Contudo, Salton et al. (2008), estudaram a agregação do solo, em sistemas agropecuários e não perceberam diferença significativa, em relação à profundidade.

O fogo teve efeito nas áreas Est.1 (0-10 cm), Est.2 (10-20 cm) e Est.4 (0-10 e 10-20 cm), causando a redução do DMP. Ceddia et al. (1999), verificaram menor DMP, em áreas de cana-de-açúcar queimadas, devido à degradação do solo. Contudo, Santos et al. (1992), afirmaram que o efeito do fogo, na estabilidade de agregados é muito variável. Também a MOS, foi afetada de forma inconstante pelo fogo, podendo o seu teor aumentar ou diminuir, como constatado nesse trabalho. A redução, do teor da MOS, pode ser atribuída a sua oxidação, durante a queima e a sua perda por processos erosivos, devido ao solo exposto. Além disso, pode ocorrer aumento do teor da matéria orgânica, devido à estímulos ao crescimento vegetal que a queimada provoca (Dias-Filho, 2011).

As áreas com melhor qualidade apresentaram maiores valores de DMP (Est. 1 e 2), que aquelas com elevados níveis de degradação (Est 3 e 4). Ramos et al. (2010) constataram redução da estabilidade de agregados, em pastagens com sinais de degradação. Essa redução pode estar atrelada à compactação da área, sendo que a Ds aumentou, no sentido do avanço do processo de degradação, como foi demonstrado no estudo. Além disso, ocorreu uma redução da MOS, em função dos estágios de degradação, como será demonstrado posteriormente, no presente trabalho. A estabilidade de agregados está diretamente relacionada ao teor de matéria orgânica (Wendling et al., 2005) e a aspectos que promovam o crescimento vegetal e microbiano. Portanto, solos compactados, apresentam influencia no DMP, pois impedem o crescimento de microrganismo e de plantas, já que limitam o crescimento radicular e a aeração do solo (Ferreira et al., 2010b) Ademais, as áreas degradadas apresentam menor cobertura vegetal, conseqüentemente, pequena produção vegetal, o que contribui para a redução da estabilidade de agregados. Uma vez que, as raízes das gramíneas, possuem grande importância na agregação do solo, como foi verificado por Brandão & Silva (2012), que atribuíram ao efeito do crescimento radicular da braquiária, maior formação e estabilização, de agregados no solo.

A estabilidade de agregados está muito relacionada, ao teor de matéria orgânica do solo, como foi discutido. Dessa forma, foi feito um estudo de regressão, Figura 3, para essas duas propriedades e determinado o coeficiente de correlação. Observou-se que, esses atributos possuem relação direta, ou seja, o aumento da MOS, resulta em agregados maiores, visto que a equação gerada explica 80,47% da variação do DMP, em relação a MOS.

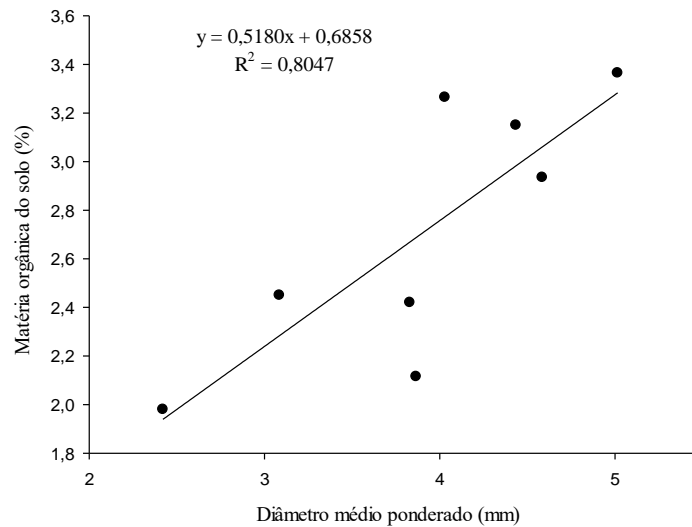


Figura 3. Diâmetro médio ponderado, em função da matéria orgânica do solo.

4.10 Resistência do Solo à Penetração

Os dados de resistência, do solo à penetração, das áreas não queimadas, estão apresentados na Figura 4.

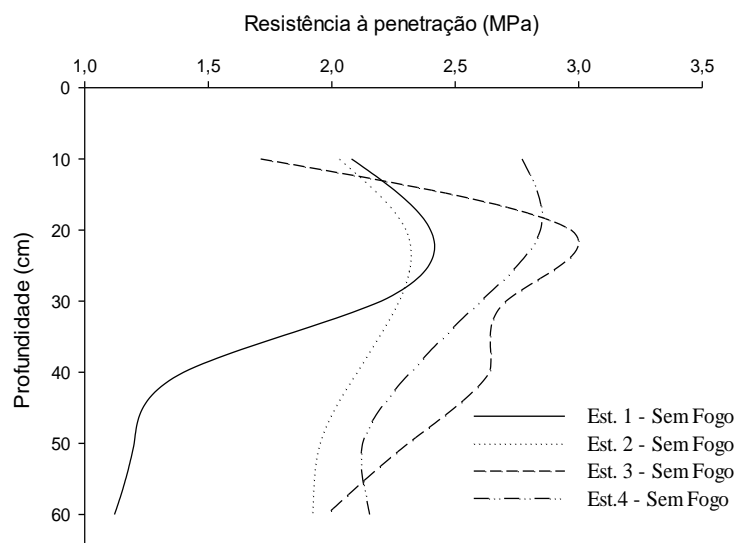


Figura 4. Resistência do solo à penetração, em diferentes profundidades, na ausência de queimadas.

As áreas não queimadas, apresentaram maiores valores na camada de 10-20 cm, para todos os estágios de degradação, sendo que, a partir dessa camada, ocorreu redução dos valores de RP, em função da profundidade. Fato semelhante, foi diagnosticado por Torres et al. (2012), em pastagens de tifton, sendo que os maiores valores foram evidenciados na camada de 0-20 cm, evidenciando assim, o efeito do pisoteio animal na compactação superficial do solo.

No geral, as áreas mais degradadas, apresentaram maior RP, devido à maior compactação do solo e isso também foi observado por Moreira et al. (2005), em pastagens degradadas. A compactação do solo, nas áreas, em função da degradação está fortemente relacionada ao pisoteio animal e, nesse caso, a redução da cobertura vegetal, potencializa esse processo (Silva et al., 2000). Segundo Sá & Santos Junior (2005), o valor limitante de RP, para pastagens é 2,5 MPa. Nos estágios de degradação 3 e 4, valores, acima do considerado crítico, foram encontrados nas camadas de 10-30 cm. Dessa forma, ocorreu restrição ao desenvolvimento radicular das forrageiras nessa situação, conseqüentemente, menor produção vegetal. Magalhães et al. (2001), trabalharam com diferentes sistemas de cultivos e observaram, relação inversa na produção de massa verde de *Urochloa brizantha*, em função da resistência à penetração.

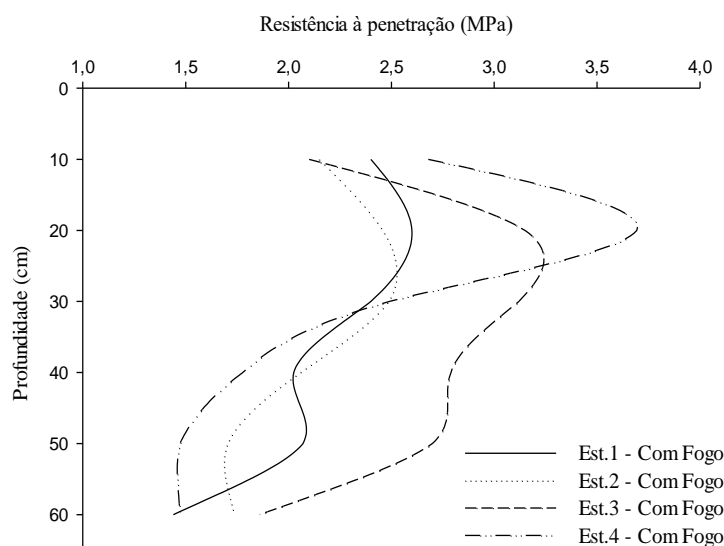


Figura 5. . Resistência do solo à penetração, em diferentes profundidades, na presença de queimadas.

As áreas queimadas apresentaram comportamento semelhante as áreas não queimadas, em relação aos níveis de degradação e de profundidade. Contudo, houve um aumento geral nos valores de RP. Redin et al. (2011) atestaram aumento na RP, devido

à queima, que também pode ser atribuído à remoção da cobertura vegetal, da área. Já Heringer et al. (2002), avaliaram a cobertura vegetal, de áreas de pastagens queimadas e, constataram, redução da cobertura, em relação aos locais sem queima.

5 CONCLUSÕES

Os estágios de degradação, do solo, apresentaram maior efeito significativo, em todas as propriedades analisadas, do mesmo, em relação às queimadas e a à profundidade, com aumento da densidade, da resistência à penetração e da saturação por alumínio e da redução da macroporosidade, do tamanho dos agregados, da matéria orgânica do solo, do pH e da saturação por bases. No entanto, não houve mudanças na microporosidade e no teor de P, em função dos estágios de degradação, de fogo e de profundidade.

As alterações, nas propriedades físicas e químicas foram agravadas pela redução da cobertura vegetal, tanto nas áreas degradadas que não ocorreram queimadas, quanto nas áreas que ocorreram queimadas. Dessa forma, pode-se concluir que o manejo adequado do pastejo e que a recuperação das áreas são de grande importância, pois podem evitar ou mitigar os efeitos da degradação, nas propriedades do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do Solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 5, n. 1, p. 187–196, 2012.

ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAW, J.; JONES, A. **Methods for assessing soil quality**. Soil Science Society of America, 1996. p. 123–141.

BENNIE, A. T. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots: the hidden half**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 363–375.

- BLOOM, A. J.; SMITH, S. **Nutrição Mineral**. In: TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017. p. 119–142.
- BORGES, E. et al. **Respostas de variedades de soja à compactação de camadas do solo**. Revista Ceres, v. 35, n. 202, p. 553–568, 1988.
- BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. F. **Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho**. Ciência Rural, v. 42, n. 7, p. 1193–1199, 2012.
- BRONIK, C. J.; LAL, R. **Soil structure and management: a review**. Geoderma, 2004.
- CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1^a ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375–470.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 527–528, 1998.
- CEDDIA, M. B. et al. **Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 8, p. 1467–1473, 1999.
- CORREA, J. C.; REICHARDT, K. **Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da amazônia central**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 30, n. 1, p. 107–114, 1995.
- DE BANO, L. F. **Effects of Fire on Chaparral Soils in Arizona and California and Postfire Management Implications**. Symposium of fire and watershed management, p. 55–62, 1988.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGAL, G. R. III - **Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas**. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 92–129.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. **Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants**. Plant Physiology, v. 107, p. 315–321, 1995.
- DEXTER, A. **Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density,**

- and organic matter, and effects on root growth.** *Geoderma*, v. 120, p. 201–214, 2004.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação.** 4ª ed. Belém, PA: MBDF, 2011.
- DICK, D. P. et al. **Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 5, p. 633–640, 2008.
- ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. **Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético.** *Ciência Rural*, v. 31, n. 3, p. 531–541, 2001.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: 1997.
- EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M. DE; CURTI, N. **USO DO FOGO EM PASTAGENS.** In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L. R. A.; REIS, R. A. (Eds.). **2º Simpósio sobre Ecossistema de Pastagens. Anais...** Jaboticabal, SP: Funep - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1993. p. 62–99.
- FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. **Características Químicas do Solo em Área de Pastagem Nativa Recém Queimada no Pantanal Arenoso, MS.** *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Pantanal*, v. 36, p. 18, 2002.
- FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. **Production systems - An example from Brazil.** *Meat Science*, v. 84, p. 238–243, 2010.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR: A Computer Statistical Analysis System.** Lavras: Ciênc. agrotec., 2011.
- FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo.** In: LIER, Q. DE J. VAN. *Física do Solo.* 1. ed. Viçosa - Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1–24.
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. **Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo.** *Semina: Ciências Agrárias*, v. 31, n. 4, p. 913–932, 2010.
- FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. **Propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo.**

Bioscience Journal, v. 24, n. 3, p. 24–30, 2008.

FREIRE, F. M. et al. **Adubação nitrogenada e potássica em sistemas de produção intensiva de pastagens**. Informe Agropecuário: Produção intensiva de pastagens, v. 33, n. 266, p. 60–68, 2012.

GREGO, C. R. et al. **Caracterização física do solo sob pastagem em diferentes níveis de degradação no município de Guararapes, SP**. XVIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil, p. 4, 2008.

HATANO, R. et al. **Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation**. Soil Science and Plant Nutrition, v. 34, n. 4, p. 535–546, 1988.

HERINGER, I. et al. **Características de um latossolo vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo**. Ciência Rural, Santa Maria. v. 32, n. 2, p. 309–314, 2002.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, p. 771, 1998.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Censo Agropecuário 2017: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro, 2017.

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

KEMPER, W. .; ROSENAU, R. . **Aggregate stability and size distribution**. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 425–442.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregates**. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 449–510.

KER, J. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. **Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária**. Viçosa, MG. I Simpósio de Produção de Gado de Corte - SIMCORTE, , 1999.

- KLEIN, V. A. **Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um latossolo vermelho.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 5, n. 1, p. 26–32, 2006.
- LANZANOVA, M. . **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- LANZANOVA, M. E. et al. **Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 31, n. 5, p. 1131–1140, 2007.
- LETEY, J. **Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production.** Advances in Soil Science, vol 1, v. 1, p. 277–294, 1985.
- LIMA, C. L. R. et al. **Estabilidade de agregados de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 1, p. 199–205, 2003.
- LISBÔA, F. M. et al. **Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p. 1184–1193, 2016.
- LOURENTE, E. R. P. et al. **Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 1, p. 20–28, 2011.
- MACEDO, M. C. M. M. **Degradação de pastagens: conceitos, alternativas e métodos de recuperação.** Informe Agropecuário: Pastagens, v. 26, n. 226, p. 36–42, 2005a.
- MACEDO, M. C. M. M. **Pastagens no ecossistema cerrado: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável.** In: Simpósio sobre pastagens nos ecossistemas brasileiros. Goiânia: Anais...Goiânia: SBZ, 2005b. p. 56–84.
- MAGALHÃES, R. T.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, I. P. DE. **Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do sistema barreirão.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 31, n. 1, p. 7–13, 2001.
- MCKENZIE, N. et al. **Australian soils and landscape: an illustrated compendium.** Melbourne, 2004.

- MOREIRA, J. A. A. et al. **Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 35, n. 3, p. 155–161, 2005.
- MOTA, F. O. B. et al. **Physical quality of an oxisol under different uses.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 36, p. 1828–1835, 2012.
- MULLER, M. M. L. et al. **Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 11, p. 1409–1418, 2001.
- NASCIMENTO JÚNIOR, D.; QUEIROZ, D. S.; SANTOS, M. V. F. **Degradação de pastagens, critérios para avaliação.** In: Simpósio sobre manejo de pastagem. Anais... ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 107–151.
- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. DE. **IV - RELAÇÃO SOLO-PLANTA.** In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo.** 1^a ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1017.
- OLIVEIRA, L. B. **Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 3, p. 197–200, 1968.
- OLIVEIRA, O. C. et al. **Response of degraded pastures in the Brazilian Cerrado to chemical fertilization.** Pasturas tropicales, v. 23, n. 1, p. 14–18, 2001.
- PÉREZ GOMAR, E. **Qualidade física de um Vertissolo e produção forrageira em campo nativo melhorado, com irrigação e pastoreio.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. **Degradação de pastagens em regiões de cerrado.** Ciênc. agrote., v. 28, n. 3, p. 655–661, 2004.
- PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. **Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 5, p. 1441–1448, 2009.
- PIMENTAL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental.** 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009.

- PINTO, J. C.; ÁVILLA, C. L. D. S. **Terminologias e classificação de plantas forrageiras**. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros. 1ª ed. Jaboticabal, SP: p. 714, 2013.
- POTES, M. DA L. et al. Matéria orgânica em Neossolo de altitude: Influência do manejo da pastagem na sua composição e teor,. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, v. 34, p. 23–32, 2010.
- POTES, M. DA L. et al. Soil organic matter in fire-affected pastures and in an Araucaria forest in South-Brazilian Leptosols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 707–715, 2012.
- QUEIROZ, D. S.; FONSECA, D. M. DA; MOREIRA, L. D. M. Importância do manejo do pastejo sobre a persistência e a sustentabilidade da pastagem. **Informe Agropecuário: Pastagens**, v. 26, n. 226, p. 54–64, 2005.
- RAMOS, F. T. et al. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no Pantanal Matogrossense. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 112–120, 2010.
- REDIN, M. et al. Impacto da queima nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381–392, 2011.
- REICHERT, J. M. et al. **II - Mecânica do Solo**. In: LIER, Q. D. J. VAN. Física do Solo. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 30–100.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. *Tópicos Ci. Solo*, v. 5, p. 49–134, 2007.
- RHEINHEIMER, D. DOS S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 49–55, 2003.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 1999.
- RICHART, A. et al. **Compactação do solo: causas e efeitos**. *Semana: Ciências Agrárias*, v. 26, n. 3, p. 321–344, 2005.

- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa Número 8 - Embrapa**, p. 26, 2010.
- ROSENDO, J. DOS S.; ROSA, R. Comparação do estoque de c estimado em pastagens e vegetação nativa de cerrado. **Soc & Nat**, v. 24, n. 2, p. 359–376, 2012.
- ROUT, G.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Aluminium toxicity in plants : a review. **Agronomie, EDP Sciences**, v. 21, n. 1, p. 3–21, 2001.
- SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. Compactação do Solo: consequências para o crescimento vegetal. **Embrapa Cerrados**, 2005.
- SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 32, p. 11–21, 2008.
- SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. **Queimadas e erosão do solo**. Informe Agropecuário, v. 16, n. 176, p. 62–68, 1992.
- SANTOS, H. P. et al. Atributos químicos e físicos de solo sob pastagens perenes de verão. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1037–1046, 2009a.
- SANTOS, A. D. et al. **Parte 2 - Análises laboratoriais**. In: SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2009b. p. 105–184.
- SCHAEFER, C. E. R. et al. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 669–678, 2002.
- SCHNEIDER, P.; SCOPEL, I.; KLAMT, E. Efeito da pastagem cultivada submetida a diferentes intensidades de pastejo, em propriedades físicas de um solo laterítico hidromórfico. In: **ANAIS...** Encontro Nacional de Pesquisa Sobre Conservação do Solo. Recife, PE: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. v. 3p. 343–350.
- SCHOENHOLTZ, S.; MIEGROET, H. V.; BURGER, J. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1, p. 335–356, 2000.
- SILVA, R. A. B. et al. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com

braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 147–157, 2014.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 191–199, 2000.

SILVA, A. P. DA et al. **Indicadores da Qualidade Física do Solo**. In: LIER, Q. DE J. VAN (Ed.). **Física do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 242–280.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; MAZZA, J. A. Manejo físico de solos sob pastagem. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Anais do 14º Simpósio sobre Manejo da Pastagem: Fundamento do Pastejo Rotacionado**. [s.l.] FEALQ, 1999. p. 25–37.

SIX, J.; ELLIOTT, E.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 1042–1049, 2000.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físico de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 51–58, 2004.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 206–268.

SPERA, S. T. et al. Características físicas de um Latossolo Vermelho-escuro no cerrado de planaltina, df, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 35, p. 1817–1824, 2000.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229–235, 1991.

TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, R. R. M.; FERREIRA, V. M. Fertilidade química de solo sob pastagens formadas com diferentes espécies nativas e com *Brachiaria decumbens* manejadas com queimadas **Anuais**. Semina: Ciências Agrárias, v. 32, n. 1,

p. 1771–1782, 2011.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and waterstable aggregates in soil structure. **Soil Science Society of America Journal**, v. 33, n. 2, p. 141–163, 1982.

TORMENA, C. A.; ROLLOF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 333–339, 1996.

TORRES, J. L. R. et al. Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, v. 28, n. SUPPL. 1, p. 232–239, 2012.

TREIN, C.; COGO, N.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 105–111, 1991.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 111–118, 2003.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 743–755, 2009.

VZZOTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 965–969, 2000.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 487–494, 2005.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v. 28, p. 337–357, 1936.

ZIMMER, A. H. et al. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS ,Embrapa Gado de Corte, 2012.