

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE LINGUAGEM, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E SOCIAIS APLICADAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ZOOTECNIA

JEAN MARCOS CARVALHO RAMBO

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE LATOSSOLO VERMELHO SOB
SISTEMAS DE CULTIVO NA REGIÃO DO VALE DO GUAPORÉ**

PONTES E LACERDA-MT
NOVEMBRO/2020

JEAN MARCOS CARVALHO RAMBO

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE LATOSSOLO VERMELHO SOB
SISTEMAS DE CULTIVO NA REGIÃO DO VALE DO GUAPORÉ**

“Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências para a obtenção do título de BACHAREL EM ZOOTECNIA”.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli.

PONTES E LACERDA-MT
NOVEMBRO/2020

JEAN MARCOS CARVALHO RAMBO

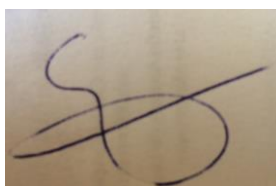
**QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE LATOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMAS
DE USO NA REGIÃO DO VALE DO GUAPORÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação em
Zootecnia da Universidade do Estado de Mato
Grosso, como parte das exigências para a
obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

APROVADO EM: 19/11/2020

Maria Aparecida P. Pierangeli

Prof. Dra. Maria Aparecida Pereira Pierangeli
Orientadora/UNEMAT-Pontes e Lacerda



Prof. Dr. Eurico Lucas de Sousa Neto
Professor/UNEMAT-Pontes e Lacerda

Karina de Vares Rossetti

Prof. Dra. Karina de Vares Rossetti
Professora Interina/UNEMAT-Pontes e Lacerda

A Deus primeiramente;
Ao meu pai Albino Marcos Rambo;
A minha mãe Gilda Borges Carvalho;
A minha família que sempre me apoiou e me deu forças para continuar

Dedico-lhes de coração.

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente pela oportunidade de ter conseguido vencer mais esta etapa;

À minha família que sempre me apoiou, seja qual fosse a dificuldade;

À Universidade pela oportunidade oferecida de cursar Zootecnia;

À minha namorada Larissia Cristhiny Augusto e Silva pelo companheirismo em todos os momentos e pelo animo sempre dado;

Aos professores que sempre me apoiaram e me ajudaram para estar hoje aqui, sendo em especial a minha orientadora Maria Aparecida Pereira Pierangeli, pela confiança em me ter aceitado como orientado;

Agradeço de maneira especial também a professora Karina de Vares Rossetti e ao técnico Silvério Teixeira dos Santos que me ajudaram na confecção deste trabalho;

À todos que trabalham de maneira direta ou indiretamente na Universidade, desde os colaboradores que trabalham na limpeza até a diretora do *Campus* Jocilaine Garcia;

Aos amigos feitos na Universidade em especial a minha turma 2016/1 pelo carinho e amizade que fiz com todos.

O que importa não é aquilo que você olha, mas aquilo que você vê.

Henry David Thoreau

RESUMO

Os sistemas de uso e manejo do solo alteram de maneira distinta as suas propriedades. Sendo assim, se faz necessário estudos para avaliar esses impactos sobre a qualidade e sustentabilidade do solo sob diversos usos. Objetivou-se com este estudo, avaliar as características químicas e físicas de um Latossolo Vermelho (LV) sob diferentes sistemas de uso. Os tratamentos foram realizados em áreas sob os cultivos de Seringueira (*Hevea brasiliensis*) (SE), *Eucaliptus urograndis* (EU), *Urochloa* (Syn. Brizantha) cv. Piatã (PA) e mata nativa (MN) em Pontes e Lacerda - MT. O experimento foi conduzido em esquema fatorial (4 x 2) em um delineamento inteiramente casualizado e duas camadas de solo (0-0,10 m e 0,10-0,20 m), com quatro repetições. Os atributos físicos avaliados foram: Densidade do Solo (Ds), Macroporosidade (Macro), Microporosidade (Micro) e Porosidade Total. Já os atributos químicos avaliados foram: pH, Fósforo (P), Potássio (K⁺), Cálcio (Ca²⁺) e Magnésio (Mg²⁺), Alumínio (Al³⁺), Acidez Potencial (H⁺Al), Matéria Orgânica (MO) e Carbono Orgânico Total (COT), sendo calculados também a capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB) e porcentagem de saturação por bases (V) e de alumínio (m). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativa às médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott (p<0,05). Em relação aos atributos físicos constatou-se maiores valores de Ds sob os sistemas de EU e PA, além de menores valores nos atributos de macro nos ambientes antropizados e maior micro nos mesmos. Em relação aos atributos químicos se encontraram menores valores de pH nas áreas EU e MN nas duas camadas, bem como menores valores de Ca+Mg, SB e V e maiores valores nos atributos de Al³⁺, H⁺Al, CTC e m. Os teores de Mg²⁺ e de P não diferiram entre as camadas e tratamentos, sendo no ambiente de PA encontradas teores adequados de MO e maiores valores de COT. Os sistemas PA e EU se destacaram por apresentarem as piores condições físicas em razão da maior Ds. Em relação aos atributos químicos, os sistemas na área de PA e SE, apresentaram melhores condições químicas sob vários aspectos, porém tendo estes sistemas assim como os outros, valores de P abaixo dos teores adequados, assim como as proporções de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ na CTC que estão inadequadas. Os solos sob PA apresentaram maiores teores de MO e COT.

Palavras-chave: Indicadores. Qualidade do solo. Sistema integrados. Uso do solo.

ABSTRACT

Land use and management systems alter their properties in a different way. Therefore, studies are needed to assess these impacts on soil quality and sustainability under different uses. The objective of this study was to evaluate the chemical and physical characteristics of an Oxisol under different use systems. The treatments were carried out in areas under the cultivation of Seringueira (*Hevea brasiliensis*) (SE), *Eucaliptus urograndis* (EU), *Urochloa* (Syn. Brizantha) cv. Piatã (PA) and native forest (MN) in Pontes e Lacerda - MT. The experiment was conducted in a factorial scheme (4 x 2) over a completely randomized design and two layers of soil (0-0,10 m and 0,10-0,20 m), with four replications. The physical attributes evaluated were: Soil Density (Ds), Macroporosity (Macro), Microporosity (Micro) and Total Porosity. The chemical attributes evaluated were: pH, Phosphorus (P), Potassium (K^+), Calcium (Ca^{2+}) and Magnesium (Mg^{2+}), Aluminum (Al^{3+}), Potential Acidity ($H + Al$), Organic Matter (MO) and Organic Carbon Total (COT), also being calculated the cation exchange capacity (CTC), sum of bases (SB) and percentage of saturation by bases (V) and aluminum (m). The results obtained were submitted to analysis of variance (ANOVA) and when significant to the means, they were compared by the Skott-Knott test ($p < 0.05$). Regarding the physical attributes, higher Ds values were found under the EU and PA systems, in addition to lower values for macro attributes in anthropized environments and higher micro in them. Regarding the chemical attributes, lower pH values were found in the EU and MN areas at both layers, as well as lower $Ca + Mg$, SB and V values and higher values for the attributes of Al^{3+} , $H + Al$, CTC and m. The levels of Mg^{2+} and P did not differ between layers and treatments, with adequate levels of MO and higher COT values found in the PA environment. The PA and EU systems stood out for presenting the worst physical conditions due to the higher Ds. In relation to chemical attributes, the systems in the area of PA and SE, presented better chemical conditions under several aspects, however having these systems as well as the others, P values below the appropriate levels, as well as the proportions of Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ in CTC which are inadequate. Soils under PA showed higher levels of MO and COT.

Keywords: Indicators. Integrated systems. Soil quality. Use the soil.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e sua relação com a QS.	23
Quadro 2 - Principais enzimas indicadoras da qualidade biológica do solo.	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos Sistemas Integrados com base nos seus componentes.....	37
Figura 2 - Localização das áreas de estudo (Seringueira (SE), Pastagem (PA), Eucalipto (EU) e Mata Nativa (MN)), no <i>campus</i> universitário da UNEMAT em Pontes e Lacerda – MT.....	42
Figura 3 - Correlação entre pH e Acidez Potencial em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.....	49
Figura 4 - Relação dos atributos químicos de Ca, Mg e K em função dos diferentes sistemas/usos em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos físicos em função dos diferentes sistemas/usos e camadas em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.....	46
Tabela 2 – Atributos químicos em função dos diferentes sistemas/usos e camadas em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.....	48
Tabela 3 - Valores médios de carbono orgânico total (COT) em função dos diferentes sistemas/usos e camadas em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio
BM – Biomassa Microbiana
C – Carbono
Ca – Cálcio
CNN – Carne Carbono Neutro
CO – Carbono Orgânico
COT – Carbono Orgânico Total
CTC – Capacidade de Troca de Cátions
CV – Coeficiente de Variação
DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado
Ds – Densidade Do Solo
EDTA – Ácido Etilenodiaminotetracético
EU – Eucalipto
FBN – Fixação Biológica de N
FE – Ferro
H – Hidrogênio
Ha – Hectare
K – Potássio
KCl – Cloreto de Potássio
Knt – Potássio não Trocável
Ks – Potássio na Solução do Solo
Kt – Potássio Trocável
KT – Potássio Total
LV – Latossolo Vermelho
m – Saturação por Alumínio
Macro – Macroporosidade
Micro – Microporosidade
Mg – Magnésio
MN – Mata Nativa
MO – Matéria Orgânica
MOS – Matéria Orgânica do Solo

N – Nitrogênio
Na – Sódio
NaOH – Hidróxido de Sódio
NPM – Nitrogênio Potencialmente Mineralizável
P – Fósforo
PA – Pastagem
Pi – Fósforo na Forma Mineral
Po – Fósforo na Forma Orgânica
pH – Potencial Hidrogeniônico
P lábil – Fósforo Lábil
P não lábil – Fósforo não Lábil
P solução – Fósforo na Solução do Solo
QBS – Qualidade Biológica do Solo
QFS – Qualidade Física Do Solo
QS – Qualidade do Solo
 q_{Mic} – Quociente Microbiano
RP – Resistência do Solo a Penetração
S – Enxofre
SB – Soma de Bases
SAFs – Sistemas Agroflorestais
SE – Seringueira
SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SPD – Sistema de Plantio Direto
t – CTC Efetiva
T – CTC Total
UNEMAT – Universidade do Estado de Mato Grosso
V – Saturação por Bases

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 SOLO	17
2.1.1 Latossolo.....	19
2.2 QUALIDADE DO SOLO	21
2.2.1 Indicadores da qualidade química do solo.....	24
2.2.2 Indicadores da qualidade física do solo.....	30
2.2.3 Indicadores da qualidade biológica do solo	34
2.3 SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROFLORESTAIS (SAFs)	37
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE COLETAS DE AMOSTRAS DE SOLO	43
3.2 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS	43
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista que os países vêm cada vez mais abrangendo a produção agrícola como forma de expansão das suas atividades, são vistas crescentemente preocupações em relação a disseminação de cultivos e/ou rebanhos em terras sensíveis ou marginais. Aliando também a utilização descomedida de defensivos agrícolas, de modo que possam avariar os recursos naturais básicos, submetendo os ecossistemas a pressões que excedam sua capacidade de suporte (BATISTA, 2016).

À medida que estes ecossistemas naturais vão sendo substituídos por intensas e contínuas atividades agrícolas e agropecuárias, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo podem sofrer mudanças, temporárias ou permanentes, que porventura resultam em condições desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas. Assim, pode-se instaurar a degradação do solo, a qual geralmente está associada às perdas de matéria orgânica do solo (MOS) e da integridade estrutural dos solos (GUIMARÃES et al., 2013).

O solo deve dispor de uma estrutura estável e prover um suporte adequado para as plantas, sem inibir a proliferação das raízes e a sua atividade biológica. Sob esse aspecto, a manutenção de boas condições químicas e físicas do solo é essencial para o crescimento das culturas, já que essas propriedades, em conjunto com as propriedades biológicas, determinam o armazenamento e o fornecimento de água, nutrientes disponíveis, oxigênio e temperatura adequada, para o desenvolvimento vegetal (TOPP et al., 1997). No entanto, nem sempre essas condições são encontradas no campo, devido ao manejo inadequado do solo que ocasiona a sua degradação e a diminuição no rendimento de muitas culturas (COSTA et al., 2015; PRADO; ROQUE; SOUZA, 2002).

Assim, é necessário a intensificação da pesquisa e da divulgação de informações sobre o uso adequado das áreas utilizadas na agricultura, uma vez que nos últimos anos é possível constatar o incremento de áreas ocupadas por lavouras na região, além do aumento da adoção de sistemas integrados de produção agrícola no bioma cerrado (no qual soma uma área de 11,5 milhões de hectares) (GONTIJO NETO et al., 2018; SANTANA, 2016; VIEIRA FILHO; GASQUES, 2016; VILLELA, 2016).

Desta forma, em razão das alterações das propriedades do solo em função do seu tipo de uso, o presente trabalho objetivou-se avaliar a qualidade física e química de um Latossolo Vermelho sob os sistemas de eucalipto (EU), mata nativa (MN), pastagem (PA) e seringueira

(SE), instalados em áreas experimentais na Universidade do Estado de Mato Grosso/*Campus* de Pontes e Lacerda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a expansão das fronteiras agrícolas de forma global, as preocupações com relação a sustentabilidades dos sistemas de produção aumentaram, fazendo com que se torne um desafio produzir em áreas cada vez menores, mais produtos, sem, no entanto, comprometer as próximas gerações (CARDOSO et al., 2013).

Em países em desenvolvimento como o Brasil, há amplas possibilidades de se fundamentar o crescimento econômico no potencial de uso do solo, sendo, para isto, imprescindível o conhecimento de sua aptidão para os tipos de exploração agropecuária e/ou, florestal, concomitantemente com a preservação do meio ambiente (IBGE, 2007). Contudo, aspectos como o aumento da intensidade do uso do solo e a diminuição da cobertura vegetal nativa têm levado à degradação dos recursos naturais, como a diminuição da fertilidade e a desagregação do solo (FREITAS et al., 2014). Assim, estudos feitos por meio de indicadores da qualidade do solo são necessários a ser realizados para avaliar a intensidade de tais impactos sobre os ecossistemas.

2.1 SOLO

A crescente procura por alimentos, rações, fibras e combustíveis, refletiu no crescimento (ou desenvolvimento) da agricultura de maneira mundial, seja pela expansão (quando áreas de cultivo e pastagens se estendem para novas áreas, substituindo ecossistemas naturais) ou pela intensificação (quando as terras existentes são gerenciadas para serem mais produtivas, geralmente usando irrigação, fertilizantes, biocidas e mecanização pesada) o que consequentemente aumentou a pressão sobre recursos disponíveis, especialmente o solo (FOLEY et al., 2005; 2011).

O solo é definido como sendo uma coleção de corpos naturais, formados por materiais orgânicos ou não orgânicos, constituindo - se por três fases (líquida, gasosa e sólida), de maneira tridimensional e dinâmica, ocupando quase todas as regiões espalhadas pelo mundo, no qual este expõe se a sofrer modificações por ações antrópicas (SANTOS et al., 2018). Consequentemente, o recurso solo é reconhecido como um sistema dinâmico de vida que

emerge através de um equilíbrio e de interação únicas de características biológicas, químicas e físicas dos seus componentes (KARLEN et al., 1997).

A formação do solo se dá a partir de um material que lhe de origem (geralmente rochas), por meio da ação integrada e/ou simultânea de fatores climáticos (chuva, ventos, etc.) e biológicos (organismos), em determinado lugar e por certo tempo. O solo pode, portanto, ser estudado com base em seus elementos de formação (material de origem, relevo, clima, entre outros), e também, a partir dos seus processos de formação (adições, remoções, transformações e translocações) (LIMA; LIMA; MELO, 2007; ZIMBACK, 2003).

Deste modo, o solo é resultante de seus processos e elementos de formação (pedogênese), diferenciando-se de acordo com as suas características e propriedades (ZIMBACK, 2003).

O solo de maneira geral, é formado por partículas sólidas (ligadas entre si) e de espaços entre elas (poros). Estas partículas sólidas devem, idealmente, perfazer 50% de um solo agrícola ideal em sua camada arável e o restante deve ser ocupado pelos poros. O material sólido deve ter em sua composição 45% de material mineral e 5% de matéria orgânica, e os poros devem ser constituídos de 25% para armazenamento de água e 25% para aeração. No entanto estas proporções são modificadas nos diferentes tipos de solo em função da camada, práticas agrícolas, processos de formação, dentre outros fatores, no qual podem variar até mesmo no próprio solo (ZIMBACK, 2003).

Quando é feita a análise do perfil do solo, pode-se observar que este é constituído de secções paralelas, organizadas em camadas e/ou horizontes, diferentes do material de origem, como resultado dos elementos e processos de sua formação, em função do tempo. Estes horizontes refletem os processos de formação no qual tiveram origem a partir do intemperismo do substrato presente. Já as camadas, por sua vez, têm a característica de geralmente manter inalterado o seu material de origem (SANTOS et al., 2018).

A classificação do solo é feita com base na avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil do solo, sendo levados em conta os aspectos ambientais do local do perfil, como clima, vegetação, relevo, dentre outros, que também auxiliam na sua identificação (SANTOS et al., 2018).

Para a classificação pedológica em território brasileiro, a Embrapa Solos, publicou atualmente da 5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), a qual reúne um compilado de informações sobre o sistema atual dessa classificação. O SiBCS é estruturado com 6 níveis categóricos, sendo recomendado a classificação até o 4º nível categórico do sistema (SANTOS et al., 2018).

O solo de maneira geral tem a sua importância relacionada basicamente a algumas funções básicas no ambiente (COELHO et al., 2013):

- 1º Suporte físico e como fonte de água e nutrientes para as plantas e animais;
- 2º Dinâmica do ciclo hidrológico agindo em processos de infiltração, purificação, estocagem e manutenção da qualidade de água;
- 3º Ciclagem de nutrientes de restos de organismos vegetais e animais;
- 4º Manutenção da biodiversidade de organismos presentes no solo;
- 5º Base para todos os processos antrópicos (construção de rodovias, aeroportos, etc.).
- 6º Arquivo geológico e arqueológico e refúgio espiritual;
- 7º Reservatório de Carbono (C).

Do ponto de vista agrícola, o solo desempenha um importante papel, pois ele é o meio pelo qual que se provém a maioria dos produtos agropecuários. Em larga escala, o solo além de fornecer suporte as plantas, fornece os nutrientes e a água para o seu desenvolvimento, sendo este considerado um recurso não renovável, em função da baixa taxa de renovação dos seus nutrientes. Na agricultura extrativista ocorre muitas das vezes processo de exaurimento dos nutrientes do solo, como por exemplo, pela absorção dos nutrientes pelas plantas, sem a sua devida reposição posteriormente, através de adubações, ou pela prática das queimadas nos quais remove toda a fauna presente, e volatiliza nutrientes como o nitrogênio (N) (ANDREOLI; ANDREOLI; JUNIOR, 2014).

Outras práticas inadequadas do uso do solo também podem causar a sua degradação, como a retirada da camada nativa vegetal, a compactação e o uso inadequado de defensivos agrícolas, tendo impacto direto ou indireto, principalmente sobre os recursos hídricos. No entanto, afim de mitigar ou evitar tais impactos decorrentes do mau uso do solo, existem técnicas ou práticas como SPD (Sistema de Plantio Direto), rotação de culturas e manejo da cobertura vegetal, no qual, contribuem para a sustentabilidade do sistema, sem comprometer a função original do solo (ANDREOLI; ANDREOLI; JUNIOR, 2014).

2.1.1 Latossolo

O conhecimento do solo é de suma importância para adoção de técnicas adequadas para a sua conservação. Neste sentido, a classificação dos solos brasileiros é feita com o intuito de

caracterizar todos os solos em território Nacional. Este estudo é coordenado pela Embrapa Solos, e realizado por parcerias institucionais, entre universidades, instituições públicas estaduais ou federais, e entidades privadas. O estudo de classificação de solos é fundamentado na evolução de pesquisas anteriores, bem como no aperfeiçoamento de pesquisas na área de ciência de Solo. Este sistema é o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), sendo a sistematização nacional vigente para a classificação de solos (SANTOS et al., 2018).

Dentre as diferentes classes que fazem parte do SiBCS, os Latossolos (que foi o solo objeto de estudo do presente trabalho), são solos formados pelo processo de latolização, o qual consiste na remoção de bases do perfil do solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) e da sílica após a transformação dos minerais primários (SANTOS et al., 2018). São solos não hidromórficos, profundos (superior a 2 metros geralmente) e com a sequência de horizontes A, Bw e C pouco diferenciados, variando a coloração de vermelho escuro a amarelo (JACOMINE; ALMEIDA; MEDEIROS, 1973; SANTOS et al., 2018).

Dentro dos Latossolos, a subordem Vermelho, representa os Latossolos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Já dentro desta subordem este ainda pode ser dividido em grandes grupos como perférricos, acriférricos, acrícos, aluminoférricos, distroférricos, distróficos, eutroférricos e eutrófico a depender da saturação por bases e a quantidade de óxido de ferro (Fe_2SO_4) (JACOMINE; ALMEIDA; MEDEIROS, 1973; SANTOS et al., 2018).

Este solo se caracteriza por avançado processo de intemperização, resultado da remoção acentuada dos constituintes minerais primários, e até mesmo os secundários menos resistentes, sendo geralmente solos associados à baixa fertilidade. São ricos em óxidos de Ferro (Fe) e Alumínio (Al), sendo bem drenados e de textura variada. Possuem aptidão voltada para a agricultura, porém tendo que adotar muitas das vezes práticas de correção de solo (em razão da acidez elevada) e de fertilização (SOUZA; LOBATO, [2004?]).

De modo geral, são encontrados em relevo quase plano, possuindo grande camada e alta permeabilidade, consistindo se atributos que levam a considerar os Latossolos como de alta estabilidade e com baixo risco de erosão, sendo assim, solos com grande capacidade para suportar estradas, construções, além de ser local adequado para instalação de aterros sanitários. No ponto de vista agrícola suas características como camada, relevo quase plano, ausência de pedras, boa drenagem e permeabilidade fazem com que sejam um dos mais utilizados na produção rural (LIMA; LIMA; MELO, 2007).

Grande parte da região de Cerrados do Brasil é ocupada por Latossolos, comum em áreas planas e suaves onduladas, nos quais vem associada a um rápido desenvolvimento da atividade pecuária e a intensificação do plantio de culturas anuais (DONINI, 2011; SOUZA; LOBATO, 2004).

O bioma Cerrado, é considerado ambientalmente como uma das savanas mais expressivas do mundo, e dentre os biomas brasileiros, é o mais ameaçado pelo uso e ocupação dos solos, sobretudo nas últimas décadas. Esta rápida transformação da paisagem é favorecida em razão da topografia favorável à mecanização da agricultura (relevo pouco movimentado) e incentivos governamentais, propiciando na região um elevado potencial para a expansão das atividades agropecuárias (RODRIGUES; MELO, 2017).

Em áreas agrícolas e em áreas de pastagens, o tráfego constante de máquinas geralmente afeta apenas a camada de 0 - 20 cm, sendo diferente das áreas florestais, onde atinge maiores camadas, de maneira a influenciar a estrutura do solo (fluxo de gases, de água e de calor, na resistência do solo a penetração) e no desenvolvimento radicular e na produtividade das culturas (BOTTA et al., 2006, 2008; REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007).

Tais alterações sobre diferentes sistemas de uso em características de Latossolos, vem sendo destacadas em diversos estudos ao longo dos anos, os quais constataram modificações tanto nos atributos químicos, físicos e biológicos em relação a condição original do solo (mata nativa) (CAVENAGE et al., 1999; CARVALHO JÚNIOR; FREITAS; COSTA, 1998; COSTA et al., 2003; SOUZA; ALVES, 2003; PIRES et al., 2012).

Essas alterações são em parte ocasionadas em função de atividades antrópicas, principalmente relacionadas às atividades agropecuárias (FIGUEIREDO; FONSECA; NUNES, 2015; SILVA; FORMAGGIO; SHIMABUKURO, 2010). Tais atividades quando incorporadas ao processo produtivo agropecuário, sobre as áreas nativas de cerrado, ocasionam-se muitas das vezes uma ruptura do equilíbrio natural presente no solo, desfavorecendo este ecossistema (PAPA et al., 2011). No entanto, quando as áreas ocupadas por atividades agropecuárias são bem manejadas e estruturadas, tem sido constatados aumentos na produtividade das culturas nessas áreas, o que está diretamente relacionado à melhora nas propriedades do recurso solo (ASSAD, 2016).

2.2 QUALIDADE DO SOLO

Um dos aspectos de maior importância sobre os sistemas de produção agropecuária, diz respeito à qualidade do solo (QS), pois é, por meio deste que se provém a maioria os produtos agropecuários, seja de modo direto ou indireto. Fundamentada na importância do recurso solo, tem sido buscada um tipo de exploração desse sistema de forma mais consciente, com o uso eficiente e ambientalmente correto de todos os processos e produtos utilizados nos mesmos (TIECHER, 2016). Para caracterizar este uso sustentável do solo, foi definido o termo, “qualidade do solo” (QS), o qual foi desenvolvido para avaliar os fatores que referem-se a funcionalidade do solo, sendo este concernente ao uso sustentável dos recursos do solo, em termos de aumento da produtividade agrícola, qualidade ambiental e saúde humana (KARACA et al., 2011).

O termo Qualidade de Solo (QS) foi definido em 1990, durante o relatório “Soil and Water Quality – na Agenda for Agriculture” (Natural Research Council - NRCC, 1993), em razão de sua função nos ecossistemas naturais e nos agroecossistemas. De lá para cá, o termo QS foi sofrendo diferentes formulações por diversos autores da área de ciência do solo (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997; SOJKA; UPCHURCH, 1999).

A definição de QS feita pela Sociedade Americana de Ciência Solo (SSSA) é umas das mais aplicáveis e abrangentes, pois, define a QS como sendo a capacidade de um solo funcionar, dentro de um ecossistema natural ou manejado, com base na, integração entre a produtividade animal e vegetal, a manter ou melhorar a qualidade do ar e da água, além de apoiar a saúde e habitação humana (KARLEN et al., 1997).

Segundo Karlen et al. (1997) a avaliação da QS pode ser realizada por meio de parâmetros quantitativos ou qualitativos, através da avaliação do solo ou da planta, sobre algum processo ou atividade envolvida, para que se possa caracterizar, avaliar ou acompanhar as alterações ocorridas no mesmo.

Como a QS é dependente de inúmeras variáveis, ela não pode ser avaliada de forma direta. Porém, está como ser mensurada por meio de diversas variáveis que são conhecidos como indicadores de qualidade do solo (Quadro 1) (ANDREWS; KARLEN; CAMBARDELLA, 2004; KARLEN et al., 1997; KARLEN; STOTT, 1994).

Com a função de monitorar a qualidade do solo, os indicadores devem ter a capacidade de identificar um conjunto de propriedades do solo, por meio dos seguintes critérios: integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas; ser acessível e aplicável no campo; ser sensível a variações de manejo e clima; elucidar os processos e os relacionar ao ecossistema e quando possível ser componente de um banco de dados já existente (DORAN; PARKIN, 1994).

Quadro 1 - Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e sua relação com a QS.

Indicadores	Relação com a QS
Físicos	
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes.
Infiltração e Densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo.
Resistência do Solo a Penetração	Desenvolvimento do sistema radicular.
Condutividade Hidráulica	Locomoção da água no solo.
Capacidade de Retenção de Umidade	Armazenamento e disponibilidade de água.
Químicos	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes.
Capacidade de Troca Catiônica	Armazenamento e a disponibilização de Nutrientes.
Condutividade Elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana.
Conteúdo de N, P, K Ca e Mg	Disponibilidade de nutrientes para as plantas.
Matéria Orgânica do Solo	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.
Biológicos	
Biomassa Microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes.
Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes.
Respiração do Solo	Atividade microbiana.
Quociente Microbiano	Atividade microbiana.
Fixação Biológica do N ² (FBN)	Potencial de suprimento de N para as plantas.
Atividade Enzimática do Solo	Atividade microbiana e catalítica no solo.

Fonte: Adaptado de Doran e Parkin, (1994); Araújo e Monteiro, (2007).

A QS pode melhorar ou se deteriorar dependendo dos fatores que a influenciam. Porém, existem aqueles fatores que são fixos e, portanto, não podem ser modificados, tais como: geológico, climático e o tempo (FRIGHETTO; VALARINI, 2000).

O uso dos indicadores esbarra, porém em alguns entraves em função de fatores como: a multifacetada integração das variáveis presentes; a busca frequente de indicadores-chave e a padronização das variáveis (ARSHAD; MARTIN, 2002; NORTCLIFF, 2002). Isso faz com que as dificuldades de se avaliar tais indicadores sejam, portanto, relacionadas aos fatores intrínsecos do solo, de forma integrada entre os componentes e o grau de intervenção do homem no solo (ARAÚJO et al., 2012).

Não é de hoje que vêm sendo feitas diversas pesquisas para se avaliar quais atributos melhor denotam as variáveis da QS, sendo estes estudados nas esferas físicas, químicas e biológicas do solo, bem como de forma individual e integrada (ALENCAR et al., 2015; CAMPOS et al., 2019; HUNGRIA, 2018; PEREIRA, 2018; SANTOS SILVA, 2018; SOUZA, 2016).

Em ambientes de cerrados, alguns autores têm buscado por meio de estudos, os melhores indicadores para demonstrar a influência em comparação ao ambiente natural (normalmente a mata nativa) (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007; FRANÇA DE FREITAS et al., 2012; LISBÔA et al., 2016; STEFANOSKI et al., 2016).

Araújo, Goedert e Lacerda (2007) por meio do estudo de diferentes sistemas em comparação a uma área de cerrado nativo, encontraram maiores valores de densidade do solo e menores valores de porosidade total e MOS, o que é reforçado por Souza et al., (2006) em que observou menores valores de biomassa microbiana (BM) e de carbono orgânico total (COT) em áreas de pastagem em relação a áreas de cerrado nativo, demonstrando a influência de intervenções do homem no solo.

2.2.1 Indicadores da qualidade química do solo

Os ecossistemas naturais apresentam uma integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acúmulo e decomposição da matéria orgânica e agregação do solo. Dessa forma, o conhecimento das modificações químicas do solo, causadas pelo cultivo contínuo, pode fornecer subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e a conservação dos ecossistemas (FREITAS et al., 2017).

O tipo de manejo adotado nos solos pode melhorar, manter ou até mesmo piorar seus atributos químicos, de modo a interferir de maneira direta na sua capacidade produtiva (RIBEIRO, 2018). A intensificação dos sistemas, por exemplo, com a utilização de defensivos agrícolas podem aumentar o nível de metais pesados nas culturas, o que tem gerado preocupações em relação as consequências ambientais e de saúde humana (MENDES et al., 2010).

Para se avaliar essas alterações nas propriedades do solo, decorrentes dos impactos da intervenção antrópica em ecossistemas naturais, pode ser feito o uso de indicadores de qualidade do solo, constituindo-se como um instrumento para auxiliar no monitoramento da situação atual e alertar para possíveis riscos em projeções futuras, quando adotada o sistema de mata nativa como referência (CARDOSO et al., 2011). No entanto, há de se ter cuidado com as

áreas de referência em relação ao que de fato se pretende, pois por exemplo nas áreas de Cerrado, frequentemente o potencial hidrogeniônico (pH), está fora da faixa ideal para as plantas cultivadas, indicando que nem sempre o que a área nativa apresenta seja o melhor em termos de QS (FAGERIA; STONE, 1999).

Os indicadores químicos, geralmente, são agrupados em variáveis relacionadas com o teor de MOS, a acidez do solo, a capacidade de troca de cátions (CTC), conteúdo de nutrientes, teores de elementos fitotóxicos (Al^{3+} , dentre outros), porcentagem de saturação de bases (V) e porcentagem de saturação por alumínio (m) (ARAÚJO et al., 2012).

Gomes e Filizola (2006) agruparam os indicadores químicos em relação as suas funções agronômicas ou ambientais:

1º Aqueles que indicam processos ou comportamentos do solo (pH e Carbono Orgânico CO);

2º Aqueles que dizem respeito a capacidade de troca de íons (CTC, Óxidos de Ferro e Alumínio e o Tipo de Argila);

3º Os que apontam as necessidades nutricionais da cultura (Nutrientes disponíveis N, Calcio (Ca^{2+}), Fósforo (P), dentre outros);

4º Aqueles que mostram sinais de poluição ou contaminação presentes no solo (Elementos-traço como Níquel, Molibdênio, Chumbo, Cádmio, dentre outros).

Kelly et al. (2009) indicam que o pH do solo, a CTC, a matéria orgânica (MO) e os níveis de nutrientes, são os principais atributos químicos para se avaliar a saúde do solo, principalmente ao considerar o solo como suporte para as culturas. Tais atributos estão relacionados a capacidade em fornecer nutrientes para as plantas e/ou reter componentes tóxicos ao ecossistema (CARDOSO et al., 2013).

A matéria orgânica do solo (MOS) refere-se aos componentes vivos e não vivos presentes no solo, sendo os componentes vivos as raízes das plantas, a fauna e os microrganismos que correspondem de 60 a 80% deste total (PASSOS et al., 2007). Já as partes dos componentes não vivos, englobam a matéria macrororgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não-humificadas. As substâncias humificadas são as frações de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas e as não humificadas incluem os carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucleicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos (MARTINS FERREIRA; TAVARES FILHO; FERREIRA, 2010; PASSOS et al., 2007).

A MOS está relacionada em vários processos fundamentais do solo, tais como a ciclagem e a retenção de nutrientes, agregação do solo e a dinâmica da água, além de ser fonte de energia para a atividade biológica, por isso o seu importante papel como indicador da qualidade química e biológica do solo (ROSCOE; MERCANTE; SALTON, 2006).

Outro indicador é o CO sendo considerado um indicador chave em solos agrícolas (BASTIDA et al., 2008). O CO é constituinte da MOS (cerca de 58% da sua composição) (ROCHA, 2017). Embora não seja um nutriente para a planta, baixos valores podem afetar a produtividade em razão de seu efeito na estrutura; na disponibilidade de água para as plantas, e no seu poder de tamponamento frente a presença de compostos muitas vezes tóxicos às plantas (GOMES; FILIZOLA, 2006).

Assim como os demais, a CTC é outro indicador da QS do solo, no qual é definida como sendo a quantidade total de cátions retidos na superfície das argilas ou coloides minerais e orgânicos existentes no solo, sendo está expressa em $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ (GOMES; FILIZOLA, 2006).

O fenômeno de adsorção e troca de cátions próprio dos minerais de argilas e da matéria orgânica, constitui uma das mais importantes propriedades dos solos, justamente, pelo fato de determinar o armazenamento e a disponibilização de elementos nutrientes para as plantas. A CTC se relaciona também com muitos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos, notadamente com a textura, mineralogia da argila, teores de matéria orgânica, dentre outros, sendo motivo pelo qual é usada como indicadora da qualidade físico-química do solo (TAVARES et al., 2008).

A porcentagem de saturação por bases (V) expressa a porcentagem da CTC do solo que é ocupada por bases como Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Potássio (K^+) e eventualmente o Sódio (Na^+) sendo importante para se conhecer o nível de fertilidade de um solo (KAZMIERCZAK, 2018). Um valor V baixo significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , saturando as cargas negativas dos coloides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H e Al^{3+} . A maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor V entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (RONQUIM, 2010). Apesar de importante como indicador de QS, deve-se avaliar o V em conjunto com a CTC, pois as vezes um alto V pode ser devido à baixa CTC.

Já a saturação por alumínio (m) indica a proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo (CAMPOS et al., 2017a). A elevada concentração de Alumínio (Al^{3+}) disponível é um dos fatores que mais causam problemas de toxicidade em solos com pH abaixo de 5,0 (ácidos), constituindo um fator limitante ao

crescimento das plantas cultivadas. A presença do Al^{3+} reduz o crescimento e o desenvolvimento das raízes e diminui a absorção de nutrientes, o que é desfavorável para o desenvolvimento de plantas sensíveis a esse elemento (MIGUEL et al., 2010).

Os nutrientes no solo são a fonte nutricional da planta, sendo fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das culturas. Alguns nutrientes podem ser facilmente mensurados no solo como o P, K^+ , N, Ca^{2+} , e Mg^{2+} e enxofre (S) (Macronutrientes). Além da disponibilidade destes, a relação entre eles se torna importante como é o caso da relação Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ (KAZMIERCZAK, 2018).

Dentre os nutrientes o N, apesar de abundante na atmosfera na forma de N_2 (onde representa 78% do volume), está presente, na maioria dos solos, em quantidades insuficientes para suprir a necessidade das plantas (ANICÉSIO, 2014; CANTARELLA, 2007).

O N é um dos nutrientes de fundamental importância para o componente vegetal, sendo este encontrado no solo em várias formas. É constituinte de vários compostos em plantas, destacando-se os aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e clorofila. Sendo assim, as principais reações bioquímicas nas plantas e nos microrganismos é dependente da presença do N, o que o torna um dos nutrientes absorvido em maiores proporções. Para ingressar no sistema solo-planta o N pode vir de deposições atmosféricas, fixação biológica de N (FBN simbiótica ou não), adubações químicas ou orgânicas. Por outro lado, pode sair por meio de remoção pelas culturas e variados mecanismos de perdas, que incluem lixiviação e volatilização (CANTARELLA, 2007).

O N é um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas e sua disponibilidade muitas das vezes é um fator limitante, podendo reduzir a sua produtividade. A baixa disponibilidade deste, decorre dele se encontrar principalmente na forma orgânica (o que significa que não está disponível para as plantas) sendo também relacionados aspectos à sua dinâmica complexa, e os baixos teores de MOS no solo são alguns dos motivos pelo qual o solo apresenta baixos teores de N (SOUZA; MELO, 2000). Isso significa que nem sempre uma alta quantidade de N, representa uma alta disponibilidade deste às culturas, pois a liberação de N para a forma mineral depende da decomposição da MOS e das condições ambientes. Por causa destes fatores, a avaliação da disponibilidade deste no solo, deve ser feita com relação a condições como precipitação pluvial e temperatura, para se evitar erros quanto a adição de N via aplicação de fertilizantes (POLETTTO, 2004).

Dessa forma, embora o N seja importante em relação a nutrição mineral das plantas, o seu uso como indicador de QS se torna difícil em razão da sua dinâmica no solo (CANTARELLA, 2007).

O fósforo (P) é o principal nutriente que limita rendimentos agrícolas em solos tropicais devido aos baixos teores no solo e pela sua baixa mobilidade, em solos altamente intemperizados e oxidicos, onde a maior parte total do P no solo é fixado em minerais de argila (óxidos de Al e Fe) com os quais possui grande afinidade (CARDOSO et al., 2013; PEREIRA, 2009).

No solo este elemento é encontrado nas formas orgânica (Po) ou na forma mineral (Pi), adsorvida fracamente aos minerais secundários. O Pi compreende o íon fosfato na solução do solo (P - solução) e o Po é originado dos resíduos vegetais, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (MARTINAZZO et al., 2007) e pode constituir cerca de 5 a 80% do P total do solo. Na solução do solo, o P ocorre nas formas aniônicas, H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , cujas concentrações variam em função do pH. Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Do ponto de vista da fertilidade do solo, independentemente da natureza química, a disponibilidade de P é classificada de acordo com a facilidade de reposição de íons fosfato na solução do solo. Assim, o conjunto de compostos capazes de repor o P rapidamente na solução do solo, quando este é absorvido por plantas ou microrganismos, representa a fração lábil de P (P - lábil). Os compostos de baixa solubilidade, precipitados ou fixados, são formas pouco ou nada reversíveis, e representam a fração não-lábil de P (P - não lábil) (LEITE, 2015; NOVAIS et al., 2007).

O P é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento adequado de P é primordial pois, pode reduzir de modo significativo a taxa fotossintética e a respiração das culturas quando este se apresentar em deficiência (GRANT, 2001).

Outro elemento que pode ser utilizado na avaliação da QS do solo é o potássio (K^+) onde usualmente é distinguido nas seguintes formas: K^+ na solução do solo (Ks); K^+ trocável (Kt), fracamente retido na CTC do solo; K^+ não trocável (Knt), retido na estrutura de minerais (K^+ estrutural), mais o retido nas entre camadas de argilominerais expansivos (K^+ “fixado”); K^+ total (KT), sendo extraído com solução extratora de Mehlich-I (PEREIRA, 2009).

O K^+ é um dos nutrientes mais abundantes nos solos, entretanto apenas uma pequena fração encontra-se em formas mais prontamente disponíveis às plantas. Portanto, devido ao manejo incorreto, às perdas por lixiviação, e a grande extração pelas plantas, a concentração desse nutriente na solução do solo é reduzida rapidamente, necessitando de reposição via adubação (ANICÉSIO, 2014; ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

O K^+ desempenha várias funções na planta em especial, a participação no processo fotossintético, na regulação osmótica e na respiração. Sua deficiência em plantas é diagnosticada por meio da clorose na borda das folhas mais velhas (no início), retardo de crescimento e de frutificação e menor intensidade de cor nos frutos (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

Em razão da importância do K^+ na agricultura e das suas características, a reposição de tal nutriente pode ser realizada por meio de culturas cultivadas de maneira sucessivas, de modo a reciclar este nutriente, ou podendo ser através de adubação antecipada (na cultura anterior), o que não é garantida dependendo do solo em razão da sua perda por lixiviação (AMARAL DA COSTA, 2020; SILVA; LAZARINI, 2014).

A inter-relação entre os nutrientes cálcio e magnésio na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Tais nutrientes são definidos secundários (não em razão de sua importância) e sim com base na quantidade que são requeridas pelas plantas (MEDEIROS et al., 2008).

Ambos os nutrientes são absorvidos na planta em forma de cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo retidos nas superfícies das argilas e da matéria orgânica (negativa). Seu uso está principalmente condicionado a neutralização da acidez do solo, Al^{3+} e o Hidrogênio (H^+), por meio da aplicação calcário, gesso, dentre outros. Estes componentes são ainda constituintes da clorofila das plantas (Mg^{2+}), e participam em processos como o de fotossíntese, respiração, e na ativação de sistemas enzimáticos, atuando no pleno desenvolvimento das culturas (LOPES, 1998).

Outro indicador de fundamental importância é o pH, no qual indica a quantidade de íons hidrogênio (H^+) que existe na solução do solo, indicando se ele é ácido (pH menor que 7), básico (pH maior que 7) ou neutro igual a 7 (RONQUIM, 2010). O pH exerce grande influência

sobre a disponibilidade de nutrientes e sua absorção pela planta. Solos ideais para o cultivo devem apresentar pH entre 6,0 e 6,5. Porém, esta faixa pode ser estendida de 5,5 a 6,8 (GOMES; FILIZOLA, 2006). O pH do solo é considerado como um indicador chave porque se correlaciona diretamente com os nutrientes (disponibilidade e solubilidade) e também com a atividade microbiana (CARDOSO et al., 2013).

Autores como Cardoso et al. (2011), constaram através da avaliação de alguns atributos químicos e físicos do solo, a perda da qualidade química do solo, principalmente na camada superficial, por meio da redução da MOS, soma de bases trocáveis e da CTC, sendo em função da substituição da vegetação nativa por sistema de pastagem cultivada, bem como pela utilização de pastagem cultivada sob o sistema de pastejo contínuo.

Em solos tropicais como os do Cerrado, o manejo da fertilidade é um dos maiores desafios nas operações agrícolas devido aos baixos teores de nutrientes, acidez e dificuldade de manejo dos nutrientes, o que faz com que sejam necessárias a adoção de técnicas de manejo adequadas, para aumentar a probabilidade de sucesso, quanto a incorporação destes solos ao processo de produção de alimentos (AMARAL DA COSTA, 2020; LOPES; GUILHERME, 1994).

2.2.2 Indicadores da qualidade física do solo

Em sua condição natural, o solo sob tal sistema (mata nativa), dispõe de características físicas como densidade, porosidade, agregação e permeabilidade em níveis adequados, na maioria das vezes. Porém em função da utilização para o uso humano, o solo sofre determinadas variações, levando a perda da qualidade estrutural e de fertilidade do solo sobre práticas inadequadas (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000).

A manutenção da qualidade física do solo (QFS) encontrada sobre as áreas nativas, vem sendo estudada dentro do campo da sustentabilidade, afim de se buscar o aumento da produtividade das culturas, bem como encontrar valores ótimos de parâmetros ligados a QFS do solo (ARSHAD; MARTIN, 2002; REYNOLDS et al., 2002).

Dentre os indicadores de QFS pode-se citar, o uso da densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração (RP), capacidade de retenção de água, porosidade total do solo, textura, espessura (Horizonte A+B); condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2012; ARSHAD; MARTIN, 2002). Os indicadores de QFS tem sido bastante utilizado, por

serem de fácil determinação e um custo considerado baixo (em alguns atributos) para a obtenção de medidas, sendo atualmente o mais usual entre os pesquisadores (RIBEIRO, 2018).

A degradação do solo é originada principalmente do manejo inadequado do solo, o que resulta em perda da matéria orgânica, e depois alterações nas frações físicas, químicas e biológicas. A MOS se encontra sobretudo no horizonte superficial (Horizonte A), sendo um dos melhores indicadores da qualidade física, química e biológica do solo (JAKELAITIS et al., 2008).

Neste horizonte (horizonte A), se torna propício para os processos de ciclagem de nutrientes e da MOS, em razão da sua relevância na armazenagem de água e de provimento de nutrientes para as plantas, sendo assim a espessura um indicador recomendável (ARAÚJO et al., 2012; SNAKIN et al., 1996).

A textura do solo é definida como sendo a proporção relativa das frações granulométricas (argila, silte, areia). Sua importância na avaliação da QS está relacionada à sua forte influência na maioria das propriedades químicas e físicas do solo, tais como aeração, infiltração, drenagem, retenção de água, consistência, dentre outras, (TAVARES et al., 2008).

Cabe salientar que a textura é o atributo que menos sofre alteração ao longo do tempo, podendo, porém, sofrer em condições atípicas como fenômenos erosivos ou retirada ou adição de materiais terrosos por ação antrópica. Sua importância para a compreensão do comportamento do solo é de grande importância, visto que implica diretamente sobre o manejo que é dado ao solo, em relação ao suporte a vida vegetal e análise de possíveis riscos de processos de degradação e/ou erosão (TAVARES et al., 2008).

Outro atributo físico avaliado na QFS é a capacidade de retenção de água, no qual como o próprio nome já diz, é a capacidade do solo em reter a água presente no solo. Esta capacidade dependerá de fatores como a textura, número e tamanho dos poros, estrutura do solo, nível de MOS e a mineralogia do solo (ARAÚJO et al., 2012; LOWERY et al., 1997; TAVARES et al., 2008). Sua importância se deve ao fato de estar relacionada ao transporte e armazenamento de água no solo, a erodibilidade e ao teor de água disponível (DORAN; PARKIN, 1996).

Já a porosidade total do solo por outro lado se refere à quantidade de poros em relação ao volume de solo, podendo ser subdividida grosseiramente em microporosidade (MICRO) e macroporosidade (Macro). A macro é responsável pela circulação de água (drenagem), ar e raízes e a micro pela retenção da água (TAVARES et al., 2008).

O uso da porosidade total na avaliação da QFS tem sido em razão de ser uma propriedade dinâmica e sensível a alterações, além de ser um atributo de fácil mensuração, ao qual está

associado a compactação e ao impedimento do desenvolvimento das raízes das plantas (ARSHAD; LOWER; GROSSMAN, 1996).

A densidade do solo (Ds) é definida como sendo o quociente de sua massa de sólidos por seu volume total, sendo afetada pelos cultivos que alteram a porosidade, teor de MOS, o arranjo e o volume de poros e a resistência mecânica do solo (KLEIN, 2006). A Ds é uma das propriedades física mais dinâmica do solo e varia em função da textura do solo, sendo elevada quando sua estrutura é degradada, ocasionando redução da macroporosidade (responsável pelo fluxo de gases e raízes no solo) (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007; ARAÚJO et al., 2012).

Uma das principais causas antrópicas responsável pela alteração da Ds é a compactação pelo uso descomedido de maquinários agrícolas sob diferentes condições de umidade ou o próprio pisoteio animal (KLEIN, 2006). Isso por conta de a compactação modificar a estrutura do solo, podendo aumentar a Ds, diminuir a porosidade e permeabilidade do solo e reduzir a absorção de nutrientes, bem como no desenvolvimento do sistema radicular das plantas (BATEY; MCKENZIE, 2006).

A resistência mecânica à penetração refere-se à resistência física que o solo oferece à penetração. Está diretamente relacionada com a compactação do solo e correlacionado com a sua umidade e textura (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005). Sua mensuração é realizada com o intuito de se avaliar a limitação a penetração e ao impedimento do desenvolvimento do sistema radicular, sendo feita por meio de penetrômetros, em função dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (GARDNER; LARYEA; UNGER, 1999).

Diferente da capacidade de retenção de água, a condutividade hidráulica é uma propriedade que expressa a facilidade com que água se move no solo (GONÇALVES; LIBARDI, 2013). Ela é uma função das propriedades do meio poroso e dos fluidos que o atravessa (CLEARY, 1989). Esses fluidos que afetam diretamente a condutividade são a viscosidade e a densidade, sendo o meio poroso, a textura e a estrutura do solo os seus determinantes (ARAÚJO et al., 2012).

A condutividade hidráulica é o coeficiente de proporcionalidade da lei de Henry Darcy de 1856, o qual é descrito por uma equação, que estabelece que a quantidade de água que passa em função do tempo e de área em um ambiente poroso saturado é equivalente ao gradiente potencial de água neste meio (GONÇALVES; LIBARDI, 2013; PINHEIRO; NUMMER; RAUBER, 2017).

A condutividade hidráulica é dependente de alguns fatores do meio físico como a porosidade, tamanho, distribuição e arranjo das partículas e a viscosidade e a massa específica

dos fluidos (FEITOSA et al., 2008). Para a determinação do coeficiente de condutividade hidráulica são necessários ensaios que podem ser a campo (por meio da estimativa da função K) ou em laboratório (mediante o permeâmetro de carga constante por exemplo) (CARVALHO et al., 2002).

Este coeficiente representa uma das propriedades do solo de mais alta variabilidade, sendo de grande importância no ambiente das atividades agrícolas, por conseguinte relação na produtividade das culturas e na preservação dos recursos naturais (GONÇALVES; LIBARDI, 2013; PINHEIRO; NUMMER; RAUBER, 2017).

Semelhante a Ds, a estabilidade de agregados é outro indicador possível de uso na avaliação da QFS, sendo resultado do rearranjo de partículas, floculação e cimentação (DUIKER et al., 2003). Esse atributo é o que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo, pois influencia a infiltração, a retenção de água, a aeração, a RP, o selamento e o encrostamento superficial, bem como na erosão hídrica e eólica (ÂNGULO, 1983; ARAÚJO et al., 2012; EGASHIRA; KAETSU; TAKUMA, 1983).

Na avaliação da qualidade de solo, a estabilidade de agregados é um indicador utilizado como atributo que infere, tanto na qualidade física como microbiológica, visto que, a desestruturação do solo pode ser estimada em função da estabilidade dos agregados (NUNES, 2018).

Para se mensurar tais atributos físicos deve se ter o cuidado, com relação a interdependência entre os indicadores, tendo que se fazer o uso dos mesmos em conjunto, bem como a análise dos atributos de modo temporal, em razão das modificações que podem ocorrer nos atributos ao longo do tempo (ARSHAD; MARTIN, 2002; FAZEKAŠOVÁ, 2012).

Algumas das alterações nos atributos físicos do solo podem ser influenciadas por alguns aspectos como o tempo de pastejo (CORREA; REICHARDT, 1995), taxa de lotação animal utilizada (LEÃO et al., 2004), e a quantidade de acúmulo de matéria vegetal sobre o solo (BRAIDA et al., 2006). Essas alterações implicam numa sequência prejudicial com o crescimento reduzido das plantas, menor reciclagem e mineralização de nutrientes, redução da atividade microbiana e aumento do desgaste das máquinas (HAMZA; ANDERSON, 2005).

Dos componentes de manejo, o preparo do solo, talvez seja a atividade que mais influência no comportamento físico do solo, pois atua diretamente em sua estrutura, sendo a retirada da cobertura vegetal uma das principais causas do manejo inadequado do solo, a qual acarreta na exposição do solo a ação das chuvas erosivas e dos ventos (CRUZ, 2006; GELVÂNIA, 2006; HAMZA; ANDERSON, 2005; MARINHESKI, 2016). Essas modificações

ocasionadas pelo manejo de solo alteram de modo resultante a porosidade e a densidade, nos quais afetam a retenção de água e a resistência mecânica, dentre outros efeitos (SILVA; KAY; PERFECT, 1994).

Alguns estudos têm demonstrado a importância da avaliação das propriedades físicas sobre a qualidade do solo. Soares et al. (2016), avaliando diferentes sistemas de uso em relação a diversos atributos físicos do solo, constataram que os sistemas que foram submetidos a alguma ação antrópica, tiveram seus atributos modificados, especialmente a Ds, a macro e a micro, a resistência do solo à penetração e volume total de poros. Jorge et al. (2012) também avaliando diferentes manejos, ressaltam que os tipos de manejos que resultaram em maior mobilização de solo causaram maiores efeitos negativos em seus atributos físicos.

Diante dessas modificações ocorridas na estrutura dos solos agrícolas em decorrência de práticas antrópicas, no qual algumas delas promovem a desestruturação do solo, a escolha de técnicas adequadas ao uso e manejo do solo se fazem necessários para a promoção da melhoria das propriedades do solo, aumentando o potencial agrícolas dessas áreas (STEFANOSKI et al., 2016).

2.2.3 Indicadores da qualidade biológica do solo

No solo estão presentes concentrações tanto de resíduos de vegetais quanto de animais, bem como o produto das transformações dos mesmos. Estas transformações são decorrentes da decomposição dos materiais, principalmente por meio da ação dos microrganismos encontrados no solo, dos quais se consegue avaliar a qualidade biológica do solo (PEREZ; RAMOS; MCMANUS, 2004).

Os microrganismos que entram na avaliação da qualidade biológica do solo (QBS) podem ser utilizados como biondicadores em processos ou propriedades biológicas no interior do solo, indicando o estado deste ecossistema. (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; DORAN; PARKIN, 1994).

Dentre os indicadores biológicos, pode-se citar atributos como a biomassa microbiana do solo, nitrogênio mineralizável, respiração microbiana do solo, atividade enzimática e o quociente microbiano, sendo estes importantes tanto no que se refere à ciclagem dos nutrientes, como também na estimativa do desenvolvimento vegetal (ARAÚJO et al., 2012).

A biomassa microbiana (BM) do solo é o componente vivo da MOS (BROOKES, 2001). Sua avaliação é útil para se obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades biológicas do solo, detectar variações causadas por cultivos ou por devastação de florestas, medir a regeneração dos solos após a remoção da camada superficial e avaliar os efeitos de poluentes como metais pesados e pesticidas (FRIGHETTO; VALARINI, 2000).

Tem sido verificado que a BM é afetada por diversas variáveis, tais como o manejo e o cultivo realizado no solo, resíduos vegetais e por variações sazonais de temperatura e umidade no solo (PEREZ; RAMOS; MCMANUS, 2004).

O estudo da BM tem sido realizado por diversos pesquisadores, por este componente ser um dos melhores indicadores da qualidade biológica do solo e de sustentabilidade dos sistemas de produção (SOUZA et al., 2006), podendo este ser feito por meio da avaliação de microscopia dos componentes da BM (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), ou por fumigação-extração, fumigação-incubação e a respiração induzida por substrato (ANDERSON; DOMSCH, 1978).

Já a atividade enzimática no solo tem um papel importante por meio da catálise de inúmeras reações necessárias para o ciclo de vida no solo, para a decomposição de resíduos orgânicos, no ciclo de nutrientes e na formação da matéria orgânica e estrutura do solo (FRIGHETTO; VALARINI, 2000). As principais enzimas utilizadas na avaliação estão indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais enzimas indicadoras da qualidade biológica do solo.

Enzimas do solo	Reação enzimática	Atividade indicadora
Desidrogenase	Sistema de transporte de elétrons	Atividade microbiana
B-glucosidade	Hidrólise da celobiose	Ciclagem de C
Celulase	Hidrólise da celulose	Ciclagem de C
Uréase	Hidrólise da ureia	Ciclagem de N
Amidase	Mineralização do N	Ciclagem de N
Fosfatase	Liberação de PO ₄	Ciclagem de P
Arisulfatase	Liberação de SO ₄	Ciclagem de S
FDA	Hidrólise	Atividade enzimática

Fonte: Araújo e Monteiro, (2007).

As enzimas presentes no solo podem estar associadas a células microbianas (enzimas intracelulares), bem como não associadas (enzimas extracelulares), podendo ainda existir correlações entre a atividade enzimática e outros indicadores biológicos, o que dependendo de sua origem, as enzimas presentes no solo apresentarão mudanças de curto ou longo prazo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; KARACA et al., 2010).

Outro indicador usado para se mensurar a QBS é a respiração do solo, que se dá por meio da oxidação biológica da matéria orgânica em CO_2 pelos microrganismos aeróbicos. Esta avaliação tem sido a técnica mais utilizada para quantificar a atividade microbiana, sendo relacionada a MOS e a BM (ALEF; NANNIPIERI, 1995; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Assim, como os outros métodos, a respiração do solo é bastante variável e dependente, principalmente, da disponibilidade do substrato, umidade e temperatura (BROOKES, 1995). De acordo com Araújo e Monteiro (2007), sua mensuração pode ser feita por meio do consumo de O_2 , como também pela produção de CO_2 , que pode ser mais sensível quando comparada a de O_2 , pois a concentração de CO_2 (0,033%) na atmosfera é mais baixa que do O_2 (20%).

Outro indicador da QBS é o nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM), onde tem sido recomendado como um importante indicador da qualidade do solo, pois o N, em sua maior parte, se encontra na forma de compostos orgânicos, no qual para poder ser utilizado pelas plantas necessita ser convertido da forma orgânica para a forma mineral (mineralização). Este é um processo enzimático do qual microrganismos heterotróficos, aeróbicos e anaeróbicos, utilizam os resíduos vegetais como fontes de carbono, nitrogênio e energia para converter o nitrogênio orgânico em formas inorgânicas (FERREIRA, 2005; VIEIRA, 2017).

Análogo a BM, o quociente microbiano (q_{MIC}) também vindo sendo usado na análise da QBS, consistindo se pela relação entre o C da BM e o COT, onde é vinculado as operações de adição e transformação da MO, bem como da conversão do C em carbono microbiano (SPARLING, 1992). O seu uso com relação a qualidade de solo, é devido este, ser um indicador que informa algum grau de degradação, isso porque em ecossistemas estáveis sua tendência é que aumente, devido ao aumento da atividade microbiana, chegando até uma condição de equilíbrio, o que por outro lado sua diminuição indica um possível sinal de degradação (POWLSON; BROOKES; CHRISTENSEN, 1987). Portanto o valor deste indicador em ambientes não antrópicos pode ser utilizado de forma comparativa para se avaliar o grau de degradação em ecossistemas que foram alterados (ARAÚJO et al., 2012).

Pesquisas relacionadas ao uso de bioindicadores salientam que os microrganismos no solo, por conta das suas particularidades como a sua copiosidade e pelas atividades bioquímicas e metabólicas, demonstram o elevado potencial no uso da avaliação da QBS do solo, tendo como grande desafio, o desenvolvimento e/ou adaptação dos métodos presentes para monitorar e mensurar o impacto antropogênico sobre os processos biológicos no solo (FRIGHETTO; VALARINI, 2000; ARAÚJO et al., 2012).

2.3 SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROFLORESTAIS (SAFs)

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs), são sistemas de uso e manejo do solo, em que são consorciadas espécies arbóreas com cultivos agrícolas e/ou animais, seja de maneira simultânea ou sequencial (ALVES; LAURA; ALMEIDA, 2015; MACEDO, 2013; SENAR, 2017). Este sistema tem como foco a integração entre os ciclos biológicos dos recursos utilizados, a recuperação da qualidade física, química e biológica do solo, manejo de insetos e pragas, preservação de recursos hídricos, sequestro de carbono, diversificação de renda ao produtor, bem como a sinergia entre os componentes vegetal e animal (SENAR, 2017).

Dentro dos SAFs existe uma classificação com base na sua estrutura, subdividindo-o em silviagrícolas, silvipastoris e agrossilvipastoris (Figura 1), porém existem outras divisões com base em aspectos econômicos, sociais e funcionais e também de acordo com o seu arranjo no tempo e no espaço (SENAR, 2017).

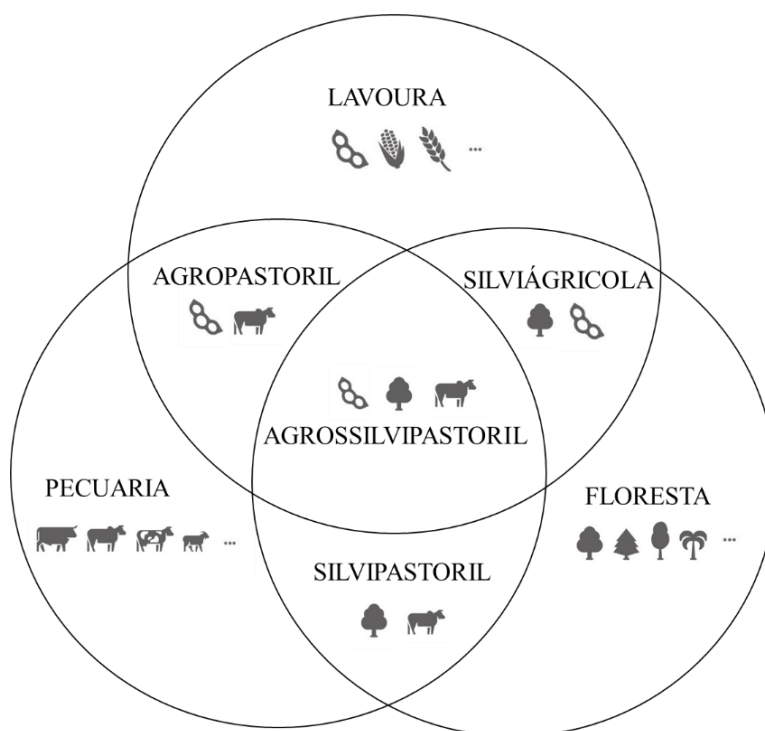


Figura 1 - Classificação dos Sistemas Integrados com base nos seus componentes.

Fonte: Adaptado de Bungenstab et al. (2019).

O modelo silviagrícola engloba espécies florestais e cultivos agrícolas, com as finalidades de produção de madeira (eucalipto, teca, pinus), produção de frutos (cupuaçu, jambo) e/ou produtos medicinais (andiroba, copaíba). O sistema silvipastoril, por sua vez, é constituído pelo

componente animal e por espécies florestais em consórcio, sendo indicado por proporcionar bem estar animal e melhoria na pastagem. Já o sistema agrossilvipastoril é o mais abrangente, incorporando os componentes animal, arbóreo e agrícola (DIDONET, 2016; SENAR, 2017).

Os SAFs vêm de encontro com o cenário atual, onde no contexto do Bioma Cerrado se busca a utilização de forma mais estratégica, sustentável e diversificada dos recursos naturais e das áreas utilizadas (DIDONET, 2016).

De acordo com Alves, Laura e Almeida (2015), a região centro-oeste dispõe de condições relevantes para a adoção dos sistemas agroflorestais, tais como: grande quantidade de terras degradadas, cultivadas e de pastagens; alta densidade de pequenas propriedades em alguns locais; extensas áreas desprovidas de sombra; redução da biodiversidade nos sistemas de produção agropecuária, dentre outros requisitos.

Em razão disso, os SAFs vem sendo apontado como alternativa de uso agrícola das terras em áreas tropicais, por apresentarem potencial de elevar a sustentabilidade dos agroecossistemas em aspectos agronômicos, sociais, econômicos e ecológicos, ressaltando a conservação dos recursos biológicos e naturais (ALVES; LAURA; ALMEIDA, 2015).

A avaliação da qualidade do solo associado ao SAFs tem sido alvo de estudos por diversos autores, os quais constatarem benefícios relacionados a recuperação de áreas degradadas (PEZARICO et al., 2013), melhoria no conforto térmico de animais (LEME et al., 2005), diversificação de receita ao produtor (BUNGENSTAB et al., 2019), preservação dos recursos naturais (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008), melhoria dos atributos químicos, biológicos e físicos do solo; melhoria da sinergia entre os componentes vegetal e animal (BALBINO; BRACELLOS; STONE, 2011), dentre outros inúmeros benefícios relatados.

Apesar dos benefícios proporcionados pelos SAFs, ocorrem ainda alguns entraves quanto a sua adoção pelos produtores, como: a falta de conhecimento sobre os arranjos e combinações a serem adotados; falta de estudos entre as interações do complexo solo-planta-animal; alto custo da pesquisa a médio e longo prazo; falta de assistência técnica e de serviços de extensão rural; falta de levantamentos econômicos; e a baixa disponibilidade de germoplasma das espécies florestais e agrícolas específicas para os SAFs (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008; LIMA; GAMA, 2018).

Essas constatações indicam a necessidade de mais estudos a respeito da instalação, manejo e destino dos componentes integrados aos SAFs.

Em relação as características pertinentes ao componente arbóreo, tem se associado principalmente a introdução de espécies do gênero *Pinus* spp. e de *Eucalyptus* spp. (ALVES;

LAURA; ALMEIDA, 2015; VALE et al., 2002). Esse fato é demonstrado, por exemplo, em um estudo em relação a perda de solo na região de Alegrete – RS, em 2004, onde os autores encontraram valores baixos de perda de solo nas áreas com vegetação arbórea (32 kg ha^{-1} e 18 kg ha^{-1} em sistema de pinus e eucalipto) em relação às áreas de pastagem nativa (42 kg ha^{-1}) e sob o cultivo de milho e aveia (359 kg ha^{-1}) (ALVES; LAURA; ALMEIDA, 2015). O que evidencia o fato de o componente arbóreo reduzir as perdas por lixiviação e erosão em sistemas integrados, melhorando a qualidade do solo (RIBASKI, 2008).

Outra característica de grande relevância em relação aos SAFs, é a sua grande capacidade de sequestro de carbono, que é reconhecido em vários países, no qual a substituição dos cultivos tradicionais (monocultivos), para os sistemas integrados refletem a tendência atual, em razão dos incrementos no estoque de C e de redução dos impactos negativos da emissão dos gases de efeito estufa (BERNARDINO; GARCIA, 2009).

Trabalhos como o de Tsukamoto Filho et al. (2004) mostram realmente este aspecto, onde verificaram que houve maior proporção de fixação de carbono em ambiente agrossilvipastoril (com Eucalipto, Arroz, Soja e *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*)), do que os sistemas em cultivos solteiros. Esse fato também foi evidenciado por Sharrow e Ismail (2004), que utilizaram diferentes espécies florestais e forrageiras temperadas e constataram maiores estoques de C em sistema silvipastoril.

Sistemas integrados, portanto, favorecem a fixação de carbono de modo mais eficiente que os monocultivos de maneira isolada, ao fato do melhor compartilhamento dos recursos (entre árvores, pastagens e culturas), em relação a maior eficiência na captura dos recursos para crescimento, uma vez que mais componentes ativos são agregados ao processo de produção, sendo principalmente mais eficiente ao longo do tempo em razão da decomposição gradual da liteira (SHARROW; ISMAIL, 2004).

A instalação do componente arbóreo é de caráter obrigatório nos SAFs, porém, deve se ter alguns cuidados em relação às características como a sua velocidade de crescimento, o índice de sobrevivência, características da copa, sua interferência na pastagem, o potencial tóxico de folhas, frutos e flores, além de outros atributos, que devem ser levados em consideração antes da instalação (ALVES; LAURA; ALMEIDA, 2015). Além disso, deve-se considerar a situação atual do mercado da espécie em si e fazer projeções futuras sobre o comércio da espécie ou de seus outros produtos como é o caso da *Hevea brasiliensis* (Seringueira) que possui mercado crescente para a produção de látex (BRIENZA JÚNIOR et al., 2009).

A *Hevea brasiliensis* possui grande potencial para a utilização em Sistemas Agroflorestais, pois até a sua maturidade para extração de látex (6 a 8 anos), a cultura oferece um ambiente favorável para o consorcio, principalmente com culturas anuais (VITOR PEREIRA et al., 1997). O espaçamento utilizado geralmente é de 7 a 8 metros entre linhas o que possibilita tal consorcio, até o seu estágio de maturidade, período em que a luminosidade diminui intensamente sobre o dossel forrageiro. Para a consorciação com culturas perenes (como a pastagem) é necessário a instalação em espaçamentos mais largos para viabilizar o sistema (ABDO et al., 2012).

Alguns trabalhos evidenciam a mitigação da luminosidade do cultivo de seringueiras no rendimento de outras culturas como o de feijão (RIGHI; BERNADES, 2008), de café (MACEDO et al., 2006), milho (FURIA, 2000) e de espécies forrageiras (COSTA et al., 1999). Porém, tais influências sobre áreas de pastagens em SAFs, podem decorrer de outros fatores tais como, a competição de água e nutrientes e o acúmulo de matéria orgânica em decorrência da queda de folhas do componente arbóreo, o que pode prejudicar a rebrota e o desenvolvimento da espécie forrageira (BOSI, 2014; DIAS-FILHO, 2006).

Já o gênero *Eucalyptus* spp. é outra espécie que se encontra bem difundido em ambientes consorciados, pois seu uso vem desde a década de 1990, sendo inclusive um dos principais componentes arbóreos usado pela Embrapa para viabilizar a marca conceito CNN (Carne Carbono Neutro), o qual garante ao consumidor uma carne produzida com a compensação (por meio das árvores presente no sistema) do metano entérico gerado pelos bovinos, além do conforto térmico animal devido à sombra (BUNGENSTAB et al., 2019).

Como componente forrageiro para sistemas silvipastoris ou agrossilvipastoris tem se destacado espécies dos gêneros *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) e *Panicum* spp., pois são muito bem difundidas na região de Cerrado do Brasil, em razão de suas características como boa tolerância ao sombreamento, bom crescimento e boa capacidade de perfilhamento (ALVES, LAURA; ALMEIDA, 2015; BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011).

Apesar da quantidade de trabalhos relacionados a qualidade do solo, são difíceis os estudos relacionados a esse quesito em ambientes de SAFs, principalmente em relação aos indicadores de qualidade física, sendo a abordagem em maior frequência em relação a aspectos químicos e biológicos (AGUIAR, 2008). Necessitam-se também de estudos de forma regionalizada sobre a viabilidade da combinação de diferentes espécies, ampliação e a adequação de mecanismos de política pública, para que produtores rurais consigam superar

barreiras econômicas, como por exemplo na necessidade de se contratar um técnico (LIMA; GAMA, 2018).

A diversificação das atividades agropecuárias como os SAFs, tem grande potencial de aumentar as fontes de renda do produtor e diminuir os riscos operacionais relacionados a ela, bem como diminuir os impactos das atividades antrópicas sobre os ecossistemas naturais (PEZARICO et al., 2013; REGO et al., 2018).

É importante ressaltar que os efeitos das interações que ocorrem entre os componentes do sistema, não podem ser visualizados e interpretados como fatores isolados, pois existe uma coesão entre os elementos nos sistemas integrados, sendo importante conhecer o dinamismo e as características de cada componente, para maximizar a produtividade do sistema, de forma sustentável e economicamente viável (LIMA; GAMA, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), *Campus* universitário de Pontes e Lacerda. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho (LV) e apresentou na camada de 0 – 0,20 m, 244 g kg⁻¹ de argila, 690 g kg⁻¹ de areia e 66 g kg⁻¹ de silte (textura média) (SANTOS et al., 2018).

O clima na região é definido segundo a classificação de Köppen-Geiger do tipo Aw, tropical com estação seca no inverno, com precipitação média anual de 1.500 mm, e uma temperatura média 25 °C.

Os tratamentos corresponderam ao cultivo de Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) clone H13 (EU) implantados no ano de 2011, o qual teve uma lotação média de 2,45 UA por hectare, com espécie forrageira *Urochloa* híbrida cv. Mavuno, sobre o solo deste; pastagem implantada no ano de 2017, com espécie forrageira *Urochloa* (Syn. Brizantha) cv. Piatã (PA), o qual teve uma lotação média de 1,2 UA por hectare; seringueira (*Hevea brasiliensis*) (SE) implantadas no ano de 2013, e uma área de mata nativa (MN), considerada como área de referência para comparação das alterações causadas pela antropização (Figura 2).

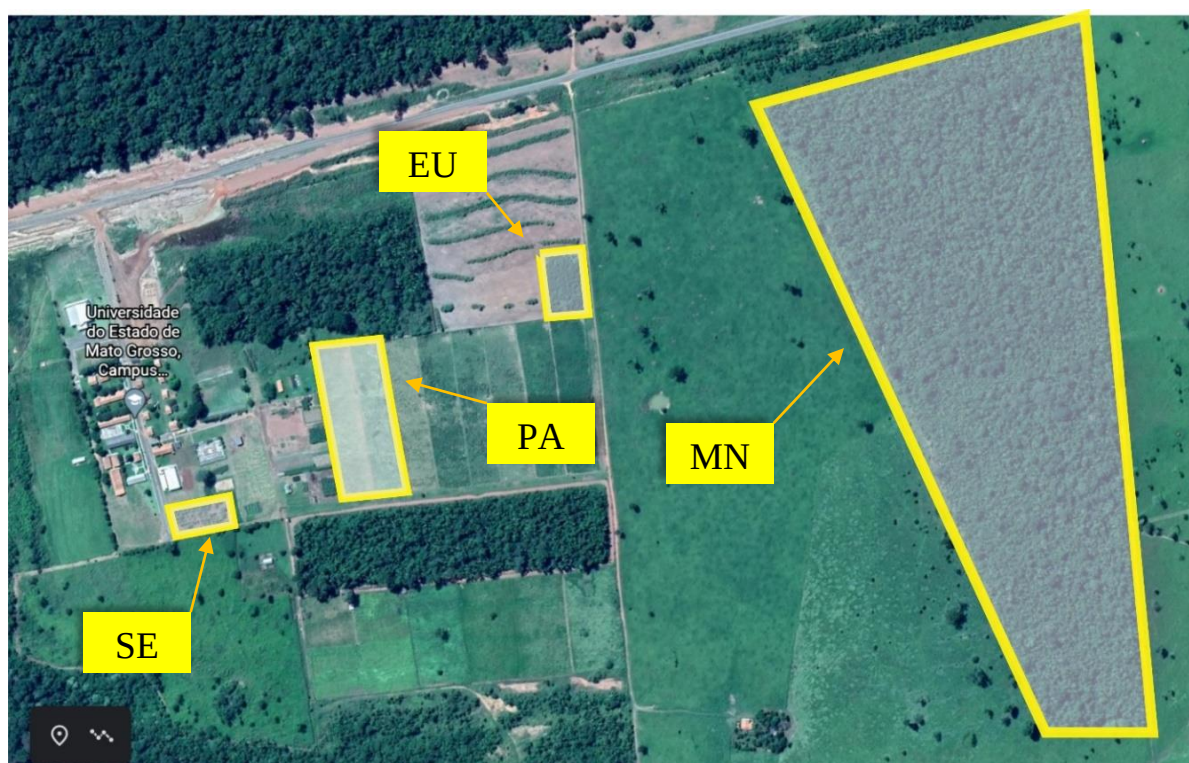


Figura 2 - Localização das áreas de estudo (Seringueira (SE), Pastagem (PA), Eucalipto (EU) e Mata Nativa (MN)), no *campus* universitário da UNEMAT em Pontes e Lacerda – MT.

Fonte: Elaborado pelo autor com imagens do Google Earth.

A área de cultivo de Seringueiras (SE) está localizada nas coordenadas de latitude 15°19'33" S e longitude de 59°14'00" W, em uma área de 2.500 m² aproximadamente; a área de pastagem (PA) está localizada nas coordenadas 15°19'36" S e longitude de 59°13'52", em uma área de 19.000 m² aproximadamente; a área com o cultivo de Eucalipto (EU) se encontra nas coordenadas de latitude 15°19'40" S e longitude de 59°13'41", em uma área de 3.900 m² aproximadamente; a área ocupada com a mata nativa (MN) está localizada nas coordenadas de latitude 15°19'55" S e longitude de 59°13'31", em uma área de 262.000 m² aproximadamente.

3.1 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE COLETAS DE AMOSTRAS DE SOLO

As coletas das amostras de solo ocorreram no período de janeiro de 2019, sendo durante os meses seguintes realizadas as avaliações dos atributos no laboratório do *Campus* da UNEMAT, localizado no município de Pontes e Lacerda – MT. As amostras deformadas foram coletadas com o auxílio de um trado holândes, por meio do caminhar em zigue zague para amostragem, sendo acondicionadas em sacos plásticos transparentes, corretamente identificados de acordo com a área e a camada avaliada, sendo coletadas oito amostras por tratamento, o qual foram misturadas e homogeneizadas, de modo a perfazer uma amostra composta por área e camada (ARRUDA; MOREIRA; PEREIRA, 2014).

Já as amostras indeformadas de solo para a avaliação dos atributos físicos, foram coletadas utilizando-se cilindros de $53,18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ (0,032 m de altura e 0,046 m de diâmetro) em pontos aleatórios, no centro das camadas (0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m).

3.2 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

As amostras indeformadas de solo foram utilizadas para se determinar a DS, a macro, a micro e a porosidade total, por meio do método do anel volumétrico e da mesa de tensão (-0,006 MPa) (TEIXEIRA et al., 2017). Em seguida foram saturadas durante 24 horas e submetidas a tensão – 0,006 Mpa em mesa de tensão até atingir o equilíbrio. Na sequência as amostras foram secas em estufa a 105 °C, durante 24 horas, para determinação da densidade do

solo (Ds). A micro foi determinada por secagem e a macro foi calculada como sendo a diferença entre a porosidade total e a micro (TEIXEIRA et al., 2017).

Para a determinação dos atributos químicos, os métodos utilizados seguiram os propostos por Silva et al. (1998) e Teixeira et al. (2017). O pH do solo foi aferido com o uso de peagêmeatro. O fósforo, foi extraído por meio da solução extratora de Mehlich-1 e quantificado por espectrofotômetro mediante a leitura de intensidade de cor. O potássio foi obtido também por meio da solução extratora de Mehlich-1, sendo quantificado em fotômetro de chama. Já os cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}) foram obtidos a partir da extração com solução de Cloreto de Potássio (KCl).

O Al^{3+} foi determinado por intermédio da determinação volumétrica com solução diluída em Hidróxido de Sódio (NaOH), e o $\text{Ca}+\text{Mg}$ foram determinados por complexometria, usando negro de eriocromo como indicador e a titulação com solução de Ácido Etilenodiaminotetraacético (EDTA).

A acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) é caracterizada pelo poder tampão de acidez do solo e sua estimativa acurada é fundamental para se estimar a CTC em pH 7,0. Ela é a soma dos íons de H e Al^{3+} . Seu princípio é regido pela extração com solução de acetato de cálcio, em pH 7,0 e por determinação volumétrica com solução de NaOH, na presença de fenolftaleína como indicador (CAMPOS et al., 2017b).

Já o complexo sortivo do solo é dado pelo conjunto de partículas trocadoras de íons no solo. Esse complexo engloba as variáveis de soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC total (T) e percentagem de saturação de bases (V). O valor de SB é dado pela soma de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+}) sendo expresso em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já a CTC efetiva é dada pela soma do valor de SB + Al^{3+} e a CTC total é a dada pela soma do valor de SB + $\text{H}+\text{Al}^{3+}$, sendo ambos dados em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A percentagem de saturação de bases (V) indica a proporção da CTC do solo que é ocupada por bases trocáveis, sendo regida pela calculo em que o valor de S é multiplicado por 100, sobre o valor de T e já a percentagem de saturação por alumínio (m) indica a proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo (CAMPOS et al., 2017a).

O carbono orgânico (CO) foi determinada pelo método volumétrico por meio da solução com bicromato de potássio. O carbono da matéria orgânica da amostra é oxidado a CO_2 e o cromo da solução extratora é reduzido da valência (Cr^{6+}) à valência (Cr^{3+}). Na sequência, faz-se a titulação do excesso de bicromato de potássio pelo sulfato ferroso amoniacal. Após achado

do valor de CO este é multiplicado pelo fator 1,724 para encontrar o valor da matéria orgânica (SILVA et al., 1998).

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi conduzido em um esquema fatorial (4×2) em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos, que corresponderam as quatros áreas (EU, PA, SE, MN), e as duas camadas de solo (0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m) como forma de amostragem, com quatro repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do programa estatístico SISVAR; e quando significativa às médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso agrícola do solo provocaram mudanças diversas nos diferentes atributos físicos e químicos, havendo diferença significativa entre os sistemas e as camadas. Com relação aos atributos físicos houve diferença significativa entre os tratamentos em comparação a área de MN (Tabela 1).

Tabela 1 - Atributos físicos em função dos diferentes sistemas/ usos e camadas em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.

Sistemas de Uso e Manejo	Densidade --Mg m ⁻³ --	Porosidade Total	Macroporosidade	Microporosidade
-----Camada 0 – 0,10 m-----				
Eucalipto	1,62 a	0,397 a	0,161 b	0,236 a
Seringueira	1,48 b	0,397 a	0,166 b	0,231 a
Pastagem	1,61 a	0,403 a	0,140 b	0,263 a
Mata Nativa	1,44 b	0,376 a	0,207 a	0,169 b
-----Camada 0,10 – 0,20 m-----				
Eucalipto	1,65 a	0,366 a	0,137 b	0,229 a
Seringueira	1,55 a	0,385 a	0,156 b	0,229 a
Pastagem	1,59 a	0,404 a	0,167 b	0,237 a
Mata Nativa	1,44 b	0,391 a	0,210 a	0,181 b
CV (%) ¹	5	8	15	14

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si.

¹CV: coeficiente de variação.

De acordo com o observado na Tabela 1, houve se um maior valor da Ds nas áreas de EU e PA na camada de 0 – 0,10 m, e maiores valores nos sistemas de EU, SE, e PA na camada de 0,10 – 0,20 m em comparação a área de MN. Isto pode ser explicado em razão do pisoteio animal ocorrido nas áreas de EU e PA antes do período de realização do experimento. Flores et al. (2007), encontraram resultados semelhantes quando compararam áreas não pastejadas com áreas pastejadas, assim como Konzen et al. (2018) que também avaliando diferentes sistemas de manejo e uso encontraram maiores valores de Ds sobre a área de pastagem, em razão da pressão exercida pelos animais.

A compactação pode ocorrer em função da textura do solo, sistema de pastejo, altura de manejo da pastagem, quantidade de resíduo vegetal sobre o solo e a umidade do solo, podendo ser temporário e reversível este processo (CRUZ, 2017).

De acordo com estudos realizados no próprio *campus* em diferentes níveis de compactação, sobre uma área de pastagem, encontrou-se valores de D_s 1,57 $Mg\ m^{-3}$ que não inibiram o desenvolvimento das plantas, nem afetou a qualidade da forragem (SOUSA NETO; PIERANGELI; LAL, 2013).

Isso indica que os sistemas EU e a área de PA podem (em razão da não avaliação dos componentes vegetais sobre os sistemas) estar influenciando no desenvolvimento do sistema radicular das culturas nestes locais de maneira negativa, visto que excedem os limites encontrados pelos autores supracitados, bem como os valores que se enquadram no limite máximo de D_s propostos por Reichert, Reinert e Braida (2003) em solos franco e arenosos (1,6 a 1,8 $Mg\ m^{-3}$).

Em relação a porosidade total do solo não se verificaram diferenças significativas entre os tratamentos e nem em função das camadas estudadas. Já com relação aos atributos físicos de macro e micro houve diferenças significativas em todos os tratamentos em comparação a área de MN. A diminuição da quantidade de macroporos nos sistemas analisados demonstram que ocorreu uma compactação nestas áreas (seja pelo uso de animais na área, tráfego de pessoas e máquinas, dentre outras formas), alterando a estrutura do solo em comparação a condição original do solo, aliado a um aumento da micro que tem efeito complementar e antagônico a macro (VIANA et al., 2011).

Tais alterações podem ocasionar redução da produtividade das culturas, em função da redução de solo explorado pela planta, porém, de acordo com a literatura, os valores de macro ficaram acima do mínimo preconizado que é de 0,100 $m^3\ m^{-3}$, que já atua neste caso como impedância para o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas (KIEHL, 1979; TAYLOR; ASHCROFT, 1972).

Estes resultados corroboram com diversos autores (ALBUQUERQUE et al., 2001; CAVENAGE et al., 1999; FIGUEIREDO et al., 2009) que trabalhando com diferentes sistemas em relação a uma área de MN constataram que quando a D_s aumentou, houve-se uma diminuição da macro e um aumento da micro.

Já com relação aos atributos químicos, estes variaram de forma distinta entre os tratamentos de acordo com cada camada avaliada (Tabela 2). O pH (H_2O) apresentou valores considerados, baixo no sistema de MN, médio no sistema EU e adequado a alto no SE e no PA (SOUZA; LOBATO, 2004).

Tabela 2 – Atributos químicos em função dos diferentes sistemas/ usos e camadas em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Sistemas de Uso e Manejo	pH	P ----(mg/dm ³)---	K	MO g/kg	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	Al ³⁺ -----	H + Al cmol _c /dm ³ -----	SB	t	T	m -----%	V
-----Camada de 0 – 0,10 m-----													
Eucalipto	5,47 b	3,55 a	58,67 a	15,5 b	1,07 b	0,92 a	0,47 b	5,47 a	2,15 b	2,62 b	7,62 a	21,86 b	28,21 b
Seringueira	6,35 a	5,30 a	61,17 a	12,9 b	1,67 b	1,40 a	0,05 c	3,02 b	3,25 a	3,30 b	6,27 b	1,53 c	51,83 a
Pastagem	6,34 a	12,52 a	42,15 a	19,9 a	2,97 a	1,05 a	0,10 c	3,00 b	4,12 a	4,22 a	7,12 b	2,42 c	57,86 a
Mata Nativa	5,02 b	11,32 a	12,32 b	12,4 b	1,80 b	0,60 a	1,22 a	6,07 a	2,50 b	3,72 b	8,57 a	48,80 a	25,77 b
-----Camada de 0,10 – 0,20 m-----													
Eucalipto	5,40 b	11,02 a	49,50 a	13,6 b	1,35 b	0,60 a	0,50 a	5,47 a	2,07 b	2,57 b	7,49 a	24,15 b	27,63 c
Seringueira	6,30 a	10,55 a	31,10 a	12,7 b	1,72 b	1,30 a	0,00 b	3,02 b	3,15 a	3,15 b	6,30 b	0,00 c	50 b
Pastagem	5,95 a	6,97 a	23,62 a	21,7 a	3,15 a	0,60 a	0,07 b	3,00 b	3,80 a	3,87 a	6,12 b	1,84 c	62,09 a
Mata Nativa	5,15 b	7,07 a	30,57 a	18,3 b	1,20 b	0,82 a	0,82 a	6,12 a	2,12 b	2,94 b	8,24 a	38,67 a	23,32 c
CV (%)	7	60	32	17	38	52	58	20	23	21	14	76	17

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si.

¹CV: coeficiente de variação.

Para fins de nexos, a relação entre o teor de argila (que é de cerca de 244 g kg^{-1} no tipo de solo estudado), os valores de pH e de MO, corroboram com as relações mais frequentes encontradas em análises de solos do cerrado (SOUZA; LOBATO, 2004).

De forma coerente, a acidez potencial se correlacionou com o valor do pH em água, confirmando que quanto menor o pH, mais elevada é a acidez potencial (Figura 3). Isso pode ser explicado em função de quando o solo tem maior acidez (menor valor de pH), a concentração de íons H^+ e Al^{3+} na solução do solo são maiores, fazendo com que muito H^+ permaneça adsorvido nas cargas negativas dos argilominerais da fase sólida do solo, bloqueando a retenção de cátions básicos (CAMARGOS, 2005).

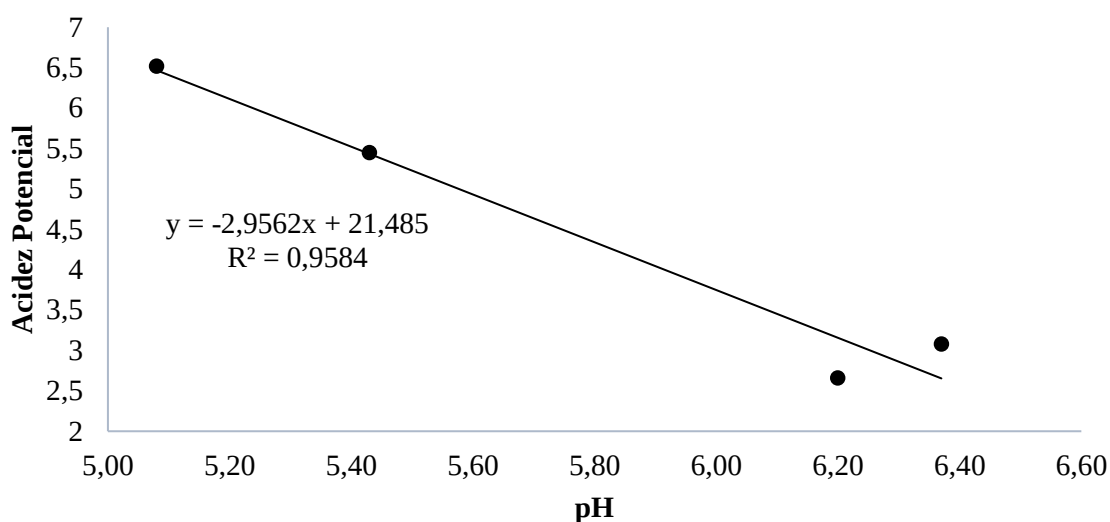


Figura 3 - Correlação entre pH e Acidez Potencial em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.

Em relação a MO houve um aumento no sistema PA (Tabela 2). Isso se deve em decorrência do maior aporte de resíduo neste ambiente (serapilheira), proveniente da pastagem inserida, no qual resultam em maior acúmulo de MO no solo. Sua decomposição pode ser acelerada por alguns fatores, conforme o reportado por Rodrigues et al. (2010), em que, em áreas que possuem menores cobertura em razão do seu dossel não estar totalmente fechado (como é o caso de uma área de pastagem), isto favorece a ação das chuvas e dos raios solares, acelerando assim o processo de decomposição do material ali depositado, desta maneira disponibilizando MO de forma mais acentuada.

Porém, tais resultados são contrários aos de Figueiredo, Ramos e Tostes (2008) onde encontraram menores valores de MO em ambientes de pastagem (reformada e outra degradada) em comparação ao cerrado nativo, o que pode ser explicado em razão destes ambientes estarem

implantados a um tempo muito maior do que o do presente estudo, vistos que manejos e outros fatores podem ter feito com que houvessem perdas de MO.

Os teores de MO observados se encontram dentro da faixa considerada baixa ($< 16 \text{ g kg}^{-1}$) nos sistemas EU, SE e MN e média (entre 16 a 20 g kg^{-1}) na PA na camada de 0 – 0,10 m, e na camada de 0,10 – 0,20 m se encontram concentrações baixas nos ambientes EU e SE, média na MN e adequada (entre 21 a 30 g kg^{-1}) no ambiente PA, sendo estes resultados em função da textura do solo local, que se encontra sob uma textura média (SANTOS et al., 2018).

Em relação ao P (Tabela 2) não houve diferença significativa entre os tratamentos. Essa não alteração no atributo químico do P disponível se deve por conta da sua intensa estabilidade em solos altamente intemperizados (promovida pelos óxidos de ferro), ou pela própria extração e remoção pelas culturas (FONTANA et al., 2006; GAMA-RODRIGUES et al., 2008). O que corrobora com os descritos por Cardoso et al. (2011) e Rodrigues et al. (2010), em estudos semelhantes na região do próprio estado de Mato Grosso.

Os resultados do P se encontraram na faixa de muito abaixo no sistema de EU, baixo no SE e médio nos ambientes PA e MN na camada de 0 – 0,10 m e na camada maior estes variaram de baixo no PA e MN a médio nos ambientes SE e EU (SOUZA; LOBATO, 2004). O que indica uma deficiência deste elemento em todos os sistemas.

O K por sua vez, apresentou diferença significativa apenas na camada de 0 – 0,10 m, sendo nos sistemas antropizados encontrados os resultados mais elevados em comparação a área de MN (Tabela 2). Tais resultados encontrados nos ambientes que sofreram antropização se decorrem em função de possíveis aplicações de calcário e ou fertilizantes (cloreto de potássio) antes da amostragem, bem como pelo aumento da ciclagem deste nutriente nestes ambientes.

Os resultados de K encontrados em cada sistema se encaixam como adequados nos sistemas EU e SE ($51 \text{ a } 80 \text{ mg/dm}^3$) e médio no PA ($26 \text{ a } 50 \text{ mg/dm}^3$), na camada de 0 – 0,10 m, e já na camada de 0,10 – 0,20 m, os sistemas sob EU e SE, assim como a MN se encontraram na faixa média e o sistema PA na faixa baixa ($\leq 25 \text{ mg/dm}^3$) (SOUZA; LOBATO, 2004).

Os teores de Ca^{2+} e a relação Ca/Mg variaram nos diferentes sistemas, exceto o Mg^{2+} (Tabela 2). As relações Ca/Mg foram significativamente maiores nos sistemas PA e SE e o Ca^{2+} maior no sistema PA. Tais resultados demonstram que no ambiente de pastagem devem ter ocorrido, aplicações de calcário antes da amostragem, afim de se corrigir a área antes do plantio, bem como uma possível maior reciclagem de nutrientes em razão do maior aporte de MO neste

sistema, cujo processo de decomposição e mineralização constitui se como fonte de nutrientes (CARDOSO et al., 2011).

As concentrações do elemento Ca^{2+} na camada de 0 – 0,10 m estão na faixa adequada (concentração de 1,5 a 7,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) nos sistema PA, SE e na MN, bem como na camada de 0,10 – 0,20 m nos ambientes de SE e de PA, se encontrando o ambiente de EU na concentração baixa ($< 1,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) em ambas as camadas avaliadas, assim como o MN na maior camada avaliada. Já para os valores de Mg^{2+} este se encontrou na concentração adequada de 0,5 a 2,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ para todos os tratamentos em cada camada (Tabela 2). Entretanto a relação Ca/Mg, ficou considerada como estreita ($< 2 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) na maioria dos sistemas (SE, EU e MN), sendo adequada somente no sistema PA (2 a 10 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) (SOUZA; LOBATO, 2004) (Figura 4).

As relações Ca/K, se encontraram na faixa média (7 e 14,9 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) nos sistemas EU e SE, e alta ($> 25 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) nos sistemas PA e MN. Na relação Mg/K os sistemas antropizados ficaram (SE, EU e PA) ficaram dentro da faixa adequada (5 e 15 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) e na relação Ca+Mg/K, os sistemas se enquadram na faixa média (10 e 19 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) no sistema EU, adequada (20 e 30 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) no SE, e alta ($> 30 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) nos sistemas PA e MN (SOUZA; LOBATO, 2004) (Figura 4).

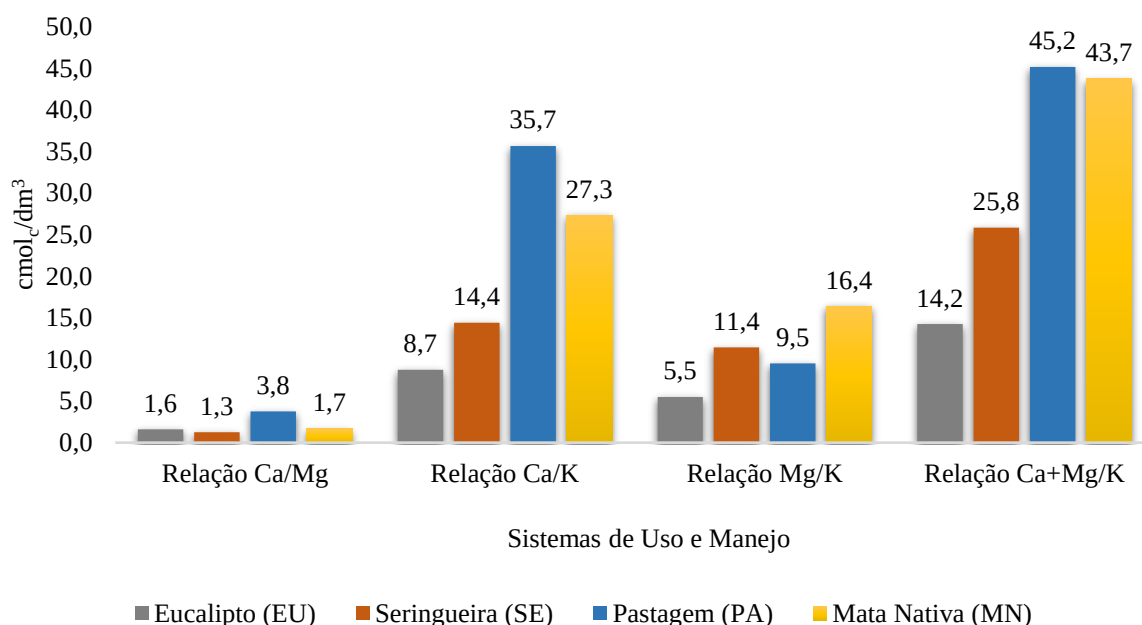


Figura 4 - Relação dos atributos químicos de Ca, Mg e K em função dos diferentes sistemas/ usos em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.

Os valores dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , estão todos em proporções inadequadas (% abaixo do recomendado), quando visto a proporção que cada um deve ocupar na CTC do solo (Ca^{2+} 60 – 80%; Mg^{2+} 10 – 20% e o K^{+} 3 – 5%), o que indica a necessidade de práticas

agrícolas (calagem, gessagem, dentre outras) para que se elevem os teores destes nutrientes no solo e que se promovam a adequação das proporções destes cátions básicos na CTC.

Quanto aos valores de SB, estes foram significativamente maiores nos sistemas de PA e de SE, nas duas camadas estudadas, evidenciando uma maior quantidade de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , e K^{+}) nestes ambientes (Tabela 2). Os valores de SB seguem o sentido de V onde se verifica que nos sistemas de EU e na MN, onde se encontram os menores valores de SB, V e de pH, associado a maiores valores de m, refletem ambientes em faixas com acidez média no EU e elevada na MN, sendo uma característica também a remoção de cátions trocáveis, principalmente o Ca^{2+} e o Mg^{2+} (FREITAS et al., 2017).

Os resultados de CTC nos ambientes de SE e de PA indicam menores capacidades de retenção de cátions comparado aos ambientes MN e EU, os quais apresentam maiores valores de CTC total (Tabela 2). Porém, quando se compara os resultados de CTC total com a CTC efetiva é possível verificar que o sistema PA, apresenta maior proporção de cátions essenciais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , e K, em ambas as camadas, por conta da menor acidez potencial, sendo um solo melhor para a nutrição das plantas (RONQUIM, 2010).

Os resultados de CTC total, porém diferiram dos encontrados por Centurion, Cardoso e Natale (2001) e Freitas et al. (2017), os quais encontraram relação do valor de CTC com o teor de MO, que representa cerca de 56 a 82% da CTC da camada superficial de solos tropicais (RAIJ, 1981). Tais resultados não encontrados no presente trabalho provavelmente se decorrem em função das quantidades similares de MO nos diferentes sistemas, o que não promoveu alterações tão significativas nos valores de CTC.

A saturação por alumínio apresentou se significativamente maior nas áreas de EU e MN (Tabela 2), o que segue os valores de pH e Al^{3+} , sendo classificados os valores como altos nos sistemas EU e MN, e baixo nos sistemas SE e PA (SOUZA; LOBATO, 2004). Porém, apesar do resultado de saturação por alumínio no sistema EU, se encontrar em um nível alto no solo, este valor fica abaixo do valor máximo tolerado pela cultura que é de 30% (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Com relação ao V (Tabela 2) os resultados estão de acordos com os as tabelas de Souza e Lobato (2004), em relação ao pH, mostrando coerência entre os valores observados nas análises. O sistema de MN com pH de 5,08 dentro da faixa de $V < 20\%$, o sistema de EU com pH de 5,43 dentro da faixa de V entre 16 a 30%, o sistema de PA com pH de 6,20 dentro da faixa de V de 46 a 60% e o sistema SE com pH de 6,33 dentro da faixa de V de 46 a 60% também.

A V se encontra em níveis adequados para o cultivo de seringueira e da cultivar piatã, e abaixo do adequado para a cultura do eucalipto ($V = 40\%$) (MACEDO, 2014; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Em relação aos resultados de COT, estes foram maiores no sistema PA, indicando que apesar desta cultura estar sendo utilizada de maneira intensiva, esta disponibiliza alto aporte de resíduos o que contribuiu para maiores quantidades de C retido no solo, em função da decomposição da MO deste resíduo. Além disso, as raízes de gramíneas são bem distribuídas e desenvolvidas em áreas de pastagem, favorecendo a deposição de C no solo (RANGEL; SILVA, 2007). Tais resultados similares foram encontrados por Araújo, Goedert e Lacerda, (2007) e Carneiro et al. (2009) (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios de carbono orgânico total (COT) em função dos diferentes sistemas/usos e camadas em Latossolo Vermelho do município de Pontes e Lacerda-MT.

Sistemas de Uso e Manejo	Carbono Orgânico Total ---g/kg ⁻¹ ---
-----Camada de 0 – 0,10 m-----	
Eucalipto	9,0 b
Seringueira	7,5 b
Pastagem	11,5 a
Mata Nativa	7,2 b
-----Camada de 0,10 – 0,20 m-----	
Eucalipto	7,9 b
Seringueira	7,4 b
Pastagem	12,6 a
Mata Nativa	10,6 b
CV (%) ¹	17

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si.

¹CV: coeficiente de variação.

Os resultados do coeficiente de variação (CV) foram altos em alguns atributos (porém estão dentro do limite aceitável), demonstrando alta heterogeneidade da média dos atributos avaliados, principalmente os químicos, como o P, em razão de diferentes fatores que podem ser levados em conta como, acúmulo e distribuição de partículas no solo, fluxo de água na área, relevo, práticas agrícolas, dentre outros, sendo comum estas variações (ARTUR et al., 2014; CARVALHO; TAKEDA; FREDDI, 2003; FREITAS et al., 2015).

5 CONCLUSÃO

À medida que os ecossistemas naturais foram antropizados as propriedades físicas e químicas sofreram diferentes mudanças em relação a condição original do solo.

Os sistemas de pastagem e eucalipto se destacaram por apresentarem os maiores valores do atributo físico de densidade do solo, indicando possíveis impedimentos no sistema radicular das plantas, além de que todos os ambientes que sofreram algum tipo de antropização tiveram diferenças significativas em relação a área de MN.

Os atributos químicos evidenciaram que os sistemas na área de pastagem e de seringueira, apresentaram melhores condições químicas nas duas camadas avaliadas sob vários aspectos, tendo o sistema sob pastagem retratado os maiores teores de matéria orgânica e carbono orgânico total.

Todos os sistemas evidenciaram, porém, valores de P abaixo dos teores adequados, assim como as proporções de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} na CTC, que estão em porcentagens inadequadas.

REFERÊNCIAS

- ABDO, M. T. V. N.; MARTINS, A. L. M.; FINOTO, E. L.; FABRI, E. G.; PISSARRA, T. C. T.; BIERAS, A. C.; LOPES, M. C. Implantação de Sistema Agroflorestal com seringueira, urucum e acerola sob diferentes manejos. **Revista Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 9, nº. 2, p. 1 - 16, 2012.
- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, nº. 2, p. 50 - 59, 2008.
- AGUIAR, M. I. de. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. Dissertação (Mestrado em *Magister scientiae*). Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Viçosa, MG, 2008.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, nº. 3, p. 717 - 723, 2001.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press, 1995. 576 p.
- ALENCAR, T. L. de; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A. dos; JÚNIOR, R. N. de A.; MOTA, J. C. A. Atributos Físicos de um Cambissolo Cultivado e Tratado com Biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, nº 3, p. 737 - 749, 2015.
- ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. de. **Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável**. Brasília: Embrapa. 208 p. 2015.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, nº. 4, p. 617 - 625, 2007.
- AMARAL DA COSTA, F. L. **Adubação potássica e fosfatada na sucessão cártamo e soja**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, Jataí, GO, 2020.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass. **Soil biology and biochemistry**, v. 10, nº. 3, p. 215 - 221, 1978.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, nº. 4, p. 857 - 865, 2000.

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. D. N.; JUNIOR, J. Formação e características dos solos para o entendimento de sua importância agrícola e ambiental. **Complexidade: redes e conexões do ser sustentável**. 1. ed. Curitiba: SENAR/PR, p. 511 - 530, 2014.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, nº. 6, p. 1945 - 1962, 2004.

ÂNGULO, J. R. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. 1983. Dissertação (Mestrado em Conservação de Solos). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, PR, 1983.

ANICÉSIO, E. C. A. **Nitrogênio e potássio na adubação do cártamo cultivado em Latossolo Vermelho**. (Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, MT, 2014.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, nº. 3, 2007.

ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, nº. 1, p. 187 - 206, 2012.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, nº. 5, p. 1099 - 1108, 2007.

ARRUDA, M. R. de; MOREIRA, A.; PEREIRA, J. C. R. Amostragem e cuidados na coleta de solo para fins de fertilidade. Documentos, **Embrapa Amazônia Ocidental**, 18 p. 2014.

ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p. 123 - 141, (Special publication, 49), 1996.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, nº. 2, p. 153 - 160, 2002.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, nº. 2, p. 141 - 149, 2014.

ASSAD, E. D. **Intensificação da pecuária brasileira: seus impactos no desmatamento na produção de carne e na redução de emissões de gases de efeito estufa**. Relatório completo, São Paulo, SP, 114 p. 2016.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. **Marco Referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BALIEIRO, F. de C.; ALVES, B. J. R. Nitrogênio Total – Kjeldahl. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G (Eds). **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed., Brasília, DF: Embrapa Solos, p. 367 – 376, 2017.

BASTIDA, F.; ZSOLNAY, A.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. **Geoderma**, v. 147, nº. 3-4, p. 159 - 171, 2008.
BATEY, T.; MCKENZIE, D. C. Soil compaction: identification directly in the field. **Soil Use and Management**, v. 22, nº. 2, p. 123 - 131, 2006.

BATISTA, N. L. F. **Proposição de metodologia baseada em indicadores de qualidade do solo para sustentabilidade da produção agrícola**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, ES, 2016.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, nº. 60, p. 77 - 87, 2009.

BOSI, C. **Interações em sistema silvipastoril: microclima, produção de forragem e parametrização de modelo para estimativa da produtividade de pastagens de Brachiaria**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2014.

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; ROSATTO, H.; FERRERO, C. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 86, nº. 1, p. 9 - 14, 2006.

BOTTA, G. F.; RIVERO, D.; TOURN, M.; BELLORA MELCON, F.; POZZOLO, O.; NARDON, G.; BALBUENA, R.; TOLON BECERRA, A.; ROSATTO, H.; STADLER, S. Soil compaction produced by tractor with radial and cross-ply tyres in two tillage regimes. **Soil and Tillage Research**, v. 101, nº. 1 - 2, p. 44 - 51, 2008.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. da; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, nº. 4, p. 605 - 214, 2006.

BRIENZA JÚNIOR, S.; MANESCHY, R.Q.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GAZEL FILHO, A.B.; YARED, J.A.G.; GONÇALVES, D.; GAMA, M.B. Sistemas agroflorestais na Amazônia brasileira: análise de 25 anos de pesquisas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 60, p. 67 - 76, 2009.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and, Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 269 - 279, 1995.

BROOKES, P. The soil microbial biomass: concept, measurement and applications in soil ecosystem research. **Microbes and Environments**, v. 16, nº. 3, p. 131 - 140, 2001.

BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D.; **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Embrapa, Brasília – DF. 835 p., 2019.

CAMARGOS, S. L. **Acidez do solo e calagem (reação do solo)**. Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). Apostila da disciplina de Solos II. 2005.

CAMPOS, A. G. de; SILVA, B. M.; FREITAS, D. A. F. de; OLIVEIRA, M. F. de. Qualidade física do Latossolo Vermelho distrófico cultivado com milho. **Circular Técnica 253**, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2019.

CAMPOS, D. V. B. de; TEIXEIRA, P. C.; SALDANHA, M. F. C.; PÉREZ, D. V. Percentagem de saturação por alumínio. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G (Eds). **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed., Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017(a). p. 245 - 246.

CAMPOS, D. V. B. de; TEIXEIRA, P. C.; SALDANHA, M. F. C.; PÉREZ, D. V. Acidez potencial. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G (Eds). **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed., Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017(b). p. 233 - 239.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. 1ª ed., Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2007. p. 375 - 470.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. dos; ALVES, P. R. L. PAULA. A. M. de; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. de M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. **Scientia Agricola**, v. 70, nº. 4, p. 274 - 289, 2013.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. de. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, nº. 2, p. 613 - 622, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D., REIS; E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, nº. 1, p. 147 - 157, 2009.

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 22, nº. 3, p. 505 - 514, 1998.

CARVALHO, L. A. de. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, nº. 4, p. 695 - 703, 2003.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, nº. 4, p. 997 - 1003, 1999.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, nº. 4, p. 997 - 1003, 1999.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, nº. 2, p. 254 - 258, 2001.

CLEARY, R. W. **Águas subterrâneas**. Princenton Groundwater Inc.: Clean Environment Brasil, 117 p., 1989.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; DOS SANTOS, H. G.; BREFIN, M.; PEREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STUMER, S. L. O ecossistema o solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. 2013, Lavras. **Anais [...]** Lavras, MG: UFLA, Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE). 2013.

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, nº. 1 p. 107 - 114, 1995.

COSTA, F. D. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, nº. 3, p. 527 - 535, 2003.

COSTA, N. L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A.; PEREIRA, R. G. A. Avaliação agrônômica de gramíneas forrageiras sob sombreamento de seringueira adulta. **Comunicado Técnico**. Embrapa – RO. nº. 172, p 1 – 4, 1999.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. dos S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, nº. 3, p. 852 - 863, 2015.

CRUZ, D. L. de S. **Influência de sistemas integrados de produção nas características físicas e químicas de um argissolo**. 2017. Tese (Doutor em Agronomia). Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós Graduação em Agronomia. Boa Vista, RR, 2017.

CRUZ, E. S. da. **Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais degradadas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais [...]**. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo, SBZ, 2006. p. 535 – 553.

DIDONET, A. **Saber e Fazer Agroecologia: Por uma agricultura mais generosa com a terra e com as pessoas**. Embrapa Arroz e Feijão. nº 16. 1 edição. 2016.

DONINI, J. V. da S. **Características químicas de um latossolo vermelho amarelo sob aplicação de cama de frango em complemento à adubação mineral**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2011.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 1 - 21, 1994.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. 1996.

DUIKER, S. W.; RHOTON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK, N. E.; LAL, R. Iron (hydr) oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, 67, p. 606 - 611, 2003.

EGASHIRA, K.; KAETSU, Y.; TAKUMA, K. Aggregate stability as an index of erodibility of Andosols. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 29, nº. 4, p. 473 - 481, 1983.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. e SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1ª ed., Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2007. p. 551 - 594.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. Santo Antônio de Goiás, **Documentos 92**, Embrapa Arroz e Feijão, 42 p. 1999.

FAZEKAŠOVÁ, D. Evaluation of soil quality parameters development in terms of sustainable land use. **Sustainable development-authoritative and leading edge content for environmental management**, p. 435 - 458, 2012.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3ª Edição Revisada e Ampliada. CPRM Serviço Geológico Nacional, 812 p., 2008.

FERREIRA, J. M. L. **Indicadores de qualidade do solo e de sustentabilidade em cafeeiros arborizados. Florianópolis**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FIGUEIREDO, C. C. D.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L. D.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, nº. 2, p. 146 - 151, 2009.

FIGUEIREDO, C. C. de; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. 2008. **Bioscience Journal**, v. 24, nº. 3, p. 24 - 30, 2008.

FIGUEIREDO, T. de; FONSECA, F.; NUNES, L (eds). Proteção do solo e combate à desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças. **Instituto Politécnico de Bragança**, Escola Superior Agrária, Bragança, Portugal, 2015.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. D. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, nº. 4, p. 771 - 780, 2007.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G. CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDI, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, nº. 5734, p. 570 - 574, 2005.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDI, C.; POLASKY, S.; ROCKSTROM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; DAVID TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, nº. 7369, p. 337 - 342, 2011.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 41, nº. 5, p. 847 - 853, 2006.

FRANÇA DE FREITAS, D. A.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, nº. 3, p. 417 - 428, 2012.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; DE OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, nº. 2, p. 229 - 240, 2015.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; JÚNIOR, P. R. de S.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, nº. 2, p. 155 - 164, 2014.

FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A. de; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, nº. 1-2, p. 8 - 25, 2017.

FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: **Manual Técnico**. Jaguariúna - SP, Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198 p.

FURIA, L. R. R. **Relações ecológicas entre culturas de milho (*Zea mays*) e seringueira (*Hevea brasiliensis*) em um sistema agroflorestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

GAMA-RODRIGUES, E. F. D.; GAMA-RODRIGUES, A. C. D.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, nº. 4, p. 1521 - 1530, 2008.

GARDNER, C. M. K.; LARYEA, K. B.; UNGER, P. W. **Soil physical constraints to plant growth and crop production**. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization, Rome, 1999.

GELVÂNIA L. M. G. **Diagnóstico de áreas degradadas por voçorocas no município de alterosa/mg**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Universidade de Ribeirão Preto, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas Ribeirão Preto, SP, 2006.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 6, 2006.

GONÇALVES, A. D. M. de A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, nº. 5, p. 1174 - 1184, 2013.

GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V. de; ALVARENGA, R. C. Benefícios e desafios da integração lavoura-pecuária na melhoria da qualidade dos solos do cerrado. **Informações Agronômicas**, nº. 161, 2018.

GRANT, C. A.; FLATEN D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, nº. 95, 2001.

GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; BLAINSKI, E.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, nº. 6, p. 1512-1521, 2013.

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

HUNGRIA, L. C. da. **Indicadores biológicos de qualidade do solo em uma cronossequência sob sistema plantio direto na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia**. Manual Técnico, 2ª edição. Rio de Janeiro, 2007.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará: descrições de perfis de solos e análises**.

Boletim técnico nº. 28, RECIFE, 1973. (MA-DNPEA, SUDENE-DRN. Série pedologia, nº. 16).

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, J. B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, nº. 2, p. 118 - 127, 2008.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X de; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, p. 159 - 169, 2012.

KARACA, A.; CETIN, S. C.; TURGAY, O. C.; KIZILKAYA, R. Soil enzymes as indication of soil quality. **Soil enzymology**, Springer, Berlin, Heidelberg, p. 119 – 148, 2010.

KARACA, A.; CETIN, S. C.; TURGAY, O. C.; KIZILKAYA, R. Soil enzymes as indication of soil quality. **Soil enzymology**. Soil Biology 22, Chapter 7, Springer – Verlag, Berlin Heidelberg. 2011.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, nº 1, p. 4 - 10, 1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 53 - 72, 1994.

KAZMIERCZAK, R. **Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de preparo**. 2018. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Setor de Ciências Agrárias e De Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ponta Grossa, MT, 2018.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A. Densidade relativa-um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, nº. 1, p. 26 - 32, 2006.

KONZEN, A. M.; BORTOLI, J. de; GOMES, P. R.; SORDI, A.; CERICATO, A. Propriedades físicas do solo em diferentes sistemas de uso e manejo. **Unoesc & Ciência – ACET**, v. 9, nº. 2, p. 183 - 190, 2018.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, nº. 3, p. 415 - 423, 2004.

LEITE, J. N. F. **Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo em função de plantas de cobertura e de adubação nitrogenada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, SP, 2015.

LEME, T. M. S. P.; PIRES M. F. A.; VERNEQUE R. S. V.; ALVIM M. J.; AROEIRA L. J. M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e agrotecnologia**, v. 29, nº. 3, p. 668 – 675, 2005.

LIMA, M. C. D. de; GAMA, D. C. O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no brasil: conceitos, desafios e novas perspectivas. **Agroforestalis News**, v. 3, nº. 1, p. 31 - 51, 2018.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de; MELO, V. de F. **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Universidade Federal Do Paraná, Departamento De Solos e Engenharia Agrícola, UFPR, 2007.

LISBÔA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. D. S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, nº. 9, p. 1184 - 1193, 2016.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. Instituto da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, SP: 2ª edição, 177 p. 1998.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. A. G. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. Boletim técnico 2ª edição, 62 p., São Paulo, - SP: ANDA, 1994.

LOWERY, B.; HICKEY, W. J.; ARSHAD, M. A.; LAL, R. Soil water parameters and soil quality. **Methods for assessing soil quality**, v. 49, p. 143 - 155, 1997.

MACEDO, J. L. V. de. SAFs. “Sistemas Agroflorestais - princípios básicos”: Projeto de Reflorestamento em Áreas Sob Intensa Pressão do Desmatamento no Sul do Estado do Amazonas. **Cartilha, Embrapa Amazônia Ocidental**. 2013.

MACEDO, M. C. M. **Recomendações de calagem e adubação para pastagens em solos arenosos**. Embrapa Gado de Corte, 2014. Disponível em: https://unoeste.br/site/destaques/outros_destaques/documentos/PALESTRAS_SBSA_2014_PDF/10.pdf. Acesso em 18 out. 2020.

MACEDO, R.; VENTURIM, N.; PEREIRA, A.; MORAIS, V.; GOMES, J.; JUNIOR, M. Dinâmica de crescimento de seringueira e produção de cafeeiro em sistemas agroflorestais implantados em lavras – Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, ano IV, nº. 7, p. 1 - 11, 2006.

MARINHESKI, V. Aspectos sobre a erosão pluvial em usos agropecuários. **Revista Espacios**, v. 37, nº. 5, 2016.

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D. R. D.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, nº. 3, p. 563 - 550, 2007.

MARTINS FERREIRA, R. R.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, nº. 4, p. 913 - 932, 2010.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; DALLA ROSA, J.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, nº. 4, p. 799 - 806, 2008.

MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A. DO; LIMA, J. A. G.; MEDEIROS, A. D. L. Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, nº. 8, p.791 - 796, 2010.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; DA ROCHA, W. S. D.; DE CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. de. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, nº. 1, p. 13 - 29, 2010.

NORTCLIFF, S. Standardization of soil quality attributes. **Agriculture Ecosystems e Environment**, v. 88, nº. 2, p. 161 - 168, 2002.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. 1ª Ed., Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2007. p. 471 - 537.

NUNES, H. B. **Estabilidade de agregados em solos do cerrado**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de Brasília, Faculdade De Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, DF, 2018.

PAPA, R. D. A.; LACERDA, M. P. C.; CAMPOS, P. M.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos sob vegetação nativa de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, nº. 4, p. 564 - 571, 2011.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. de S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. de. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, nº. 5, p. 1119 - 1129, 2007.

PEREIRA, D. dos S. **Qualidade física de um latossolo em diferentes sistemas agrícolas no cerrado de baixa altitude**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Ilha Solteira, SP, 2018.

PEREIRA, H. S. Fertilidade: Nutrientes, Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Visão agrícola**, nº. 9, p. 43 – 46, 2009.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, nº. 6, p. 567 - 573, 2004.

PEZARICO C. R.; VITORINO A. C. T.; MERCANTE F. M.; DANIEL O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciências Agrárias**. v. 56, nº. 1, p. 40 – 47, 2013.

PINHEIRO, R. J. B.; NUMMER, A. V.; RAUBER, A. C. Unidades geológico geotécnicas de Santa Maria – RS. **Geociências**, UNESP, v. 36, nº. 2, p. 347 – 363, 2017.

PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. D. S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; CARVALHO, R. D. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, nº. 2, p. 635 - 642, 2012.

POLETO, N. **Nitrogênio no solo e na planta e o manejo da adubação nitrogenada em cevada no sistema plantio direto**. 2004. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS, 2004.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C. K.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, nº. 2, p. 159 - 164, 1987.

PRADO, R. de M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. de. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, nº. 12, p. 1795 - 1801, 2002.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fósforo: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, nº. 6, p. 1609 - 1623, 2007.

REGO, C. A. R. M.; MUNIZ, L. C.; REIS, V. R. R.; CANTANHEIDE, I. S. L.; COSTA, B. P.; MARQUES, E. O.; OLIVEIRA, P. S. R. Análise econômica da implantação de diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no município de Pindaré-mirim, maranhão. **Revista Sodebras**, v. 13, nº. 146, p. 114 - 118, 2018.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29 - 48, 2003.

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 em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 49 - 134, 2007.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, nº. 1-2, p. 131 - 146, 2002.

RIBASKI, J. Sistemas agroflorestais: benefícios socioeconômicos e ambientais. In: SIMPÓSIO SOBRE REFLORESTAMENTO NA REGIÃO SUDOESTE DA BAHIA, 2., 2005, Vitória da

Conquista. **Anais [...].** Memórias. Colombo: Embrapa Florestas, Vitória da Conquista, 2008. p. 89 - 101.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (eds). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

RIBEIRO, L. C. R. **Tendências nas pesquisas sobre indicadores de qualidade do solo: uma abordagem cienciométrica.** 2018. Monografia (Graduação em Agronomia), Centro Universitário de Anápolis, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 2018.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras: produtividade do feijoeiro. **Bragantia**, v. 67, nº. 2, p. 533 -540, 2008.

ROCHA, J. L. A. **Matéria Orgânica do Solo.** 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/31564483-Materia-organica-do-solo-mos-fertilidade-do-solo-prof-josinaldo.html>. Acesso em: 06 mai. 2020.

RODRIGUES, A. B. C.; SCARAMUZZA, W. L.; SCARAMUZZA, J. F.; ROCHA, F. Atributos químicos em solo sob floresta nativa e capoeira. **Uniciências**, v. 14, nº. 1, 2010.

RODRIGUES, W.; MELO, J. A. Avaliação econômica de tecnologias de agricultura de baixo carbono em regiões de cerrado. **Informe Gepec**, v. 21, nº. 1, p. 82 - 100, 2017.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa**, Monitoramento por Satélite Campinas, SP, 2010.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares.** Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados – MS, 304 p. 2006.

SANTANA, D. **Mato Grosso é destaque no uso de sistema ILPF.** Disponível em: <http://www.sedec.mt.gov.br/-/5377694-mato-grosso-e-destaque-no-uso-de-sistema-ilpf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SANTOS SILVA, T. H. dos. **Indicadores físicos da qualidade de Latossolos da Chapada do Araripe no diagnóstico de impactos ambientais.** 2018. Monografia (Relatório de Estágio). Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2018.

SANTOS, D. R. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, nº. 2, p. 576 - 586, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; de OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; FILHO, J. C. de A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília – DF, – 5. ed., revista e ampliada, 2018.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Sistemas Agroflorestais (SAFs): conceitos e práticas para implantação no bioma amazônico**. 1. ed. Brasília - DF. 140 p. 2017.

SHARROW, S. H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry systems**, v. 60, nº. 2, p. 123 - 130, 2004.

SILVA, A. F. da; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, nº. 1, p. 179 - 192, 2014.

SILVA, A. P. da; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, nº. 6, p. 1775 - 1781, 1994.

SILVA, F. C da; EIRA, P. A. da; BARRETO, W. de O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPS, Documentos nº. 3, 1998.

SILVA, G. B. S. da; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Áreas alteradas em função de atividades antrópicas no bioma Cerrado localizado no Estado do Mato Grosso (MT), até o ano de 2001: uma abordagem espaço-temporal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, nº. 14, 2010.

SNAKIN, V. V.; KRECHETOV, P. P.; KUZOVNIKOVA, T. A.; ALYABINA, I. O.; GUROV, A. F.; STEPICHEV, A. V. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, v. 8, nº.4, p. 331 - 343, 1996.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, nº. 1, p. 9 - 15, 2016.

SOJKA, R.E.; UPCHURCH, D.R. Reservations regarding the soil quality concept; discussion. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, nº. 5, p. 1039 - 1054, 1999.

SOUZA NETO, E. L. de; PIERANGELI, M. A. P.; LAL, R. Compaction of an Oxisol and chemical composition of palisadegrass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, nº. 4, p. 928 - 935, 2013.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO E. **Latossolos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 25 fev. 2020.

SOUZA, E. D. de; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejo e usos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, nº. 3, p. 323 - 329, 2006.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, nº. 11, p. 1135 - 1139, 2005.

SOUZA, J. M. de. Propriedades físicas do solo de áreas cultivadas com pastagem e eucalipto convertidas de área da floresta atlântica. **Scientia Agraria Paranaensis**, Curitiba, v. 15, nº. 4, p. 487 - 492, 2016.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 24, nº. 4, p. 885 - 896, 2000.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, nº. 1, p. 133 - 139, 2003.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indication of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, nº. 2, p. 195 - 207, 1992.

STEFANOSKI, D. C.; FIGUEIREDO, C. C. D.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L. Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, nº. 9, p. 1643 - 1651, 2016.

TAVARES, S. R. de L.; MELO, A. da S.; ANDRADE, A. G. de; ROSSI, C. Q.; CAPECHE, C. L. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Documento, 103, EMBRAPA SOLOS, Rio de Janeiro, RJ, 228 p. 2008.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology**. San Francisco, W. H. Freeman, 1972. 532p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Brasília – DF, 3ª ed., revista e ampliada, 2017. 573 p.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. UFRGS, Porto Alegre, RS, 2016. 186 p.

TOPP, G. C.; REYNOLDS, F. J.; COOK, J. M.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. **Soil quality for crop production and ecosystem health**. v. 25, p. 21 - 58, 1997.

TSUKAMOTO FILHO, A. de A.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L.; PASSOS, C. A. M.; SILVA, M. L. da. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Agrossilvicultura**, v. 1, nº. 1, p. 29 - 41, 2004.

VALE, R. S. do; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; MORI, F. A.; MORAIS, A. R. de. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, nº. 3, p. 285 - 297, 2002.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S. da; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, nº. 6, p. 2105 - 2114, 2011.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. C (Orgs). Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, Brasília, DF, 391 p., 2016.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF. Embrapa, 163 p. 2017.

VILLELA, P. de M. **Impactos ambientais da modernização agropecuária em Goiás**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, GO, 2016.

VITOR PEREIRA, A.; PEREIRA, E. B. C.; FIALHO, J. de F.; JUNQUEIRA, N. T. V. **Seringueira em sistemas agroflorestais**. Planaltina – DF, EMBRAPA/CPAC, 45 p. Documentos, 63, 1997.

ZIMBACK, C. R. L. Formação dos solos. **GEPAG**. Botucatu, SP, 2003.