

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO**  
**AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**Agregação de solo em pastagens sob diferentes índices de qualidade e  
sua influência na infiltração de água**

Igor Crabi de Freitas

Itajubá (MG)

2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO**  
**AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**Agregação de solo em pastagens sob diferentes índices de qualidade e sua influência na infiltração de água**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dra. Eliane Guimarães Pereira Melloni

**Coorientador:** Prof. Dr. Rogério Melloni

Itajubá (MG)

2020

## RESUMO

No Brasil predomina a pecuária extensiva em relação ao confinamento, que implica no uso de grandes áreas que, muitas das vezes, são de baixo potencial agrícola e passíveis de degradação. Esta pesquisa tem por objetivo estudar a relação entre atributos físicos, químicos e visuais da qualidade do solo com a infiltração de água em solo sob diferentes estágios de sucessão. Para isso, foi escolhida a microbacia do Ribeirão José Pereira, área remanescente de mata Atlântica, na cidade de Itajubá, sendo 4 áreas em Argissolo: pastagem em boas condições visuais (PB); pastagem sob capoeira baixa (CB); pastagem sob capoeira alta (CA); pastagem sob capoeirão (CAO). Para determinação dos atributos físicos, químicos e microbiológicos foram coletadas 3 amostras compostas em cada área, na profundidade de 0-20 cm. Dos atributos físicos foram determinados: densidade do solo, porosidade, estabilidade de agregados via úmida e seca (diâmetro médio geométrico - DMG e diâmetro médio ponderado - DMP), e classificação dos agregados por via de formação (biogênica, fisiogênica e intermediária). Dos atributos químicos foram determinados: pH em água, Ca, Na, Al, H + Al, Mg, P, K, MO, SB, CTC, V%, m%, P remanescente. A análise visual foi feita utilizando a metodologia de referência para avaliação da qualidade do solo (RAQS). A análise de infiltração foi feita com o auxílio do permeâmetro de Guelph e a de resistência a penetração mecânica do solo um penetrômetro de impacto. Para análise dos resultados foi empregada estatística multivariada de componentes principais (PCA), por meio do software Past, e os dados submetidos à análise de variância, empregando-se o teste de Tukey a 5 %, pelo programa estatístico Sisvar. Dos resultados obteve-se que a sucessão natural não deve ser analisada conforme um parâmetro, mas sim como um todo, dado que, a partir dela melhores relações quanto a estabilidade dos agregados, porosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica são esperados. Assim, foi possível classificar as áreas na seguinte ordem crescente de qualidade do solo: pastagem em boas condições visuais (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO).

**Palavras-chave:** sucessão natural; qualidade do solo; serviços ecossistêmicos; infiltração de água.

## ABSTRACT

In Brazil, extensive livestock farming predominates in relation to confinement, which implies the use of large areas that, many times, are of low agricultural potential and susceptible to degradation. This research aims to study the relationship between physical, chemical and visual attributes of soil quality with the infiltration of water into the soil under different succession stages. For this, the Ribeirão José Pereira microbasin was chosen, a remaining area of Atlantic forest, in the city of Itajubá, with 4 areas in Argisolo: pasture in good condition (PB), pasture in the initial stage of succession; (CB), pasture in a more advanced stage of succession than CB (CA) and pasture in a very advanced stage of succession (CAO). To determine the physical, chemical and microbiological attributes, 3 samples were collected in each area, at a depth of 0-20 cm. Physical attributes were determined: soil density, porosity, wet and dry aggregate stability (geometric mean diameter - DMG and weighted average diameter - DMP), and classification of aggregates by formation (biogenic, physiogenic and intermediate). The chemical attributes were determined: pH in water, Ca, Na, Al, H + Al, Mg, P, K, MO, SB, CTC, V%, m%, P remaining. Visual analysis was performed using the reference methodology for assessing soil quality (RAQS). The infiltration analysis was performed with the aid of the Guelph permeate and the resistance to mechanical penetration of the soil using an impact penetrometer. To analyze the results, multivariate principal component statistics (PCA) were used, using the Past software, and the data were submitted to analysis of variance, using the Tukey test at 5%, using the Sisvar statistical program. From the results it was obtained that the natural succession should not be analyzed according to a parameter, but as a whole, given that, from it, better relations regarding the stability of the aggregates, porosity, macroporosity and hydraulic conductivity are expected. Thus, it was possible to classify the areas in the following increasing order of soil quality: PB, CB, CA and CAO.

**Keywords:** natural succession; soil quality; ecosystem services; water infiltration.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e proteção ao longo de meu caminho.

Aos meus pais e irmão por sempre estarem ao meu lado me motivando e apoiando. E minha família por sempre me colocarem em suas orações.

À Marília pelas conversas e conselhos diários que foram essenciais para a conclusão deste objetivo e por sempre me mostrar que posso mais..

Aos meus amigos de Itajubá, em especial aos da República Tijolino, pelas conversas, festas e também pelos momentos de ajuda em minha pesquisa, com idas a campo, que foram determinantes para sua conclusão.

Aos meus colegas de pesquisa, minha gratidão e agradecimento pelo suporte nas dificuldades.

Aos meu orientadores obrigado pelos ensinamentos e apoio na pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa oferecida, a qual me permitiu a dedicação exclusiva à realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolutivo das áreas de pastagem e florestas no Brasil, no intervalo de 1985 a 2017 .....	17
Figura 2- Diferentes tipos de estrutura do solo. (a) Prismática, (b) colunar, (c) blocos angulares e subangulares, (d) laminar e (e) granular.....	21
Figura 3- Níveis de degradação em pastagens e sua classificação .....	25
Figura 4 - Serviços ecossistêmicos e suas relações com o bem-estar humano.....	28
Figura 5 - Metodologia de pesquisa com suas respectivas fases, objetivos, métodos e ferramentas .....	34
Figura 6 - Distribuição das formas de uso e ocupação do solo na sub-bacia do ribeirão José Pereira.....	35
Figura 7- Perfil de Argissolo Vermelho distrófico latossólico de textura argilosa e média. ....	37
Figura 8 - Localização da área de estudo, com ênfase às quatro áreas de estudo. ....	37
Figura 9 - Áreas de Estudo a) PB- pastagem em boas condições b) CB - capoeira baixa c) CA - capoeira alta d) CAO - capoeirão .....	38
Figura 10 - Área 1 (PB): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta	39
Figura 11 - Área 2 (CB): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta	40
Figura 12 Área 3 (CA): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta .	41
Figura 13 Área 4 (CAO): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta .....	42
Figura 14 - Ensaio de densidade de raízes.....	44
Figura 15– Ensaio de condutividade hidráulica do solo.....	45
Figura 16 - Ensaio resistência a penetração do solo.....	46
Figura 17- Gráfico de índice de qualidade visual (IQV) das as áreas de: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) .....	48
Figura 18 - Vias de formação de agregados: (a) – Via fisiogênica; (b) Via intermediária; (c)Via biogênica. ....	53
Figura 19 - Resistência mecânica do solo a penetração, via penetrômetro de impacto, para diferentes usos com pastagem e sucessão.....	56
Figura 20 - Correlação de Pearson (p-value <0,05) entre os atributos do solo, DMGu – Diâmetro médio geométrico via úmida, DMPu – Diâmetro médio ponderado via úmida, DMGs – Diâmetro médio geométrico via seca, DMPs – Diâmetro médio ponderado via seca, IEA – Índice de estabilidade dos agregados, Dens – Densidade do solo, Poro – Porosidade total, Micro – Microporosidade, Macro – Macroporosidade, Bio – Agregado biogênicos, DR – Densidade de raízes, RP – Resistência a penetração, CH – Condutividade Hidráulica, MO – Matéria orgânica. ....	59
Figura 21- Resultado da Análise de componentes principais (PCA) e Scores do CP1, evidenciando o sentido da melhoria da qualidade do solo nas diferentes áreas de estudo. ....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Utilização de terras referentes à pecuária no Brasil .....	15
Tabela 2- Panorama brasileiro das condições de conservação de pastagens.....	17
Tabela 3 - Serviços ecossistêmicos e métodos de valoração .....	29
Tabela 4 - Resultados de índice de qualidade visual (IQV), índice de qualidade visual relativa (IQV 100) e déficit de qualidade visual para as áreas de: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) .....	47
Tabela 5- Resultados da Análise de macronutrientes, soma de bases (SB), acidez potencial (H+Al) e alumínio extraível (Al), de CTC (efetiva – t; total – T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P rem) e pH, em amostras de solo para as áreas de: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) .....	49
Tabela 6- Resultados das análises do DMG e DMP para as áreas de: pastagem em boas condições visuais (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) ..	51
Tabela 7- Análises de densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade para as áreas de: pastagem em boas condições visuais (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) .....	52
Tabela 8- Análise das três vias de formação de agregados do solo para as áreas em questão: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) .	54
Tabela 9 - Valores médios de densidade de raízes, relativos a camada de 0-20 cm do solo, para as áreas em questão: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO).....	54
Tabela 10 - Valores médios da condutividade hidráulica do solo, por meio do permeâmetro de Guelph, , para as áreas em questão: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) .....	57
Tabela 12 - Loadings da análise de componentes principais CP1 e CP2.....	61

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne

Al – Alumínio

APP – Área de preservação permanente

CB - pastagem sob capoeira baixa

CA - pastagem sob capoeira alta

CAO - pastagem sob capoeirão

CP – Componente principal

CTC – Capacidade de troca catiônica

DMG - Diâmetro médio geométrico

DMP - Diâmetro médio ponderado

DP – Densidade de partículas

DS – Densidade do solo

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FMA's – Fungos micorrízicos arbusculares

HCL – Ácido clorídrico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IF – Índice de floculação

ind – Indivíduos

IQV – Índice de qualidade visual

K – Potássio

m – Índice de saturação por alumínio

Mg – Magnésio

MO – Matéria orgânica

Na – Sódio

NaOH – Hidróxido de sódio

nº - Número

°C – Graus Celsius

P – Fósforo

PB - pastagem em boas condições visuais

PCA – Análise das componentes principais

PIB – Produto Interno Bruto

RAQS - Referência para Avaliação da Qualidade do Solo

RL – Reserva legal

SB – Soma de bases

ServiAmbi - Avaliação de indicadores e valoração de serviços ambientais em diferentes sistemas de manejo

T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0

t – Capacidade de troca catiônica efetiva

TFSA – Terra fina seca ao ar

TOC – Carbono orgânico total

V – Índice de saturação de bases

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2.OBJETIVOS.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1. Histórico agropecuário e sua dinâmica de ocupação.....	14
3.2. Panorama atual das pastagens no Brasil.....	15
3.3. Minas Gerais, um expoente na pecuária brasileira.....	18
3.4. Agregação de solo em pastagens, sob perspectiva física, química e microbiológica.....	19
<b>3.4.1. Conceito e formação do solo</b> .....	19
<b>3.4.2. Agregação do solo e seus impactos</b> .....	20
<b>3.4.3. Fatores condicionantes na formação e estabilidade de agregados do solo</b> .....	22
3.5. O conceito de degradação ambiental para Solo e Pastagens.....	23
<b>3.5.1. Degradação do solo</b> .....	23
<b>3.5.2. Degradação de pastagens</b> .....	24
3.6. Serviços ecossistêmicos, a influência da natureza e suas consequências à qualidade do solo.....	26
<b>3.6.1. Serviços Ambientais em Pastagens: sucessão natural</b> .....	31
4. METODOLOGIA.....	34
4.1. Etapas de pesquisa.....	34
4.2. FASE 1 - Seleção de áreas para a pesquisa.....	34
4.3. FASE 2 - Caracterização das áreas.....	35
4.4. FASE 3 - Análise e síntese.....	42
<b>4.4.1. Classificação Visual</b> .....	42
<b>4.4.2. Atributos Físicos</b> .....	43
<b>4.4.3. Atributos Químicos</b> .....	43
<b>4.4.4. Densidade de raízes</b> .....	44
<b>4.4.5. Análise de Infiltração e Resistência à Penetração</b> .....	44
4.5. FASE 4 – Apresentação dos Resultados.....	46
<b>4.5.1. Análise Estatística</b> .....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1 Análise visual.....	47
5.2. Análises Químicas.....	48

5.3. Análises físicas .....	50
5.4. Densidade de raízes .....	54
5.5 Análises de infiltração e compactação.....	55
5.6. Análise Estatística .....	58
6. CONCLUSÕES .....	63
7. REFERÊNCIAS .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é responsável pelos mais variados processos relacionados à vida e, de sua interação com o meio, resultam os mais diversos tipos. No entanto, ele é considerado um recurso não renovável em escala humana e, com isto, requer atenção. A FAO (2015), no livro “Estado da Arte do Recurso Solo no Mundo”, que traz uma perspectiva global sobre as condições atuais do solo, destaca que, apesar do papel fundamental na prestação de serviços ecossistêmicos, como produção de água e sequestro de carbono, cerca de 30% dos solos no mundo estão sob algum nível de degradação, o que pode causar ameaças à sua contribuição para a produção desses serviços.

A pecuária, em especial sob manejo extensivo, muito comum no mundo e, em especial, no Brasil, acarreta grandes danos ao solo. A literatura científica aponta diversos problemas ligados à agregação do solo causados pelo manejo inadequado das pastagens, dentre esses, problemas relacionados à compactação, desenvolvimento radicular, aeração do solo, que diminuem a proteção do mesmo contra processos erosivos, armazenamento de água, entre outros.

Como a atividade pecuária no Brasil continua em processo de expansão, são importantes os estudos que avaliem seu impacto ao meio e o desenvolvimento de práticas visando o uso sustentável do solo. Para tal, acompanhar o efeito substituição de um ambiente natural para uma área de pastagem plantada se faz necessário, onde avaliar os efeitos positivos e/ou negativos pode ajudar na compreensão dos impactos dessa mudança na qualidade do solo e, conseqüentemente, no ambiente.

A região da microbacia do Ribeirão José Pereira, em Itajubá, sul de Minas Gerais, Brasil, de acordo com seu mapa de uso e ocupação, é composto por cerca de 50% de pastagens. Sob relevo acidentado e com manejos predominantemente extensivos, as pastagens da região estão sob algum nível de degradação, o qual compromete, principalmente, o armazenamento de água no solo, diminuindo a recarga de aquíferos e potencializando o escoamento superficial e o desenvolvimento de processos erosivos.

Este projeto, além de mensurar o impacto causado ao solo, por meio da avaliação da qualidade física, química e visual, enfoca a agregação do solo e seu impacto nas características físico-hídricas do mesmo, e os relaciona com os serviços ecossistêmicos prestados pela natureza, por meio da sucessão natural.

## **2.OBJETIVOS**

O objetivo geral foi estudar a relação entre atributos físicos, químicos e visuais da qualidade do solo com a infiltração de água em solo sob diferentes estágios de sucessão.

Para atender ao objetivo geral, os objetivos específicos foram:

- Determinar a caracterização dos atributos físicos, químicos, visuais e hidráulicos em áreas com diferentes níveis de sucessão vegetal;
- Determinar o impacto da sucessão vegetal na qualidade do solo, a fim de estabelecer-se uma ordem crescente de qualidade;
- Analisar a relação entre os atributos estudados com a agregação e infiltração de água no solo, de forma a evidenciar aqueles de maior influência.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Histórico agropecuário e sua dinâmica de ocupação

O Brasil destaca-se como um dos principais fornecedores de carne bovina para o mundo, encerrando o ano de 2018 com um PIB pecuário em torno de R\$ 597,22 bilhões, o que corresponde a 8,7% no PIB total brasileiro. A atividade agropecuária brasileira sempre teve destaque nas balanças comerciais do país, graças as exportações, que inferem, ao Brasil, segurança em seu saldo comercial. (ABIEC, 2019).

Segundo Dias Filho (2016), a pecuária no Brasil teve uma transição de pastagens nativas para pastagens plantadas a partir do século 20. No entanto, pouca diferença houve em relação ao manejo utilizado, ou seja, ainda prevalece um baixo investimento em insumos e tecnologias. E isto ocorre porque a agropecuária extensiva, embora com baixo rendimento, permite este menor investimento em estrutura em relação as atividades agrícolas. Tal fato, faz com que no Brasil, áreas de baixo potencial agrícola sejam transformadas em áreas de pastagens.

Assim, regiões de baixa fertilidade e de elevada declividade tendem a se tornar áreas de pastagens. No Relatório Anual do Perfil da Pecuária no Brasil, feito pela Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne – ABIEC, em 2019, vê-se retrato disto: os maiores rebanhos brasileiros se concentram em solos com limitações agrícolas. Destaque para o estado de Mato Grosso, primeiro do *ranking*, com mais de 29 milhões de cabeças de gado, seguido pelos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, este último exemplo de condições de relevo acidentado, com aproximadamente 22 milhões de cabeça de gado.

Desta forma, o Brasil, como um país de grandes proporções, se torna ideal para a pecuária extensiva, mesmo com sua produtividade reduzida, ao apresentar áreas de expansão. Assim, produtores tendem a expandir suas fronteiras agrícolas sob áreas de vegetação natural, à medida que necessitam manter ou aumentar a produção ao longo do tempo, ao invés de priorizar manejos mais eficientes aos solos (DE MARIA; CASTRO; DIAS, 1999; DIAS-FILHO,2011)

Tal dinâmica é explicada por Dias Filho (2016) onde eventos de indisponibilidade de terras agricultáveis e/ou, o conseqüente, aumento do preço destas terras, estimulam a

migração para novas áreas. Para o autor, duas fases compõem este processo: a primária ou de crescimento horizontal, relacionada a uma rápida expansão sob áreas de baixo valor comercial, priorizando a pecuária extensiva, e a secundária ou de crescimento vertical, marcada pela necessidade de expansão. Desta forma, nesta etapa, novas fronteiras agrícolas são criadas, iniciando um novo ciclo de expansão e procura por novas áreas. Isto se dá em virtude de muitos produtores ainda terem uma visão extensiva sobre a pecuária, identificando esta fase como a de abandono ou de intensificação da atividade pecuária, à medida que se entende o uso da tecnologia em prol de uma pecuária mais eficiente.

### 3.2. Panorama atual das pastagens no Brasil

A intensificação da pecuária brasileira ocorreu no início do século XX, mais especificamente nas décadas de 30 e 40, onde houve um grande avanço de pastagens sobre florestas nativas. E tornou-se elemento pioneiro na expansão das fronteiras agrícolas no país (ROCHA, 1988). Hoje, com a devida importância da pecuária no Brasil, as pastagens plantadas ocupam quase 112 milhões de hectares (ha), totalizando cerca de 13% do território brasileiro (IBGE, 2018). De acordo com a Tabela 1, vê-se um crescimento das pastagens plantadas, enquanto as naturais são suprimidas no intervalo de 1975 à 2017. Nota-se, também, o crescimento de matas naturais, com interferência direta da agropecuária.

Tabela 1- Utilização de terras referentes à pecuária no Brasil

Utilização de Terras (ha)	1975	1980	1985	1995/1996	2006	2017
Pastagens Naturais	125.950.884	113.897.357	105.094.029	780.484.63	57.633.189	46.847.430
Pastagens Plantadas	39.701.366	60.602.284	74.094.402	99.652.009	102.408.873	111.775.274
Matas Naturais*	67.857.631	83.151.990	83.016.973	88.897.582	95.306.715	106.211.639

Fonte: Adaptado de IBGE (2018).

\*Matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, matas e/ou florestas naturais e áreas florestais também usadas para lavouras e pastoreio de animais na data de referência.

Uma das explicações para a substituição de pastagens naturais para as plantadas se dá pelo fato de as gramíneas tropicais apresentarem um baixo valor nutritivo, com reduzidos teores proteicos e minerais. Assim, o uso de capins exóticos passa a ter maior relevância na busca por uma melhor nutrição ao rebanho que, de certa forma, aumenta a rentabilidade do negócio (EUCLIDES, 1988; DIAS-FILHO, 2016). Kichel et al. (2011)

relatam que, com os manejos convencionais, o ganho de peso diário por animal está em torno de 274 g/animal/dia, mas que poderia chegar a 1000 g/animal/dia, conforme o tipo de cobertura utilizado.

O aumento de áreas de matas nativas decorrentes de atividades agropecuárias, exposto na Tabela 1, pode não estar relacionado à diminuição do desmatamento. A partir do momento que novas fronteiras agrícolas são abertas, e suas terras regularizadas, o Código Florestal Brasileiro impõe alguns limites de preservação. Por lei, toda propriedade deve ter sua reserva legal (RL), área esta de proteção da vegetação natural. Cada bioma tem seu próprio limite de conservação, sendo: 80% da propriedade na Amazônia legal; 35% em propriedades no Cerrado da Amazônia legal; 20% em áreas de floresta; e 20% em áreas de Campos Gerais (BRASIL,2012)

Além da RL, existem outras áreas naturais consideradas intocáveis, com rígidos limites para exploração, sendo elas, as áreas de preservação permanentes (APP). Dentro de uma APP não é permitida a exploração econômica direta de seus recursos. Caracterizam-se áreas de preservação permanentes: margens de rios, que de acordo com sua magnitude pode variar de 30 a 500 metros; Lagoas, que análogo aos rios pode variar de 30 a 100 metros em seu entorno; Nascentes de água, implicam em um raio de proteção de 50 metros; e morros com mais de 45° de inclinação (BRASIL, 2012).

A Figura 1 ilustra que mesmo com o aumento da vegetação natural diretamente ligado à atividade agropecuária, no período de 1985 a 2017 houve uma supressão nas áreas de mata nativas, enquanto o número de pastos aumentou. Segundo o último censo agropecuário, feito pelo IBGE em 2018, dos quase 112 milhões de hectares referentes a pastagens plantadas, 64% destas áreas estão nas regiões norte e centro-oeste (Tabela 2).

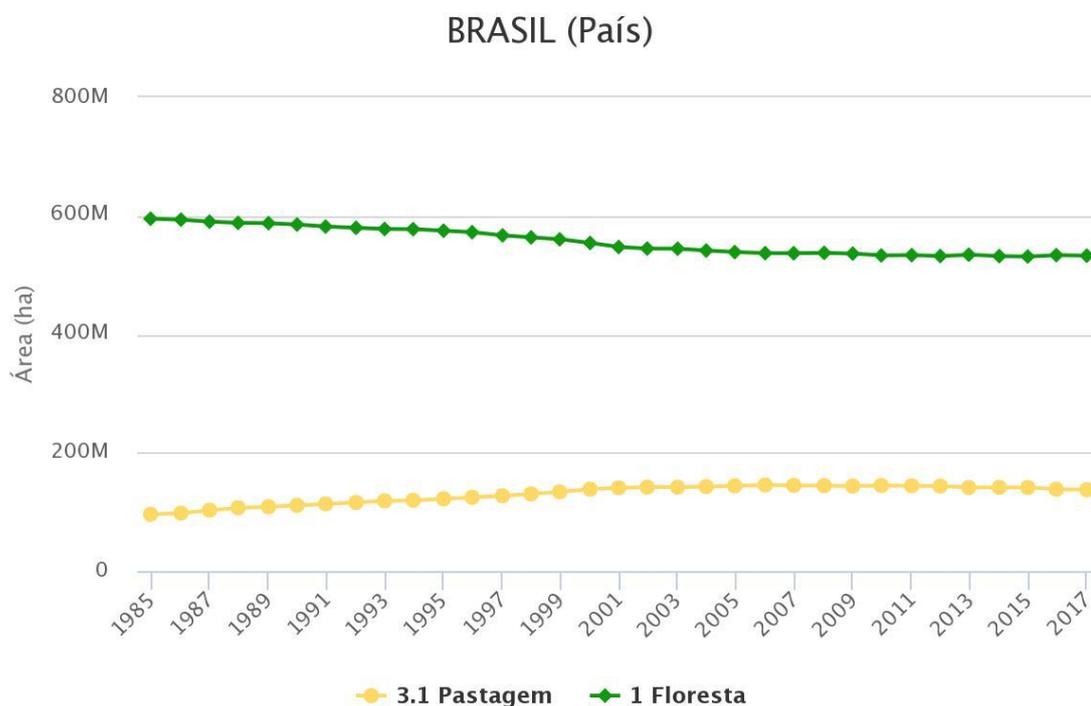


Figura 1- Evolutivo das áreas de pastagem e florestas no Brasil, no intervalo de 1985 a 2017

Fonte: Adaptado Mapbiomas (2019)

Tabela 2- Panorama brasileiro das condições de conservação de pastagens

%	Distribuição das Pastagens Plantadas	Pastagens Plantadas em Más
	por região	Condições
Brasil	-	12%
Norte	24%	8,33%
Nordeste	14%	28,57%
Sudeste	17%	11,76%
Sul	5%	5%
Centro-Oeste	40%	7,5%

Fonte: IBGE (2018).

Assim, hoje a região amazônica se tornou a maior fronteira agrícola do país, onde a pecuária extensiva é vista como uma atividade bastante atrativa. Dentre fatores que impulsionaram este avanço, têm-se que: o manejo extensivo de gado demanda pouca mão de obra, recurso escasso no meio rural, terras baratas e abundantes, enquanto áreas do

sudeste brasileiro se valorizaram, em decorrência da produção de grãos e cana-de-açúcar (ADAMI et al., 2012), além de condições climáticas favoráveis, que garantem que a pastagem seja a base alimentar, da pecuária de corte, o ano todo (DIAS-FILHO, 2016).

Os estados com maiores áreas de pastagens são: Mato Grosso (17,5 milhões de ha), Mato Grosso do Sul (12,7 milhões de ha), seguido pelo, expoente, estado de Minas Gerais (11,7 milhões de ha) (IBGE, 2018). No entanto, apesar do número expressivo de pastagens nas regiões norte e centro-oeste, estas não concentram as maiores áreas de pastagens em más condições, que ficam com nordeste e sudeste, com 28,57% e 11,76% de suas pastagens degradadas, respectivamente (Tabela 2).

### **3.3. Minas Gerais, um expoente na pecuária brasileira**

Entender a importância do estado de Minas Gerais na pecuária brasileira remete ao início da república no país. Com a consolidação da república em 1889, forças elitistas tomaram a frente pelo poder, com destaque a dois estados: São Paulo, com suas oligarquias cafeeiras, e Minas Gerais, com sua produção de leite. Tal forma de política, ficou assim conhecida por República do café com leite (CLARK, 2006).

Visto a importância nacional da produção leiteira de Minas Gerais, desde o final do século XIX, pode-se inferir que o território sofreu modificações em sua paisagem natural. Análogo às condições nacionais de pecuária, com o predomínio de manejos extensivos, espera-se destas modificações a transformação do território em grandes áreas de pastagem, confirmado, hoje, pela terceira maior área de pastagem do país (IBGE,2018).

Com a terceira colocação em pastagens, Minas Gerais tem o quarto maior rebanho do país com aproximadamente 24 milhões de cabeças, ou seja, 10,14% do rebanho nacional. A pecuária no estado é bastante dividida em relação a fins de corte ou leite, algo diferente de outros estados referência como Mato Grosso. Para este estado, cerca de 95% do rebanho é destinado exclusivamente a corte, enquanto para Minas apenas 41,7% (ABIEC,2019).

Segundo o censo agropecuário de 2017, feito pelo IBGE, Minas Gerais possui mais de 600 mil estabelecimentos rurais, com fins pecuários. Destes, 80% consistem de pequenos produtores com áreas até 50 hectares. Em especial, na região sul de Minas Gerais, Flauzino (2012) a destaca com um relevo bastante acentuado, com predomínio de

pastagens sob manejos poucos conservacionistas, refletindo a falta de informação, baixo nível de consciência e de tecnologia, algo comum em menores propriedades.

Como visto antes, o baixo investimento em manejos conservacionistas leva o Brasil a ter cerca de 12% de suas pastagens em más condições. No entanto, o estado de Minas Gerais destaca-se de forma, ainda mais, negativa nesta balança, com mais de 17% de suas pastagens em más condições (IBGE,2018). Tal fato, infere maior respaldo ao uso de manejos sustentáveis em detrimento aos extensivos, de forma a garantir a conservação do solo e, como consequência, melhores condições aos rebanhos.

### **3.4. Agregação de solo em pastagens, sob perspectiva física, química e microbiológica**

#### **3.4.1. Conceito e formação do solo**

O solo é um dos mediadores da vida nos ecossistemas terrestres, com influência direta na hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera. Onde, a partir dele, nutrientes são disponibilizados para as plantas, que resultam em energia para cadeias alimentares, além de ser base para a qualidade do ar e da água, visto que, nestes ciclos, o solo funciona como um regulador. Sua formação se dá a partir da exposição das rochas da litosfera com a atmosfera, condicionada pelos seguintes fatores: clima, organismos, material de origem, relevo e tempo. Assim, sob a ação de fenômenos físicos, químicos e biológicos, o solo começa a ser formado, por ação do intemperismo (LEPSCH, 2010).

Por conseguinte, o grau de atuação do intemperismo varia de acordo com os fatores de formação do solo, o que propicia a formação de inúmeros tipos de solos, com as mais diversas características. O intemperismo físico, altera o tamanho e/ou a forma dos minerais preservando suas características mineralógicas, diferente do intemperismo químico, onde há a transformação dos minerais primários em secundários. Já no intemperismo biológico, ocorre a intensificação dos outros dois tipos, seja por esforço mecânico das raízes ou por substâncias químicas produzidas pelos organismos sob as rochas. Sendo assim, tais processos intempéricos recebem o nome de pedogênese, onde as camadas de materiais desagregados dão origem aos mais variados tipos de solos (CARNEIRO; GONÇALVES; LOPES, 2015).

O relevo é um dos principais fatores de formação do solo, visto que o mesmo pode condicionar os outros fatores. Ele é responsável pela regulação da umidade do solo, bem como processos de erosão e lixiviação, nível do lençol freático e com influência direta no microclima. Desta forma, atua diretamente nos atributos químicos do solo, já que sua influência na direção do fluxo da água induz a variabilidade espacial destes, modificando a disponibilidade de nutrientes espacialmente (ARTUR et al., 2014). Assim Skorupa et al. (2012), dizem que com esta variabilidade espacial das propriedades do solo, padrões de fisionomias vegetais são encontradas indicando um inter-relação entre a pedogênese e distribuições biogeográficas.

Portanto, as variáveis ambientais se tornam determinantes para os processos de formação do solo e assumem um papel fundamental na ocupação territorial. Onde preservar a capacidade de uso, promover a infiltração de água para recarga aquífera e garantir a manutenção de diversas outras funções do solo é essencial, já que os atributos físicos e químicos apresentam-se dependentes dos pedoambientes (CAMPOS et al., 2010; PATO; MAGALHÃES; TAVARES, 2011). Além de que, o solo não é um recurso renovável, sua formação demanda milhares de anos e, desta forma, sua conservação é fundamental para a conservação da vida.

### **3.4.2. Agregação do solo e seus impactos**

O agrupamento e organização de partículas solo e sua distribuição num volume de solo refere-se a estrutura do mesmo. Apesar de não ser um fator limitante, a estrutura do solo, está indiretamente ligada a todos os fatores que agem sob o solo. E de acordo com a organização destas partículas e do ambiente de formação, muitos tipos de agregados estruturais podem ser formados (REINERT; REICHERT, 2006).

Agregados são um conjunto de partículas primárias (argila, silte, areia) do solo que se aderem umas às outras mais fortemente do que a outras partículas circunvizinhas, em decorrência das cargas elétricas superficiais das partículas coloidais (MELO et al., 2008). Atuam na manutenção de importantes condições edáficas como aeração, porosidade, infiltração, controle de processos erosivos, germinação de sementes e crescimento e desenvolvimento de raízes e da comunidade microbiana (DEXTER, 1988).

Assim, a forma, tamanho e arranjo dos agregados do solo descrevem sua estrutura e Reinert e Reichert (2006), apresentam quatro tipos (Figura 2):

- Granular e grumosa – agregados arredondados influenciados diretamente pela matéria orgânica e atividade microbiológica e, portanto, presentes na superfície do solo. São friáveis e apresentam poros visíveis;
- Laminar – agregados em formato laminar, em decorrência do material de origem, presentes em ambientes de argilas de alta atividade, ou em horizontes muito compactados;
- Prismática e colunar – agregados formados em ambientes mal drenados ou em horizontes subsuperficiais, com baixa concentração de matéria orgânica. Normalmente os agregados são grandes e adensados;
- Blocos angulares e subangulares – agregados com formato cubóide, originários de ambientes moderadamente a bem drenados nos subsolos.

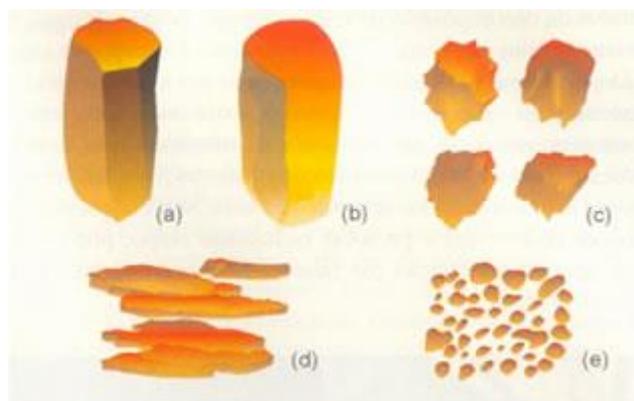


Figura 2- Diferentes tipos de estrutura do solo. (a) Prismática, (b) colunar, (c) blocos angulares e subangulares, (d) laminar e (e) granular.

Fonte: Adaptado de Lepsch (2010)

Além disso, os agregados são descritos em diferentes classes em função do tamanho: 0,002–0,020, 0,020–0,250, e 0,250 mm e se referem, respectivamente, aos microgregados, mesoagregados e macroagregados (PAUL, 2014).

Os microagregados são formados por flocculação de silte e argila, minerais amorfos e substâncias húmicas da matéria orgânica, estabilizados por polissacarídeos e proteínas de tecidos animais e vegetais, exsudatos radiculares e, principalmente, de células

microbianas, bactérias e micélio de fungos. A estabilidade desses agregados depende da ação entre formação da biomassa e atividade microbiana (decomposição). Segundo Balota (2017), os microagregados estão ligados à capacidade de retenção de água no solo.

Os mesoagregados são usualmente originados por restos de plantas e células microbianas (matéria orgânica) e por partículas minerais finas. Os macroagregados são formados por raízes finas de plantas e micélio fungico que juntam os micro e mesoagregados. Dessa forma, hifas de fungos micorrízicos (RILLIG, 2004) contribuem muito com a formação de agregados por crescerem nos pequenos espaços porosos e ligarem as partículas do solo. Segundo Paul (2014) e Balota (2017), os micro e mesoagregados tendem a ser resistentes a quebras mecânicas do impacto de chuva e processo de secagem e umedecimento. Os macroagregados usualmente se mantêm intactos em solos não perturbados, mas instáveis à atividade de organismos do solo e chuvas pesadas. Esses macroagregados são importantes por controlarem a atividade microbiana, a ciclagem da matéria orgânica, a porosidade, aeração, drenagem/infiltração de água no solo e facilidade de movimentação/crescimento de raízes. Nesse contexto, segundo o último autor supracitado, para que um solo possa ter macroagregados estruturalmente estáveis, é necessário que os mesmos sejam constituídos por microagregados estáveis.

### **3.4.3. Fatores condicionantes na formação e estabilidade de agregados do solo**

O manejo inadequado dos solos, oriundo da ocupação desenfreada por atividades agropecuárias, faz com que grandes áreas apresentem solos expostos ou em situações de elevada degradação. Segundo Silva et al. (2015) áreas agropecuárias favorecem a compactação do solo, em relação a solos que não sofreram interferência antrópica, por exemplo, sob florestas. Esta diferença pode ser explicada em decorrência da melhoria da qualidade física do solo, como agregação das partículas e redução da densidade do solo, proporcionada pela matéria orgânica, atividade microbiana e de raízes, que auxiliam na formação de bioporos.

A matéria orgânica (MO), em uma visão mais específica, está correlacionada com estrutura do solo, sendo um importante agente na ligação das partículas minerais do solo, com grande influência na formação e estabilidade dos micros e macroagregados. Garantir uma maior quantidade de macroagregados pode levar à melhoria no sistema radicular das

plantas, drenagem e infiltração da água, bem como resistência a erosão (ŠIMANSKÝ, 2013).

Como exemplo, Spohn e Giani (2010), ao avaliarem a relação da matéria orgânica com o tamanho dos agregados do solo, por meio do carbono orgânico total (TOC), sugerem que a medida em que se aumenta a concentração de MO aumenta-se o diâmetro médio dos agregados. E, evidenciaram que está diretamente relacionada ao tipo de manejo utilizado, de maneira que a proporção de macroagregados reduz na ordem de floresta, pastagem e área agricultável, respectivamente.

O papel das raízes na formação de agregados tem se mostrado muito importante, dado que os valores de densidade e resistência do solo estão inversamente relacionados à densidade de raízes. Assim, em manejos incipientes que levam a degradação do solo, espera-se uma diminuição de raízes no perfil do solo e uma concentração do sistema radicular próximos a superfície. Enquanto para manejos adequados em áreas degradadas, com espécies forrageiras, demonstram um bom potencial de recuperação, o que infere importantes efeitos das raízes na formação e na estabilidade dos agregados (BRONICK; LAL, 2005; DE MARIA; CASTRO; SOUZA DIAS, 1999; MULLER et al., 2001).

### **3.5. O conceito de degradação ambiental para Solo e Pastagens**

#### **3.5.1. Degradação do solo**

Definir degradação do solo é um tanto quanto subjetivo, visto que para diferentes fins, este estágio pode ser alterado. Assim, Lisbôa et al. (2016) relacionam indicadores de qualidade do solo a níveis de degradação, estabelecendo níveis de baixo a muito alto. Para tal, os autores supracitados afirmam que, apesar de uma análise visual, onde a presença de solo exposto é a variável mais assertiva para caracterizar a degradação do solo, o uso de indicadores de qualidade garantem uma melhor a confiabilidade a descrição.

Indicadores de qualidade são um composto de parâmetros diferenciados na literatura como indicadores físicos, químicos e microbiológicos, que ajudam a estabelecer métricas indispensáveis na manutenção da sustentabilidade dos solos. Os indicadores físicos e químicos são, comumente, mais utilizados. Segundo Gomes e Filizola (2006) indicadores físicos estão mais correlacionados a processos hidrológicos, como: infiltração, escoamento, drenagem e erosão do solo; e indicadores químicos estão

agrupados em quatro classes: processos do solo ( ex: Material orgânico), capacidade de troca de cátions (ex: tipos de argila), necessidades nutricionais das plantas (ex: micronutrientes e, por fim, aquelas que indicam contaminação (ex: metais pesados).

O uso de indicadores microbiológicos são comumente menos utilizados, no entanto não podem ser desconsiderados. A eles estão relacionados processos de ciclagem de matéria orgânica e a consequente disponibilização de nutrientes para as plantas. Em solos ácidos, a matéria orgânica é um dos principais controladores da fertilidade do solo, com grande relevância nas características químicas e consequentes físicas do solo (SELLE, 2007). Além disso, são mais sensíveis que os outros indicadores e podem detectar com antecedência alterações no solo, em detrimento a diferentes manejos (STÖCKER et al, 2017).

Portanto, a degradação do solo pode ser entendida como qualquer alteração (física, química ou biológica) que diminua a sua qualidade natural. Dessa forma, a degradação do solo, normalmente, é oriunda de processos insustentáveis de urbanização, industrialização, agricultura e pecuária. Esses processos atuam de forma conjunta, modificando a estrutura do solo e ocasionando sua compactação, aumento de densidade, diminuição dos poros, com consequente impedimento da infiltração da água (TORMENA et al., 2002).

### **3.5.2. Degradação de pastagens**

Análogo à literatura, como visto anteriormente, Dias Filho (2017) relacionou degradação do solo com pastagens e a subdividiu em níveis de degradação. Dada a subjetividade do contexto de degradação, definiram-se dois cenários de degradação de pastagens: degradação agrícola e a degradação biológica. A primeira consiste na competição do capim e leguminosas forrageiras com plantas daninhas, que reduz a capacidade produtiva do pasto temporariamente. Já na segunda, a deterioração do solo está relacionada à queda de produtividade, visto que estes casos, normalmente, vem acompanhados no aumento de solo descoberto, tornando as áreas de pastagens propícias para a erosão, perda de matéria orgânica e nutrientes do solo (DIAS FILHO, 2017).

Conforme a Figura 3, quatro níveis de degradação são utilizados, sendo eles: leve, moderado, forte e muito forte. Estes níveis estão fundamentados nos conceitos de degradação agrícola e biológica, previamente discutidos e identificados por indicadores de queda da capacidade de suporte da pastagem. Dias Filho (2017), subdivide os níveis

em dois grupos: de 1 a 2, denominado pastagens em degradação, e 3 a 4, pastagens degradadas propriamente ditas.



Figura 3- Níveis de degradação em pastagens e sua classificação

Fonte: Adaptado de Dias Filho (2017)

As causas e consequências para este processo de degradação são diversas, mas a identificação destas são fundamentais para a recuperação e/ou manutenção da produtividade de pastagens. Destacam-se na degradação: práticas inadequadas de pastejo, com taxas de lotação superior ao ritmo de crescimento do pasto; manejo inadequado da pastagem, a partir da não reposição da fertilidade do solo, bem como o uso excessivo de fogo; o uso de sementes de baixo valor cultural ou semeaduras fora de época; também fatores bióticos, como ataque de pragas; e fatores abióticos, como excesso ou falta de chuva (DIAS-FILHO, 2011).

Assim, a modificação de uma paisagem natural para uma paisagem antrópica implica em um manejo adequado, caso não, dá-se início a um processo de degradação. Vale ressaltar que, a partir deste início de degradação, os custos com a recuperação se tornam bem maiores do que apenas a manutenção. Dias Filho (2017) lista

que, de acordo com o nível e tipo de degradação de pastagem, maior é a necessidade de investimento e qualificação técnica do pecuarista. Portanto, o mesmo sugere que o manejo preventivo é a forma mais eficaz de se evitar a degradação. Como estimativa, desde que haja o controle rotineiro das áreas, onde o cenário de pastagem produtiva passa a ser dominante, o retorno financeiro pode ser quase quatro vezes maior do que em um manejo convencional, além de praticamente eliminar a necessidade de recuperação da pastagem.

### **3.6. Serviços ecossistêmicos, a influência da natureza e suas consequências à qualidade do solo**

Compreender o significado do que é um ecossistema é entender a relação entre fatores bióticos e abióticos, e sua capacidade de suporte a vida. Para Andrade e Romeiro (2009b), ecossistemas são estruturas complexas, dotadas de resiliência, que têm a capacidade de gerar benefícios ao meio, por meio de seus “serviços ecossistêmicos”. Tais serviços, que podem ser diretos ou indiretos, partem de uma complexa rede de funções ecológicas, que podem partir desde a regulação climática, como a formação de solos, mitigação de danos naturais, e inúmeros outros processos que visem a conservação da vida no planeta.

No entanto, os serviços ecossistêmicos têm sido desconhecidos ou desprezados, no que se diz respeito aos interesses da sociedade, levando a um caminho ecologicamente insustentável. A degradação ambiental altera os fluxos prestados pela natureza e, a partir da deterioração destes, desastres ecológicos são esperados. Isto ocorre, quando se extrapola os limites biofísicos e ecológicos, muito em função da homogeneização de paisagens naturais, causando perdas irreversíveis ao meio ambiente. Assim, ressalta a premissa de que não se deve restringir o uso do meio, mas deve-se compreendê-lo e usá-lo da maneira mais eficiente e sustentável possível, a fim de valorizar este “capital natural”, que gera serviços que contribuem para o bem-estar da vida (ANDRADE; ROMEIRO, 2009b).

Portanto, este bem-estar deve estar alinhado a um progresso sustentável, onde as atividades humanas levem em consideração a importâncias dos ecossistemas terrestres, cujos serviços são vitais a todas as economias. Em especial, países menos desenvolvidos, onde a agricultura destaca-se em suas balanças comerciais, valorizar o capital natural é essencial. A base para uma sociedade produtiva e saudável deve ser composta pelo

equilíbrio de quatro tipos de capital: 1º Capital de Manufatura (construções e fábricas); 2º Capital Social (instituições e relacionamentos); 3º Capital Humano (conhecimento e habilidades); e, por fim, 4º Capital Natural (fatores bióticos e abióticos) (ASSESSMENT, 2005).

No Brasil, como já discutido, a agricultura é um dos principais responsáveis pelo PIB do país, no entanto pouco conhecimento se tem na avaliação de serviços ecossistêmicos em sistemas agrícolas e florestais. Com a redução de capital natural no país, ao longo dos anos, aumentou-se o interesse da sociedade em induzir uma abordagem que vise um melhor manejo dos recursos naturais e de políticas para o seu bem-estar (PARRON; GARCIA, 2015).

Desta forma, em decorrência da redução deste capital, a demanda por serviços ecossistêmicos tende a crescer. Estimam-se 3 bilhões de pessoas a mais, no mundo, até 2050, com a probabilidade de quadruplicar a economia global e, com isso, aumentar consideravelmente a demanda por recursos. Tal situação poderia elevar o risco de degradação, afetando a capacidade de entrega de serviços pelo ambiente (ASSESSMENT, 2005).

Mas quais são esses benefícios obtidos pelos serviços ecossistêmicos, e qual a necessidade de conservá-los? A Avaliação Ecológica do Milênio (2005) classificou, conforme Figura 4, os serviços ambientais em quatro categorias fundamentais: provisão, regulação, cultural e de suporte; e os correlacionou com o bem-estar humano, que nada mais é que as condições básicas de suporte à vida humana.

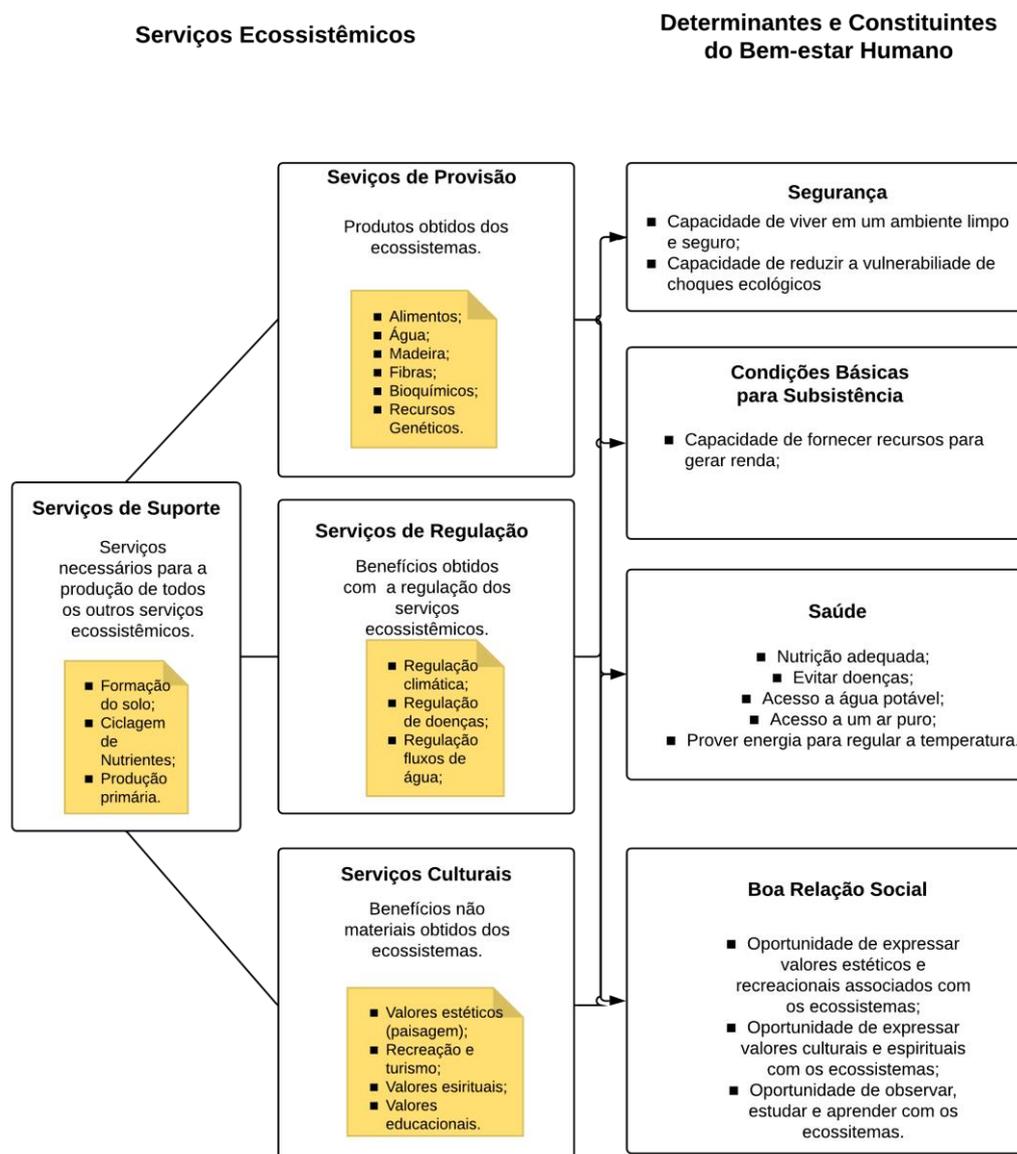


Figura 4 - Serviços ecossistêmicos e suas relações com o bem-estar humano

Fonte: Adaptado da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005)

Visto isto, compreender os serviços ecossistêmicos é de extrema importância para a tomada de decisões, e definir conceitos e indicadores destes serviços se faz necessário, já que permitem avaliar a capacidade que o ecossistema tem de fornecer serviços. Para isto, a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005) estabeleceu seis serviços mais relevantes para o bem estar humano: Sequestro de carbono; Ciclagem de nutrientes; Conservação da água; solo; e da Biodiversidade; Produção de alimentos e madeira.

O projeto de pesquisa ServiAmbi – Avaliação de indicadores e valoração de serviços ambientais em diferentes sistemas de manejo, coordenado pela Embrapa

Florestas tem por objetivo avaliar o estado e as tendências dos serviços ambientais em sistemas agroflorestais. E, tendo como base na literatura, os pesquisadores do projeto correlacionaram cada serviço ambiental com sua função ecossistêmica e métodos de valoração, e criaram indicadores quantificáveis, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Serviços ecossistêmicos e métodos de valoração

<b>Serviço Ecossistêmico</b>	<b>Função Ecossistêmica</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de Valoração</b>
<b>Sequestro de Carbono</b>	Qualidade e fertilidade do solo	Qualidade da matéria orgânica do solo	Mg L	Custos evitados, custos de reposição
		Estoques de carbono no solo	kg ha	
		Emissão de gases de efeitos estufa do solo	kg ha	
	Produtividade Vegetal	Estoques de carbono na biomassa vegetal aérea	kg ha	
		Estoques de carbono na serapilheira	kg ha	
<b>Ciclagem de Nutrientes</b>	Decomposição	Abundância e diversidade de artrópodes saprófitas no solo e na serapilheira	n° ind.biom(g) m e n° grupos m	Custos evitados
		Abundância e diversidade de engenheiros edáficos	n° ind.biom(g) m e n° grupos m	
<b>Conservação da água e solo</b>	Qualidade de água	Largura de floresta ripária, sólidos suspensos, assoreamento dos cursos de água	kg ha	Custos evitados, custos de reposição, produção sacrificada
		Pesticidas em água superficial e no lençol freático	kg ha	
	Disponibilidade hídrica	altura do lençol freático	metros	Custos evitados
	Qualidade e fertilidade do solo	Nutrientes no solo	kg ha	Custos de reposição, custos evitados
		Nutrientes e matéria orgânica na água superficial e no lençol freático, na água de escoamento superficial e subsuperficial	kg ha	

Tabela 3 - Serviços ecossistêmicos métodos de valoração

<b>Serviço Ecossistêmico</b>	<b>Função Ecossistêmica</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método de Valoração</b>
		Abundância e diversidade de artrópodes no solo e serapilheira	n° ind.biom(g)m e n° grupos m	
		Abundância e diversidade de engenheiros edáficos	n° ind.biom(g)m e n° grupos.m	
		Agregados no solo	Proporção agregados de diferentes origens	
	Retenção hídrica, regulação da erosão	Atributos físicos do solo ( porosidade e densidade do solo, condutividade hidráulica, curva de retenção de água no solo, intervalo hídrico ótimo, estabilidade de agregados	Kg ha	Custos de reposição
<b>Conservação da biodiversidade</b>	Conservação da biodiversidade	Diversidade florística de espécies lenhosas e herbáceas	n° ind ha	Custo de oportunidade
		Largura de floresta ripária	metros	Custos evitados, custos de reposição, produção sacrificada
		Pesticidas em água superficial e no lençol freático	Kg ha	Custos evitados
		Diversidade de artrópodes do solo e serapilheira (formigas, oligoquetas e besouros)	n° espécies	Custos de reposição
<b>Produção de alimentos e madeira</b>	Produtividade	Produção agrícola, da madeira e do rebanho	Kg ha	Preços de mercado, custos evitados
		Conforto térmico animal	-	
		Controle de pragas (abundância e diversidade de organismos fitófagos)	n° ind m ou n° ind ha	

Fonte: Adaptado de Parron et al. (2015)

Segundo Parron et al. (2015), o avanço em novas metodologias de valoração de serviços ambientais contribuem para a melhor compreensão do funcionamento dos ecossistemas. Assim, sob o aspecto econômico, estabelecer indicadores que permitam atribuir valores econômicos aos recursos ambientais, pode se tornar uma forma de promover a conservação ambiental. Isto ocorre, pois tais metodologias servem como fundamentação de estratégias para diferentes usos da terra e para a elaboração de políticas públicas voltadas ao capital natural. Sendo assim, os autores supracitados concluem que ao atribuir valor monetário aos serviços da natureza, é possível estimular a preservação dos ambientes naturais e a restauração de ecossistemas degradados, principalmente aqueles ligados ao meio rural, já que podem gerar aumento de renda aos proprietários rurais.

O uso de práticas mais conservacionistas, como cultivo mínimo, rotação de culturas, adubação verde e de cobertura, monitorador por indicadores de qualidade podem potencializar os serviços ambientais e fornecer um aumento da ciclagem de nutrientes, melhoria na infiltração de água no solo, bem como no controle da erosão (RACHWAL et al., 2015) .

### **3.6.1. Serviços Ambientais em Pastagens: sucessão natural**

A busca pela sustentabilidade em pastagens leva à necessidade de conciliar os interesses dos animais com as necessidades do meio, que são, normalmente, conflitantes. Diante disto, surgem contextos, como a Pastagem Ecológica, que oferecem melhoria nos resultados pecuários tradicionais, utilizando-se de diversos serviços ambientais, que permitem uma pecuária produtiva, sustentável e em equilíbrio com a natureza (MELADO, 2007).

Dentro deste pensamento, a recuperação natural de pastagens é algo possível, onde um manejo com repousos, diversificação de espécies forrageiras e arborização em nível adequado podem melhorar a qualidade do solo. Como resultado, têm-se um solo com uma maior serapilheira e malha de raízes, que aumenta, gradativamente, a capacidade de reter e absorver água da chuva, e por sí, eleva também os teores de matéria orgânica. Além disso, propicia o desenvolvimento de meso organismos, como minhocas, que contribuem na estruturação do solo, que somados aos outros fatores, auxilia na disponibilização de nutrientes antes indisponíveis, o que leva a um solo mais fértil, com pastagens mais vigorosas e animais nutridos e sadios (MELADO, 2007).

O contexto acima define um tipo de manejo que aproveita dos serviços ambientais mas, e no caso de uma sucessão natural? O conceito de degradação de pastagens, como visto anteriormente por Dias Filho (2010), por vezes pode esbarrar nos princípios de competição, que de acordo com o estágio de sucessão vegetal pode afetar a produtividade da pastagem, mesmo sem diminuir a qualidade do solo.

A sucessão, por definição, consiste na alteração progressiva da vegetação e espécies dominantes, podendo ser primária ou secundária. Na sucessão primária, um novo habitat é colonizado em um ambiente carente por solo e vegetação (ex: áreas de desmatamento, mineração, etc.), e já na secundária, existe uma recolonização de um habitat perturbado (ex: pastagens cultivadas). E, a intensidade em que a sucessão natural age pode estar ligada a diversos fatores, em pastagens, geralmente, são afetados pelo pastejo, pisoteio e deposição de fezes e urina dos animais (DIAS-FILHO, 2006).

Além disso, a sucessão natural em pastagens, até uma restauração florestal pode estar limitada a outros fatores, como corredores ecológicos (*safe sites*) com seus bancos de sementes. Na literatura, vários trabalhos tratam áreas de pastagem como áreas de barreiras ao estabelecimento de espécies nativas, vistos que alguns tipos de gramínea podem se tornar inibidores de outras espécies. Assim, a sucessão natural se torna dependente de uma matriz florestal, para um ambiente com maior diversidade espécies, e caso não, a utilização da regeneração natural, como método exclusivo, não deveria ser adotada. (FRAGOSO et al., 2017; SOUZA et al., 2012; KUNZ; MARTINS, 2013).

No entanto, utilizar da recuperação natural de áreas que não deviam ser desmatadas, por meio da sucessão secundária, pode ser uma alternativa. Visto que, para Dias Filho (2006), o processo de abandono de uma pastagens para um fim florestal, pode levar a formação de uma vegetação característica de florestas secundárias, com funções ambientais parcialmente restabelecidas. Onde, mesmo com limitações, esta vegetação secundária pode auxiliar na intensificação do ciclo hidrológico, no sumidouro de carbono atmosférico, conservação dos nutrientes pelo acúmulo de biomassa e atrair animais dispersores de sementes, que em um futuro podem ajudar a reestabelecer, por completo, as funções ambientais.

Porém, segundo Honda e Durigan (2017) deve-se levar em consideração que cobertura vegetal e a produção de água podem não estar diretamente ligados. Assim, ao promover a restauração da cobertura vegetal é necessário ficar atento a uma mudança

estrutural da vegetação local, já que à medida que espécies exóticas entram no ecossistema pode ocorrer um possível aumento de biomassa, que se configuraria como uma ameaça a produção hídrica. Assim, para os autores supracitados é de extrema importância o planejamento de uma restauração ambiental, onde o objetivo é conservação dos recursos hídricos. A restauração nunca deve resultar em vegetação com biomassa diferente do ecossistema natural que foi degradado, caso contrário menos água estará disponível para proporcionar os serviços ecossistêmicos esperados da recuperação da cobertura vegetal.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Etapas de pesquisa

Foram estabelecidas 4 fases para o desenvolvimento do trabalho: 1ª Seleção de áreas para a pesquisa, 2ª Caracterização das áreas, 3ª Análise e síntese, e por fim, a 4ª Apresentação dos resultados, conforme a Figura 5.

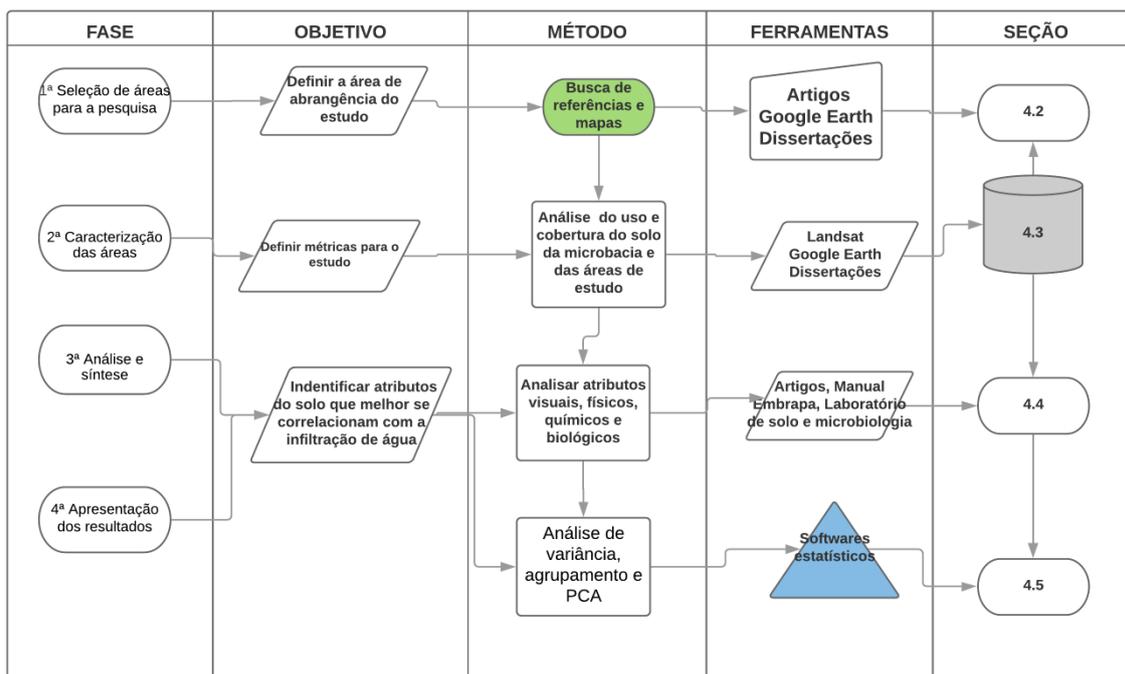


Figura 5 - Metodologia de pesquisa com suas respectivas fases, objetivos, métodos e ferramentas

### 4.2. FASE 1 - Seleção de áreas para a pesquisa

Dentro do contexto proposto e percorrido no referencial teórico, as áreas de estudo selecionadas apresentam similaridades pedológicas (material de origem e relevo), porém com cobertura vegetal distintas entre si, em função de processos sucessionais, sendo elas: a) subárea de pastagem considerada boa, b) subárea de pastagem degradada, c) subárea de pastagem em sucessão (capoeira) e d) subárea com fragmento de mata. Cada subárea foi subdividida em três parcelas de amostragem, e submetidas à caracterização de atributos de natureza física, química, e visual. Para isto, em cada subárea foram coletadas amostras de solo deformadas, com auxílio de um trado holandês, e indeformadas, com um amostrador de Uhland, em três diferentes pontos, em profundidade de 0-20 cm.

### 4.3. FASE 2 - Caracterização das áreas

O projeto foi desenvolvido na microbacia do Ribeirão José Pereira, sul de Minas Gerais. Essa microbacia está situada entre as coordenadas planas 7524 km, 7516 km N e 452 km, 464 km E, inserida integralmente no município de Itajubá, região sul do Estado de Minas Gerais (Figura 6). Com aproximadamente 40 km<sup>2</sup>, é delimitada ao sul, pela Serra da Pedra Amarela, a leste, pela Serra da Água Limpa, a norte, pelas serras do Juru e dos Toledos, e a oeste por pequenos divisores que a separam da bacia do rio Sapucaí.

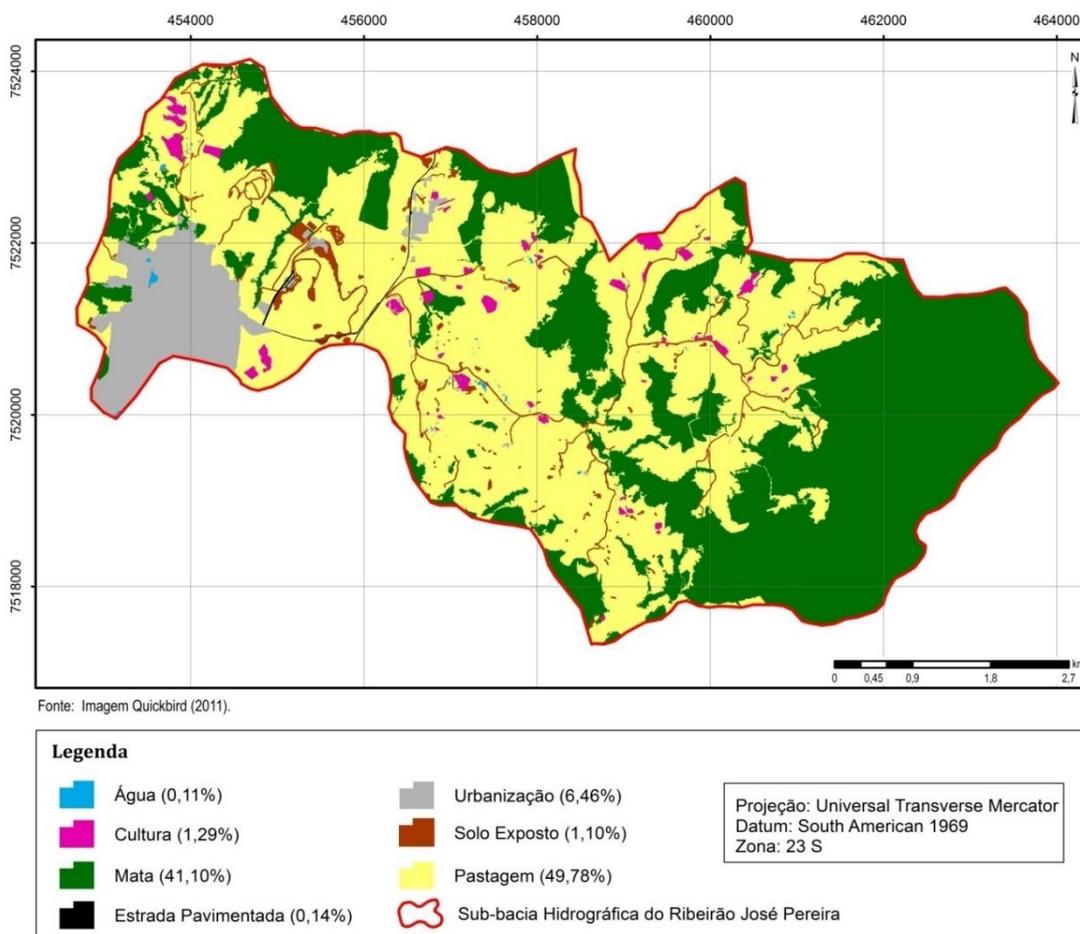


Figura 6 - Distribuição das formas de uso e ocupação do solo na sub-bacia do ribeirão José Pereira.

Fonte: Flauzino (2012)

O ribeirão José Pereira nasce na Reserva Biológica (REBIO) Serra dos Toledos, cruza os bairros urbanos Cruzeiro, Pinheirinho, BPS e Centro, e deságua no rio Sapucaí na área comercial do município. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, a microbacia apresenta as duas variações do Clima Tropical de Altitude (CW), o tipo Cwa, predominante em grande parte da área, e Cwb, restrito a uma pequena porção

noroeste da microbacia. O clima pode ser descrito como mesotérmico (C), na qual a temperatura média do mês mais frio está entre  $-3^{\circ}\text{C}$  e  $18^{\circ}\text{C}$ , com chuvas de verão (w) e verões quentes no tipo *Cwa* (mês mais quente com média igual ou superior a  $22^{\circ}\text{C}$ ), e brandos no tipo *Cwb* (média do mês mais quente inferior a  $22^{\circ}\text{C}$ ).

As encostas apresentam declividades entre 15 e 45%, que caracterizam relevo Forte Ondulado, predominante na microbacia. As encostas com declividades superiores a 70%, relevo escarpado, ocorrem, em geral, na porção sudoeste da microbacia.

A área de estudo está inserida no bioma Mata Atlântica, com vegetação primária, como Floresta Estacional Semidecidual. A REBIO Serra dos Toledos, maior remanescente de Mata Atlântica na microbacia, possui a cobertura vegetal original de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista, porém, na atualidade a maior parte da reserva é formada por vegetação secundária. De acordo com o mapeamento de uso e ocupação do solo feito por Flauzino (2012), as pastagens representam a forma de uso predominante na área de estudo, responsáveis por, aproximadamente, 50% da cobertura do solo (Figura 6). A pecuária leiteira, praticada de maneira extensiva, é a principal atividade econômica na área rural, abrangida pelas porções alta e média da microbacia.

De acordo com Lima (2012), os Argissolos constituíram a classe de solo dominante na microbacia, representando 56% da área, ocupando o relevo ondulado e forte ondulado. A autora destaca que para relevos forte ondulados, argissolos vermelhos são comumente encontrados na região de estudo. Para tanto, um perfil de argissolo foi adotado como referência, com base no estudo de mapeamento pedológico da microbacia do ribeirão José Pereira (Figura 7).

Em todas as áreas de estudo, o tipo de solo foi o Argissolo vermelho distrófico latossólico de textura argilosa e média (Figura 8), com A moderado, de coloração úmida bruno-avermelhado-escura em todo o perfil e profundidade maior que 200 cm. O horizonte A apresenta textura média, estrutura forte granular de tamanho pequeno, com transição gradual e plana para o horizonte B. Para este segundo horizonte, possui relação silte/argila menor que 0,6 e pouca diferenciação visual pode ser observada, em virtude de uma transição difusa e plana. Os horizontes Bt possuem cerosidade moderada e comum, estrutura moderada em blocos subangulares, de tamanho pequeno a médio, textura argilosa, e consistência, quando seco, dura, quando úmido, firme, e quando molhado,

ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. O horizonte Bw não possui cerosidade, sua estrutura é granular, de tamanho muito pequeno, e textura média (LIMA, 2012).

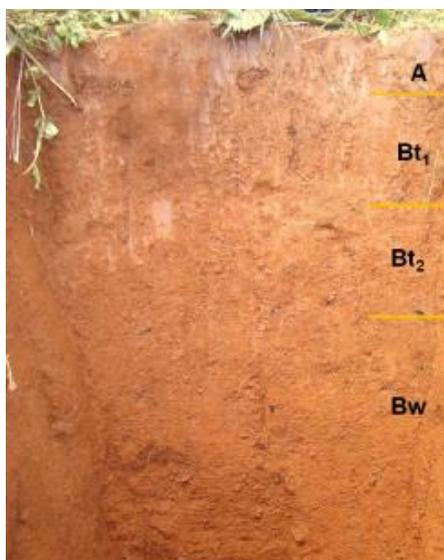


Figura 7- Perfil de Argissolo Vermelho distrófico latossólico de textura argilosa e média.

Fonte: Lima (2012)

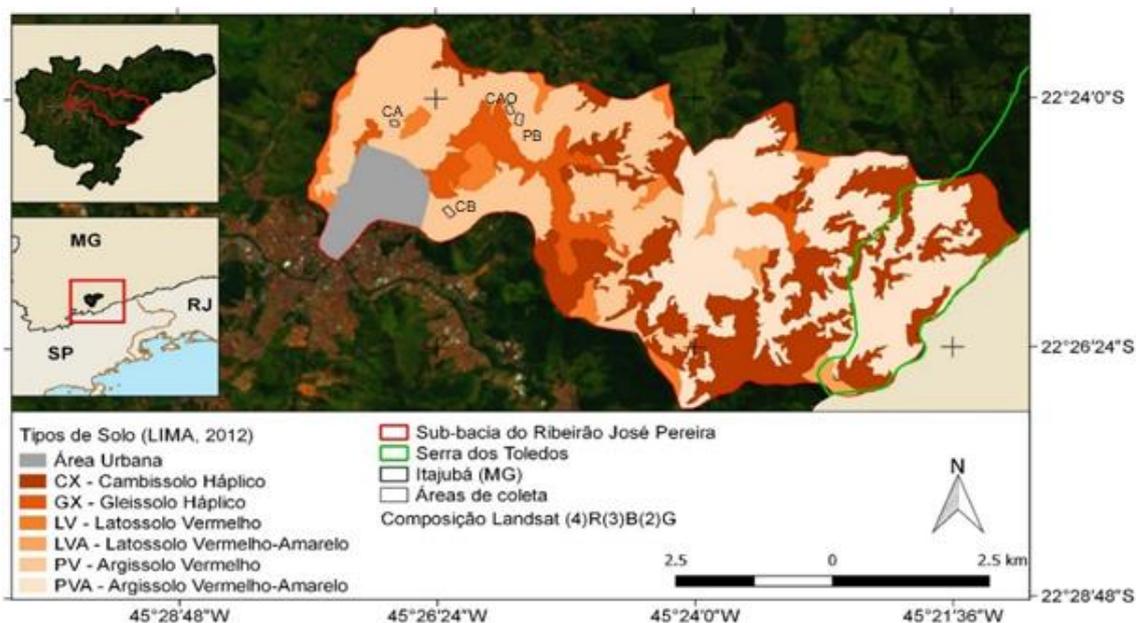


Figura 8 - Localização da área de estudo, com ênfase às quatro áreas de estudo.

Adaptado: Lima (2012)

Foram determinados os níveis de: a) pastagem (PB), área atualmente utilizada para pasto, 100 % coberta e visualmente não degradada; b) capoeira baixa (CB), definida

como pastagem, com estágio inicial de sucessão; c) capoeira alta (CA), definida como uma pastagem em estágio mais avançado de sucessão que CB; d) capoeirão (CAO), definida como uma pastagem que, atualmente, apresenta em estágio bem avançado de sucessão, com forte presença de espécies arbóreas e extratos arbustivos (Figura 9).



Figura 9 - Áreas de Estudo a) PB- pastagem em boas condições b) CB - capoeira baixa c) CA - capoeira alta d) CAO - capoeirão

As características inerentes à cada subárea de estudo estão apresentadas abaixo:

- Área 1 (PB) – Pastagem em boas condições visuais

Com área aproximada de 7500 m<sup>2</sup>, destina-se seu uso, principalmente, à pecuária de corte, mas também se divide com a produção de leite e de equinos. Com altitude máxima de 924 e mínima de 889 metros, classifica-se como uma área de relevo forte ondulado, com 38% de declividade média. Na Figura 10, encontra-se a delimitação da área, juntamente com os pontos de coleta, cuja coordenadas podem ser observadas no Apêndice A.

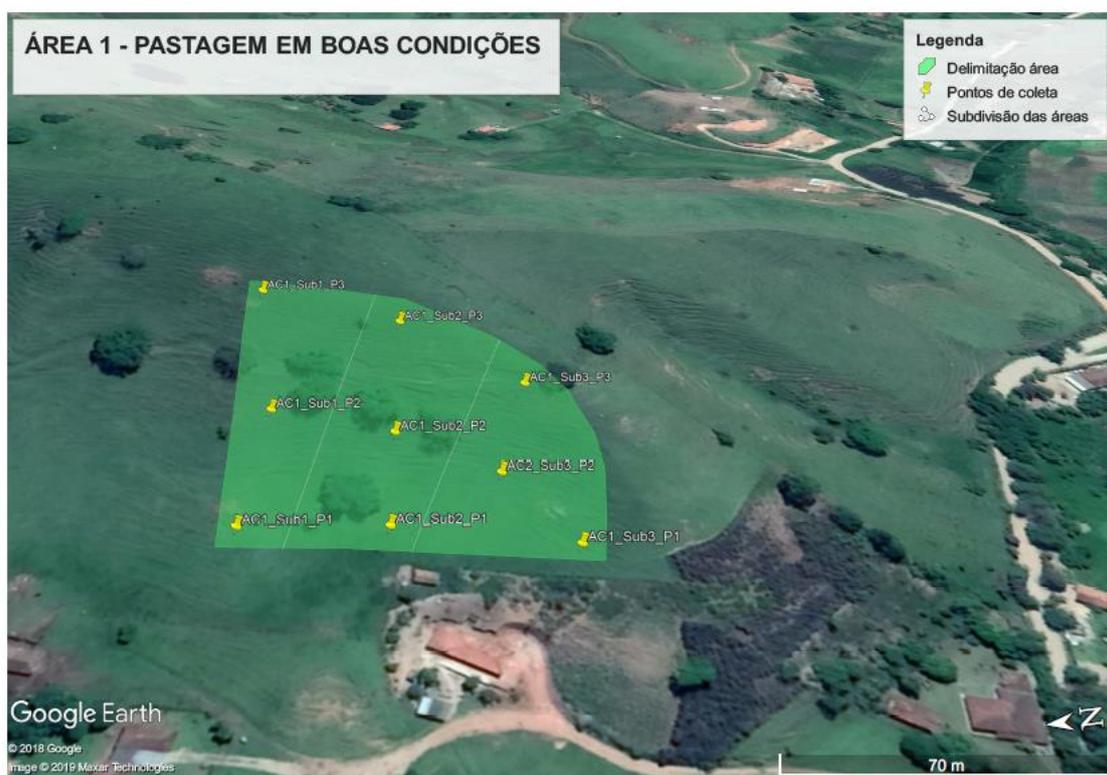


Figura 10 - Área 1 (PB): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta

- Área 2 (CB) – Capoeira baixa

Com área aproximada de 4000 m<sup>2</sup>, que a exemplo de PB, destina-se à pecuária de corte, produção de leite e de equinos. Com altitude máxima de 886 e mínima de 871 metros, com 26% de declividade média classifica-se como uma área de relevo forte ondulado, com o esperado em áreas de argissolo dentro da microbacia. Na Figura 11, encontra-se a delimitação da área, juntamente com os pontos de coleta, cuja coordenadas podem ser observadas no Apêndice A.



Figura 11 - Área 2 (CB): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta

- Área 3 (CA) – Capoeira Alta

Com área aproximada de 4100 m<sup>2</sup>, destina-se seu uso misto à pecuária de corte e a equinocultura. Com altitude máxima de 889 e mínima de 871 metros, enquadra-se na classe de relevo forte ondulado da região, com declividade média de 22%. Na Figura 12, encontra-se a delimitação da área, juntamente com os pontos de coleta, cuja coordenadas podem ser observadas no Apêndice A.

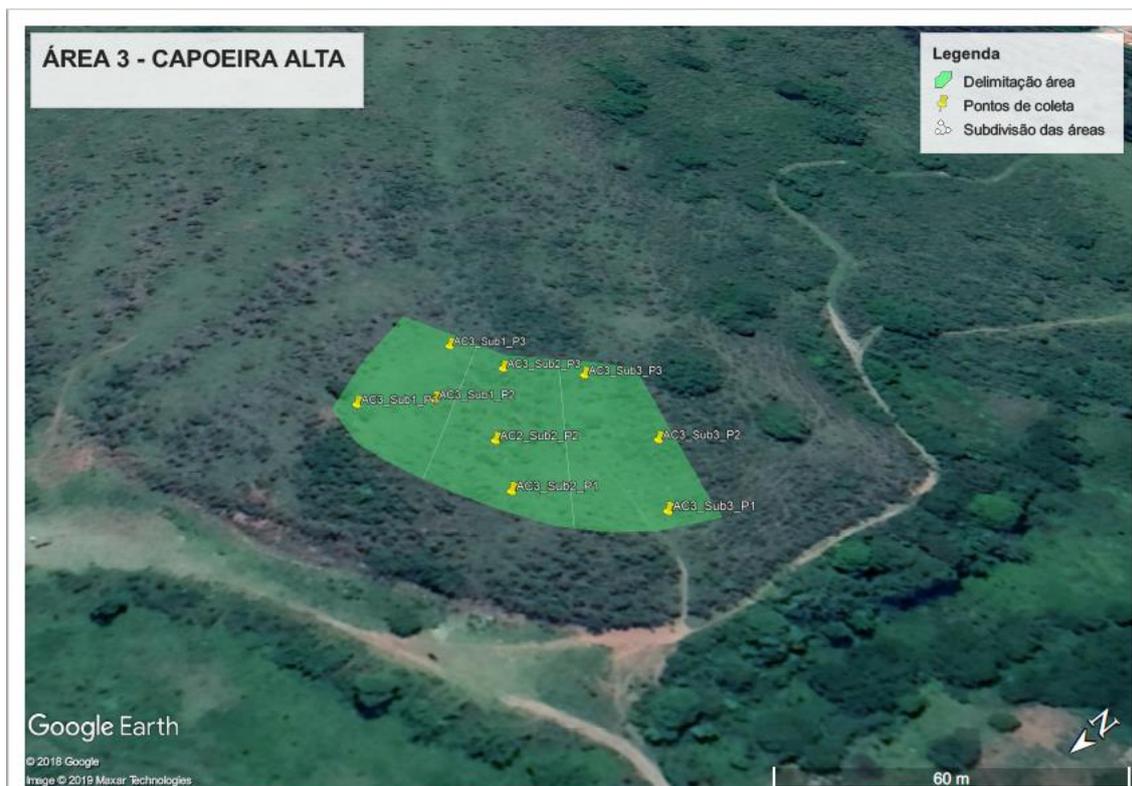


Figura 12 Área 3 (CA): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta

- Área 4 (CAO) – Capoeirão

Com área aproximada de 4200 m<sup>2</sup>, que apesar de estar em um elevado estágio de sucessão natural, destina-se seu uso misto à pecuária de corte e à equinocultura. Com altitude máxima de 889 e mínima de 873 metros, e apresenta declividade média de 18%, sendo a área de menor declividade, mas, ainda sim, com relevo classificado como forte ondulado. Na Figura 13, encontra-se a delimitação da área, juntamente com os pontos de coleta, cuja coordenadas podem ser observadas no Apêndice A.



Figura 13 Área 4 (CAO): Delimitação da área, subdivisão das áreas e pontos de coleta

#### 4.4. FASE 3 - Análise e síntese

As áreas selecionadas foram analisadas de acordo com os seguintes critérios:

##### 4.4.1. Classificação Visual

A análise visual dos sistemas foi feita utilizando a recomendação proposta por Souza et al. (2016), abrangendo aspectos de solo, plantas e animais, denominada RAQS: Referência para Avaliação da Qualidade do Solo. Rápida, sem custos e facilmente replicável, tal metodologia apresenta grande sensibilidade na avaliação de diferentes áreas de estudos. Os indicadores permitem que o pesquisador compare, com o auxílio de gráficos, a qualidade do solo no tempo e em diferentes ambientes, auxiliando-o a definir o manejo a ser adotado. Para isto, uma planilha com todos os indicadores (Anexo B) foi distribuída para quatro pessoas, que avaliaram cada indicador como: pobre (0), moderado (1), bom (2) e ótimo (3).

#### **4.4.2. Atributos Físicos**

Foram coletadas três amostras por subárea e delas foi feita uma amostra composta, resultando em três amostras compostas por área. As amostras de solo coletadas, antes de serem utilizadas para determinação das análises físicas, foram submetidas, respectivamente, aos seguintes processos: verificação de umidade atual, conforme Teixeira et al.(2017), e secagem ao ar, por um período de 48 horas, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Na avaliação de atributos físicos, as amostras foram submetidas às análises de: densidade do solo; porosidade total; diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP), ambos por via úmida e seca e índice de estabilidade dos agregados (IEA). Toda metodologia para determinação dos atributos citados encontra-se descrita em Teixeira et al. (2017).

Durante a coleta, seis amostras de 100 gramas de solo foram submetidas a peneiramento, em um conjunto de peneiras de 9,7 e 8 mm, onde os agregados retidos foram classificados em padrões morfológicos, segundo Bullock et al. (1985). Segundo os supracitados, classificam-se em três tipos os padrões morfológicos de agregados: fisiogênicos, biogênicos e intermediários.

Os três tipos de agregados: (a) Agregados fisiogênicos - são aqueles definidos por apresentarem formas angulares; (b) Agregados intermediários - possuem forma indefinida, podendo ser agregados biogênicos que perderam a forma arredondada devido ao envelhecimento ou fisiogênicos que possuíam uma solda com um pequeno coprólito; (c) Agregados biogênicos - caracterizados por formas arredondadas são encontradas, em decorrência do trato intestinal da macrofauna do solo, e/ou aqueles em que era possível visualizar a atividade de raízes (BATISTA et al., 2013)

#### **4.4.3. Atributos Químicos**

Para caracterização química, foram analisadas três amostras de solo por subárea, totalizando nove de cada área, as quais foram secas e peneiradas em malha de 2 mm, sendo, então, enviadas e analisadas pelo Laboratório de Fertilidade de solo, da Universidade Federal de Lavras, para a determinação de: cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), fósforo (P) e P remanescente, alumínio (Al), potássio (K), matéria orgânica

(MO), pH, índice de saturação de bases(V), índice de saturação de alumínio (m), soma de bases (SB), CTC total e efetiva. Toda metodologia da análise química encontra-se descrita em Teixeira et al. (2017).

#### 4.4.4. Densidade de raízes

Para as análises de densidade de raízes (MARIA; CASTRO; DIAS, 1999), utilizou-se uma amostra composta por subárea, a exemplo das análises físicas. A separação das raízes foi feita por dissolução e fracionamento de um volume conhecido de solo em água abundante, utilizando-se peneira com abertura de 0,5 mm (Figura 14). As raízes retidas na peneira foram lavadas e, posteriormente, secas em estufa a 60°C, por 24 h. Em seguida, pesadas e os resultados expressos em matéria seca de raízes (mg) por volume de solo (cm<sup>3</sup>).



Figura 14 - Ensaio de densidade de raízes

#### 4.4.5. Análise de Infiltração e Resistência à Penetração

A capacidade de infiltração do solo em campo foi calculada utilizando-se o permeâmetro de Guelph (Figura 15) que, de acordo com Ribeiro (2010), é um permeâmetro de furo e de carga hidráulica constante, que mede a condutividade hidráulica saturada de campo acima do lençol freático. Para este ensaio o permeametro de Guelph foi instalado a uma profundidade de 20 cm, assim a zona de saturação do solo inicia-se a partir de sua base, formando o que se conhece por bulbo de saturação. As características e dimensões deste "bulbo" de saturação d'água, uma vez atingida a condição de estabilidade, variam com as características do solo ensaiado (SANTOS, 2005).

O ensaio é iniciado com a abertura do furo de 20 cm, profundidade desejada, com auxílio do trado que acompanha o equipamento. Em seguida, o permêmetro é montado e abastecido de água. Posteriormente, é estabelecida uma carga constante de 5 cm (recomendada no manual), e quando o nível de água se estabilizar, iniciam-se as leituras em intervalos de 2 minutos, até atingir, no mínimo, 3 leituras constantes. Em seguida, o permeâmetro é, novamente, abastecido com água, porém antes de iniciar as leituras, uma carga de 10 cm é estabelecida. Os ensaios foram realizados nos mesmos pontos de coletas das amostras, indeformadas, e, portanto, 3 testes foram feitos por área, sendo 1 por subárea.

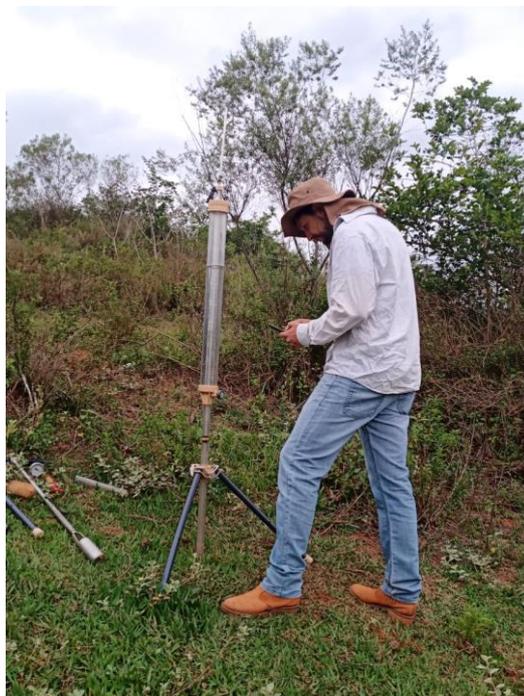


Figura 15– Ensaio de condutividade hidráulica do solo

A compactação do solo pode, também, ser avaliada por meio da resistência do solo à inserção de um penetrômetro (Figura 16). Análogo ao ensaio com o permeâmetro, os mesmos pontos foram avaliados, totalizando 9 testes por área. A profundidade máxima do ensaio é de 40 cm. O princípio de funcionamento do penetrômetro consiste no recebimento de um impacto de um bloco, com altura de lançamento conhecida (60 cm), no solo e correlacionar os impactos com a penetração correspondente, em intervalos de 10 cm. Dos dados obtidos, um gráfico é gerado, relacionando o número de impactos com a profundidade analisada, pelo método de Stolf (1991).



Figura 16 - Ensaio resistência a penetração do solo

## 4.5. FASE 4 – Apresentação dos Resultados

Nesta etapa, os resultados das análises foram agrupados em tópicos, conforme a fase 3 da metodologia, e complementados com estudos relacionados ao tema, pela literatura, no intuito de comparar e validar os resultados encontrados, apoiados a uma análise estatística.

### 4.5.1. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste de Tukey a 5 %, pelo programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). E também foram avaliados pela análise de componentes principais (PCA) e correlação de Pearson para determinação dos principais fatores/atributos que afetam a formação e estabilidade dos agregados, por meio do *software* Past (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001). Além disto, todas os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $\alpha=0,05$ ), onde para os dados com distribuição anormal, foi realizada transformação dos dados por raiz quadrada de  $y+1$ .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise visual

Pela metodologia RAQS (SOUZA et al., 2016), a qualidade do solo foi avaliada por meio de indicadores, gerando um índice de qualidade visual (IQV). Em números absolutos, o IQV se aproxima para as áreas de Pastagem e boas condições visuais, Capoeira baixo e Capoeira alta, em torno de 50%, e aumenta para a área de capoeirão, com 79,75% (Tabela 4). Ressalta-se que todas as áreas ainda estão em uso, diferindo-se apenas pelo tempo de sucessão natural.

Tabela 4 - Resultados de índice de qualidade visual (IQV), índice de qualidade visual relativa (IQV 100) e déficit de qualidade visual para as áreas de: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

Áreas	IQV	IQV 100	Déficit
		-----%-----	
PB	50,25	63	37
CB	49,75	62	38
CA	46	58	42
CAO	79,75	100	0

O IQV é calculado com base na observação visual das seguintes classes: fauna, vegetação e solo, onde cada atributo representativo destas foram ilustrados em verde, azul e vermelho, respectivamente, conforme a figura 17. No geral, para a área CAO todos os atributos analisados foram superiores em relação às outras áreas, sendo menor apenas a atividade de microrganismos.

Na Tabela 4, por meio do IQV 100, a CAO foi classificada como referência (100%) e as demais com valores relativos a esta. PB, CB e CA estão com um déficit em torno de 40% em relação à CAO. Conforme a figura 17, esse déficit é explicado, principalmente, pela diferença nos atributos de compactação, porosidade, cor/odor, estágio de sucessão, o que suporta a premissa de que a regeneração natural do meio ambiente pode melhorar a qualidade do mesmo. Segundo Brizzi, Souza e Costa (2017), áreas de pastagens, em virtude do pisoteio do gado, apresentam indicativos a alteração da qualidade do solo, principalmente na densidade e porosidade, e resultam em uma maior suscetibilidade à erosão. E Dias Filho (2006) explica que a sucessão natural, mesmo com limitações na vegetação secundária, pode influenciar positivamente nos contextos físicos,

químicos e biológicos do solo, e com isto ajudar a reestabelecer as funções ambientais do meio.

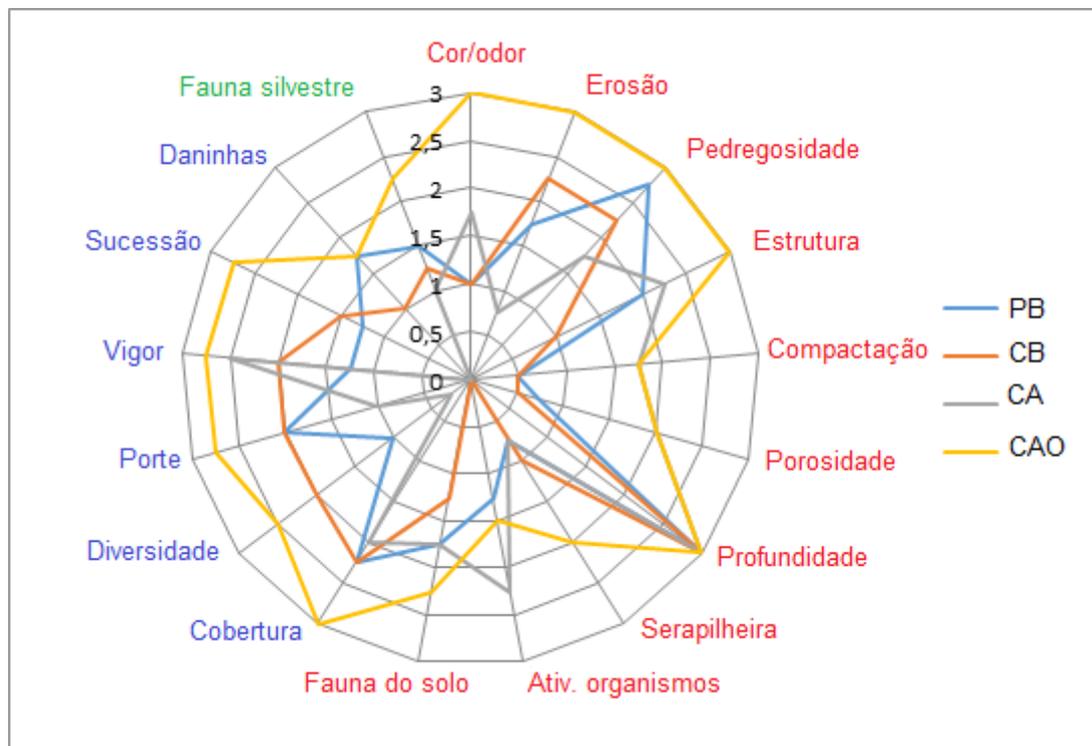


Figura 17- Gráfico de índice de qualidade visual (IQV) das áreas de: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

## 5.2. Análises Químicas

Os resultados expressos na tabela 5 referem-se às médias de cada atributo químico, relacionados às suas respectivas áreas, avaliados na profundidade de 0-20 cm.

Com base nos resultados descritos na Tabela 5, foi possível caracterizar as áreas de estudos quanto à qualidade química. O atributo pH varia de 4,6 a 5,7, sendo menor para a área de capoeirão (CAO) e maior para pastagem em boas condições visuais (PB). Segundo Costa et al. (2017), o pH ideal para as plantas deve apresentar-se em torno de 5,8 a 7,5.

Tabela 5- Resultados da Análise de macronutrientes, soma de bases (SB), acidez potencial (H+Al) e alumínio extraível (Al), de CTC (efetiva – t; total – T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P rem) e pH, em amostras de solo para as áreas de: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

Áreas	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T	V	m	MO	P rem
	-	---mg/dm <sup>3</sup> ---			-----cmolc/dm <sup>3</sup> -----					---%---		dag/kg	mg/L	
PB	5,7a	77,16a	1,12ba	2,49a	0,8a	0,17b	3,79b	3,49a	3,66a	7,29ab	48,17a	4,55b	2,3a	35,26a
CB	5,36ba	37,9a	0,74b	1,98a	0,45ba	0,37b	4,32b	2,54b	2,91b	6,86b	37,69a	13,01b	2a	30,13a
CA	4,9cb	32,73a	1,35a	0,66b	0,11b	1,05a	6,85a	0,85c	1,91c	7,7ab	11,22b	55,27a	2,38a	20,24b
CAO	4,76c	36,17a	1,61a	0,45b	0,22b	1,35a	8,55a	0,77c	2,13c	9,33a	8,45b	63,85a	2,3a	19,53b

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (Tukey a 5%). CV pH – 3,82%; CV K – 53,11%; CV P – 17,77%; CV Ca – 15,88%; CV Mg – 46,60%; CV Al – 17,02%; CV H + Al – 16,09%; CV SB – 12,87%; CV t – 8,18%; CV T – 10,83%; CV V – 20,72% CV m -16,20%; CV MO – 18,84%; CV Prem – 11,05%

Pela Tabela 5, a CTC efetiva (t) variou de 1,91 a 3,66 cmol/dm<sup>3</sup> e a CTC a pH 7,0 variou de 6,86 a 9,33 cmolc/dm<sup>3</sup>. A acidez potencial (H+Al) variou de 3,79 a 8,55 cmolc/dm<sup>3</sup>, o Ca variou de 0,45 a 2,49 cmolc/dm<sup>3</sup>, o Mg variou de 0,11 a 0,80 cmolc/dm<sup>3</sup>. O indicador SB variou 0,77 a 3,49 cmolc/dm<sup>3</sup> e V% variou de 8,45%, para a área de capoeirão (CAO), a 48,17%, para a área de pastagem (PB). Desta forma, observa-se que a fertilidade do solo em geral é melhor para as áreas em início de sucessão, onde por fatores como a correção do solo, através da calagem, pelos pecuaristas, podem propiciar uma melhora em tais parâmetros químicos.

Assim, corroborando a hipótese de correção dos solos, a m% variou de 4,55%, na PB, até 63,85% na CAO. Sabe-se que solos com m% maior que 50% são considerados solos álicos, e a quantidade ideal para as plantas, para não haver toxidez, não deve exceder 20%. Assim, em busca de uma maior produtividade para o rebanho a prática da calagem se torna válida e bastante aplicável para as pastagens. Além disto, utilizam-se de algumas espécies de gramíneas do gênero *Brachiaria*, agora reclassificado como *Urochloa*, que apresentam de moderada a elevada tolerância à acidez do solo (FRANCISCO; BONFIM-SILVA; TEIXEIRA, 2017).

Os valores de matéria orgânica (MO), pela Tabela 5, variaram de 2 a 2,38 dag/kg, para as áreas, no entanto não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Especificamente, a MO está correlacionada com estrutura do solo, sendo um importante agente na ligação das partículas minerais do solo, com grande influência nos micros e

macroagregados, que pode levar à melhoria no sistema radicular das plantas, na drenagem e infiltração da água, bem como resistência a erosão (ŠIMANSKÝ,2013). Cunha et al., (2018), destacaram em seus estudos que florestas secundárias e pastagens apresentam o mesmo teor de carbono orgânico total, muito em virtude das raízes das gramíneas que ajudam a fixar matéria orgânica, e que ambas as áreas possuem alto poder de estabilização dos agregados.

### 5.3. Análises físicas

Os resultados expressos na Tabela 6 referem-se às médias do DMG e DMP, via úmida e via seca, relacionados a suas respectivas áreas, avaliados na profundidade de 0-20 cm.

Pela Tabela 6, os valores de DMP seco variaram de 3,98 mm (PB) a 4,53 mm (CAO), sendo a área PB a única que apresentou diferença estatística. Já os valores de DMP úmido variaram de 3,60 mm (PB) a 4,32 mm (CAO), onde para as áreas PB e CB, por apresentarem diferenças estatísticas, menores valores são esperados relação às outras áreas. Para o DMG via seca a variação foi de 3,28 mm (CA) a 4,26 mm (CAO), e via úmida de 2,51 mm (CB) a 3,82 mm (PB), onde a área CAO apresentou o maior DMG via seca e a área CB a menor DMG úmida. O DMP está ligado à porcentagem de agregados grandes e o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de maior ocorrência entre os agregados. E, portanto, quanto maior for o agregado, mais espaços porosos, melhor a infiltração e menor risco a erosão hídrica (DEXTER, 1988; ŠIMANSKÝ, 2013). Assim, valores relativamente altos garantem à área uma boa infiltração e resistência à erosão, sendo a área de capoeirão a de maior destaque, visto que em todas as outras áreas foi observada, ao menos, uma classificação com valores inferiores de DMG e DMP em relação a CAO.

O índice de estabilidade dos agregados (IEA), pela Tabela 6, variou de 89,86% (CB) a 96,26% (CA), onde a área CA apresentou o maior valor, seguida pela área CAO. Este índice varia de 0 a 100%, sendo mais estáveis os agregados próximos ao valor de 100%. Assim, verifica-se que todas as áreas apresentaram altos valores de IEA, fato que caracteriza os agregados possuem alta coesão, quando submetido à água, promovendo uma alta estabilidade de suas estruturas.

Tabela 6- Resultados das análises do DMG e DMP para as áreas de: pastagem em boas condições visuais (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

Áreas	Diâmetro médio geométrico (DMG) - úmido	Diâmetro médio ponderado (DMP) - úmido	Diâmetro médio geométrico (DMG) - seco	Diâmetro médio ponderado (DMP) - seco	Índice de estabilidade dos agregados (IEA)
	----- mm -----				%
PB – Pastagens boas condições visuais	3,82a	3,60a	3,37b	3,98b	90,45cb
CB – Capoeira Baixa	2,51b	3,72a	3,35b	4,14a	89,86c
CA – Capoeira Alta	3,14a	4,12a	3,28b	4,28a	96,26a
CAO- Capoeirão	3,48a	4,32a	4,26a	4,53a	95,15ba

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (Tukey a 5%). CV DMGu – 8,7%; CV DMPu – 6,1%; CV DMGs – 7,05%; CV DMPs – 5,16%; CV IEA – 2,04%.

Os valores aqui encontrados vão de acordo com o estudo de Flauzino (2012) em áreas de pastagens na Ribeirão José Pereira, onde os valores médios de DMG e DMP superiores a 3 mm indicam boa agregação do solo e corroboram para altos valores de IEA, cuja média, por vezes, supera os 90%. No entanto, apesar de todas as áreas apresentarem boa estabilidade dos agregados, a sucessão vegetal, por meio de seus serviços ecossistêmicos, garantiu uma estabilidade maior aos agregados, quando em estágio mais avançado de sucessão.

Tabela 7- Análises de densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade para as áreas de: pastagem em boas condições visuais (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

Áreas	Densidade	Porosidade total	Microporosidade	Macroporosidade
	g/cm <sup>3</sup>	-----m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> -----		
PB	1,32a	0,49a	0,41a	0,08b
CB	1,35a	0,51a	0,36a	0,11ab
CA	1,29a	0,52a	0,41a	0,14aab
CAO	1,25a	0,54a	0,38a	0,16a

Comparam-se letras na horizontal. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (Tukey a 5%). CV densidade – 6,92%; CV Porosidade total – 7,19%; CV Microporosidade – 10,43%; CV Macroporosidade – 15,71%.

Pela Tabela 7, a densidade do solo variou de 1,25 g/cm<sup>3</sup> (CAO) a 1,35 g/cm<sup>3</sup> (CB), porém não apresentaram diferenças estatísticas entre si. A densidade exerce influência direta na infiltração e retenção de água no solo, bem como indica seu arranjo das partículas e poros, visto que permite avaliar a suscetibilidade a processos erosivos. Assim, os valores de densidade do solo podem ser atribuídos ao tipo de manejo utilizado, condições climáticas e a umidade do solo, tráfego de animais (GUARIZ et al., 2009; Silva et al., 2015). Os valores críticos de densidade, para solos argilosos, segundo Reichert, Reinert e Braida (2003) estão em torno 1,4g/cm<sup>3</sup> a 1,6 g/cm<sup>3</sup>, e, portanto, as áreas em questão ainda estão abaixo deste. No entanto há uma certa dificuldade para a definição deste valor crítico, já que os fatores de crescimento de plantas e infiltração de água não devem ser analisados isoladamente, e sim em conjunto com outros atributos.

Assim, de maneira complementar, os valores de porosidade foram calculados a partir da densidade dos solos, e apresentaram variação de 0,49 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, para a área PB, até 0,54 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> para a área CAO, como pode ser observado na Tabela 7. A intensidade do uso do solo pode acarretar modificações indesejáveis ao solo como a compactação, e o consequente aumento da densidade, aqui já discutido, e a diminuição da porosidade. A porosidade relaciona os espaços não ocupados por sólidos, mas sim por água e ar. Sendo assim, ela tem papel importante na aeração, condução e retenção de água, além de auxiliar na penetração de raízes. (PAUL, 2014; BALOTA, 2017). Mas sabe-se que os poros totais do solo constituem-se pelos macro e microporos. Assim, apesar dos valores de porosidade não apresentarem diferença estatísticas ainda há a necessidade de subdividi-los para a melhor compreensão do meio.

De acordo com a Tabela 7, a microporosidade variou de  $0,36 \text{ m}^3/\text{m}^3$  (CB) a  $0,41 \text{ m}^3/\text{m}^3$  (PB e CA) e não apresentou diferença estatística. No entanto, ao levar em consideração a macroporosidade observou-se uma variação de  $0,08 \text{ m}^3/\text{m}^3$  (PB) a  $0,16 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , onde o aumento neste índice está relacionado a prestação de um serviço ecossistêmico pelo aumento da diversidade vegetativa entre as áreas. Deste modo, área de capoeirão, área esta consorciada com gramíneas e outras espécies arbustivas e arbóreas, apresenta uma maior concentração de macroporos do que a área de pastagem em boa condições visuais, onde sua cobertura se dá apenas por gramíneas.

Segundo Azizoltani, Honarjoo e Ayoubi (2019), ambientes antropizados refletem em uma menor porcentagem de macroporos e mesoporos em relação aos microporos, e discutem a adição de biomassa de serapilheira, em ambientes naturais, como um dos fatores responsáveis por isto. Em especial, para pastagens, Tarrá et al. (2010) discutem que o volume de macroporos tende a diminuir significativamente com o aumento do tempo de uso, mesmo sob influência de bons manejos, e que mesmo após a recuperação destas pastagens por sistemas agroflorestais ou por capoeiras, ainda haverá evidências dos efeitos do pisoteio animal, principalmente nas camadas superiores (0-5 cm).

Com relação às três vias de formação de agregados (Figura 18), a Tabela 8 mostra os agregados intermediários como os maiores valores, em porcentagem, na composição dos agregados do solo, variando de 59,55% (CAO) a 84,81% (CB). Quanto à via de formação fisiogênica, os valores em porcentagem estão entre 3,90% (CB) a 17,41% (CAO). Por fim, os agregados biogênicos variaram de 10,95% (PB) a 23,04% (CAO).

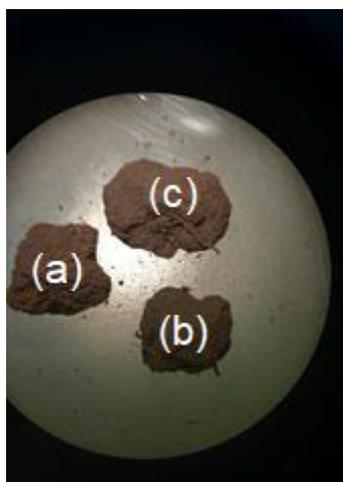


Figura 18 - Vias de formação de agregados: (a) – Via fisiogênica; (b) Via intermediária; (c) Via biogênica.

Tabela 8- Análise das três vias de formação de agregados do solo para as áreas em questão: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

Tipos	Áreas			
	PB	CB	CA	CAO
	-----%-----			
Fisiogênico	16,04a	3,90b	4,74b	17,41a
Intermediário	73,01b	84,81a	79,90a	59,55c
Biogênico	10,95c	11,29bc	15,36b	23,04a

Comparam-se letras na horizontal. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (Tukey a 5%). CV fisiogênico – 28,24%; CV intermediário – 5,72% ; CV biogênico – 17,05% .

Ainda de acordo com a Tabela 8, a formação destes agregados se demonstra sensível aos processos regenerativos onde, com o avanço da sucessão natural, maior é a porcentagem de agregados formados via biogênica, modificando a composição da agregação do solo. Vale lembrar que os agregados biogênicos são formados por auxílio de indivíduos da macrofauna edáfica e raízes e, portanto, quanto maior a porcentagem destes agregados, espera-se uma melhoria da capacidade de infiltração e retenção de água, visto que tais fatores têm influência direta na densidade e porosidade do solo. Isto acontece visto que, tais agregados formam poros e galerias de diversas formas e tamanhos (BRUSSAARD et al, 2007).

#### 5.4. Densidade de raízes

Os valores de densidade de raízes (Tabela 9) são relativos à camada de 0-20 cm de solo. Percebem-se os valores de densidade de raízes variando de 0,309 g/cm<sup>3</sup>, para a área de PB, a 0,111 g/cm<sup>3</sup>, para a área CAO, sem diferenças estatísticas entre elas.

Tabela 9 - Valores médios de densidade de raízes, relativos a camada de 0-20 cm do solo, para as áreas em questão: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

Áreas	Densidade raízes
	-----g/cm <sup>3</sup> -----
PB	0,309a
CB	0,238a
CA	0,297a
CAO	0,111a

Comparam-se letras na vertical. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (Tukey a 5%). CV densidade de raízes – 47,91%.

Conte et al. (2011) discutem que o uso da pecuária acarreia em modificações nos atributos físicos, como a agregação, que podem alterar a oferta de forragem pelas gramíneas. Assim, segundo os autores supracitados, o sistema radicular destas forrageiras tende a aumentar sua massa a medida que se eleva a intensidade de pastejo. Isto ocorre porque com a diminuição da oferta de forragem, há uma menor cobertura do solo, o que pode levar a uma consequente degradação desta pastagem. E, a partir disto, sabe-se que tal dinâmica de degradação promove a diminuição do número de raízes no perfil do solo e favorece, ainda mais, sua concentração nas camadas superficiais. Desta forma, além da diminuição da oferta de forragem e maior concentração de raízes superficiais, processos degradativos como a compactação, por pisoteio de animais, dispersão de agregados, pelo efeito de salpicamento e um possível selamento superficial, podem diminuir a infiltração de água no solo e promover um maior escoamento superficial e de risco de erosão (MULLER et al., 2001).

Em virtude das áreas de estudo possuírem uma lotação variável, devido ao uso de políticas de locação de pastos, não se tem a taxa de lotação. Assim, espera-se que as áreas, dado que não acusam diferenças estatísticas, apresentem uma elevada intensidade de pastejo. Tal fato evidencia uma maior quantidade de raízes na camada superficial do solo, onde mesmo para a área de CAO, com uma maior diversidade de plantas em relação às outras áreas, inclusive com menos gramíneas, esteja em situação de superpastejamento, onde as forrageiras tendem a aumentar sua concentração de raízes nos horizontes superficiais do solo.

## **5.5 Análises de infiltração e compactação**

A Figura 19 mostra os resultados de resistência à penetração, oferecida pelo solo, em cada subárea. Tais resultados foram subdivididos em quatro classes de profundidade: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. A unidade MPa, corresponde à pressão necessária para perfurar o solo, assim quanto maior este valor maior a resistência do solo à penetração. Desta forma, para a subárea PB, apesar dos valores de resistência variarem de 3,07 a 6,86 MPa não houve diferença estatística pela teste de Tukey, não evidenciando uma zona compactada na profundidade amostrada. O mesmo acontece para a subárea CA, onde não foi detectada diferença estatística que comprove um possível incremento da resistência do solo de 0 a 40 cm, com valores de resistência de 5,39 a 7,95 MPa.

No entanto, para as subáreas CB e CAO observou-se uma estratificação dos valores de resistências com o aumento da profundidade. Para a primeira área, a camada de 0-10 cm do solo apresentou um valor de resistência superior às camadas subjacentes, com 4,37 MPa, enquanto as de 10-20 e 20-30 cm variaram de 3,41 a 4,28 MPa, respectivamente. Porém, na camada de 30-40 cm notou-se uma mudança abrupta na resistência do solo, com valores médios de 6,43 MPa. Já para a subárea CAO houve um aumento gradativo da resistência do solo de acordo com as camadas analisadas. Na profundidade 0-10 cm, a resistência média foi de 3,55 MPa, seguidos por 5,52 MPa, na classe-10-20 cm, 7,63 MPa, na classe 20-30 cm, e, por fim, de 30-40 cm com o valor médio de 9,92 MPa.

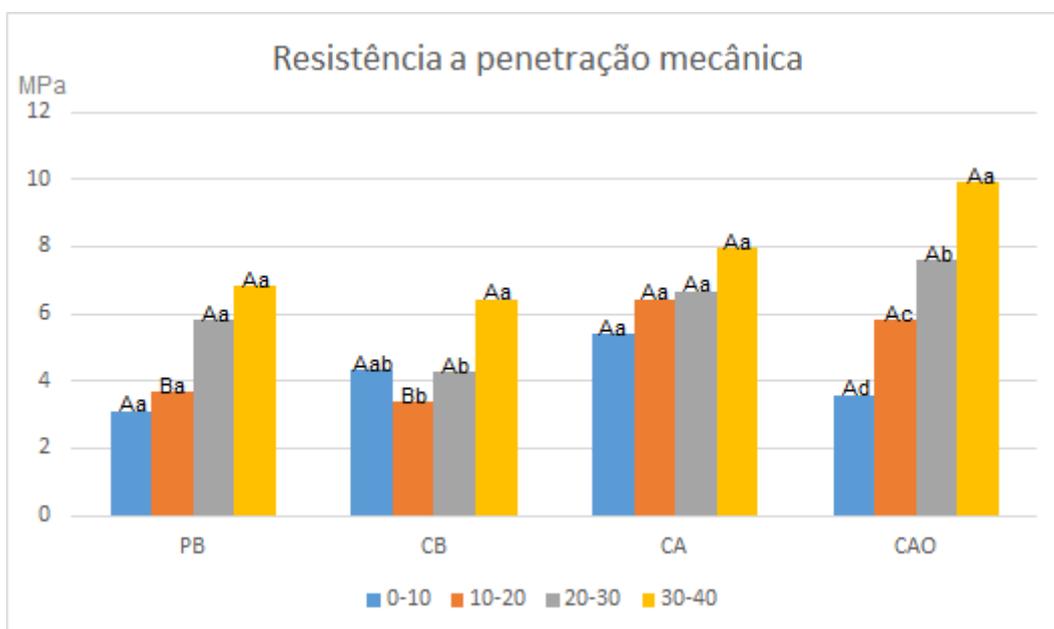


Figura 19 - Resistência mecânica do solo a penetração, via penetrômetro de impacto, para diferentes usos com pastagem e sucessão.

Comparam-se letras minúsculas entre as áreas e maiúsculas entre as classes de profundidade. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (Tukey a 5%). CV (0-10) - 27,48%; CV (10-20) - 18,18%; CV (20-30) - 51,14%; CV (30-40) - 28,23%.

Ainda pela Figura 19, comparando as classes de profundidade com as subáreas, em questão, nota-se que nas classes de 0-10, 20-30 e 30-40 cm não houve diferenças estatísticas significativas entre as subáreas estudadas pelo teste de Tukey. Somente na classe de 10-20 cm foi observada diferença estatística, onde as subáreas PB e CB apresentaram menores valores a resistência à penetração, com 3,67 e 3,41 MPa, respectivamente. Na sequência tem-se a subárea CAO com 5,82 MPa e, por fim, a subárea CA apresentou a maior resistência à penetração em tal classe, com 6,45 MPa.

O pisoteio animal, segundo Parente e Maia (2011), pode ocasionar alterações nas propriedades físicas do solo, e acarretar no comprometimento da aeração e acessibilidade de nutrientes, e, com isto, refletir no crescimento das plantas. Para eles, o penetrômetro traz boas estimativas da resistência do solo à penetração de raízes, já que, as plantas, ao indetificarem uma camada compactada, tem seu crescimento radicular estabilizado, e precisam explorar a porosidade do solo ou estimular a abertura de novos poros (DEXTER,1988). Para Arshad, Lowery e Grossman (1996), o valor crítico para o crescimento radicular é de 2 a 4 MPa, e para Camargo e Alleoni (1997) o valor crítico é de 2,5 MPa, o que implica a quase todas as áreas estudadas restrições ao desenvolvimento radicular, já que todas apresentam valores considerados muito altos (4 a 8 MPa) e até extremamente altos (>8 MPa) (SOIL SURVEY STAFF, 1993).

Silveira et al. (2010), em um estudo de resistência à penetração de um Argissolo amarelo, destacam que os valores muito altos de RP, podem decorrer em virtude da textura do solo. Isto ocorre pois a RP possui relação direta com a umidade do solo, e a diferença textural ao longo do perfil, característica de argissolos, faz com que concentração de água seja diferente a medida que em que se aprofunda no perfil do solo, influenciando a resistência à penetração.

Os valores de condutividade hidráulica estão expressos na Tabela 10. Nas áreas em questão, observam-se valores na ordem de grandeza de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm/s, e que não se diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. Como os valores de condutividade não se diferiram entre si, espera-se que os diferentes manejos adotados para pastagens não alteram a capacidade de infiltração inferior a esta camada de solo (Argissolo vermelho distrófico latossólico).

Tabela 10 - Valores médios da condutividade hidráulica do solo, por meio do permeâmetro de Guelph, , para as áreas em questão: pastagem (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO)

	Áreas			
	PB	CB	CA	CAO
K (cm/s)	2,68E-04a	1,40E-03a	2,14E-04a	4,47E-03a

Comparam-se letras na horizontal. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si (Tukey a 5%). CV 141,38%.

Desta maneira, segundo a classificação de Terzaghi, Peck e Mesri (1967) e Mello e Teixeira (1967) o solo da região pode ser o responsável por atribuir tais características, visto que os valores são esperados para solos de textura argilosa e de textura fina, o que condiz com o tipo de solo da região de estudo (argissolo). Assim, ainda de acordo com os autores supracitados, tais áreas são classificadas, quanto ao seu grau de permeabilidade hidráulica, como solos de média a baixa condutividade hidráulica. No entanto, Parente e Maia (2011), em uma revisão de literatura, destacaram a importância da camada superficial na partição da quantidade de água recebida pelo solo, tanto na infiltração quanto no escoamento superficial. E, em especial para pastagens, que são suscetíveis a compactação, há uma maior possibilidade de arraste de solo e nutrientes. Assim, ainda que os valores de condutividade hidráulica não tenham apresentado diferença estatística entre os manejos, a camada superficial tem que ser levada em consideração, visto que condições de superpasteio podem comprometer as propriedades físicas do solo.

## 5.6. Análise Estatística

Visando compreender melhor a agregação do solo e sua influência na infiltração de água, submeteu-se os atributos descritos nos tópicos anteriores a uma análise de correlação de Pearson. O coeficiente de relação de Pearson ( $r$ ) permite interpretações com base na força da correlação, sendo fortes correlações com  $r > |0,7|$  e muito fortes com  $r > |0,9|$ . Além disto, aqui, foram consideradas apenas correlações com nível de significância (denotado como  $\alpha$  ou alfa) menores que 0,05.

Assim, pela Figura 20, com um nível de significância de 95%, pode-se afirmar que o DMP úmido apresenta uma correlação negativa muito forte ( $r = -0,99$ ) com a densidade do solo. Também observa-se que o DMG seco apresenta uma correlação negativa muito forte com a densidade de raízes ( $r = -0,96$ ) e uma correlação positiva muito forte com a condutividade hidráulica ( $r = 0,96$ ). A condutividade hidráulica ainda apresenta uma correlação negativa muito forte com a densidade de raízes ( $r = -0,99$ ). Além disto, a porosidade do solo apresenta uma correlação positiva muito forte com a macroporosidade ( $r = 0,98$ ).

No item 3.4.2. - Agregação do solo e seus impactos, foi-se discutido que, segundo Dexter (1988), os agregados do solo possuem grande importância na manutenção de diversas condições edáficas como aeração, porosidade, infiltração, controle de processos erosivos e crescimento e desenvolvimento de raízes. Assim, como o esperado para as

áreas em estudo, o DMG e DMP apresentam correlação com tais processos. Contudo, no que se diz respeito à densidade de raízes, Conte et al. (2011) discutem sua contribuição para a agregação do solo, onde a medida que se eleva o pastejo mais expressiva é a massa de raízes. Porém, pela Tabela 9, a densidade de raízes não apresentou diferença estatística entre as áreas e, diferentemente do discutido, uma maior quantidade de raízes não implica, necessariamente, em maiores valores do tamanho dos agregados. Uma das explicações para isto se dá pelos maiores valores de resistência à penetração na camada de 10-20 cm das áreas CA e CAO em relação às outras. Além disto, em virtude de processos de sucessão natural, têm-se uma diferenciação de cobertura, onde novas espécies arbustivas e arbóreas, que possuem sistemas radiculares diferente das gramíneas, competem entre si.

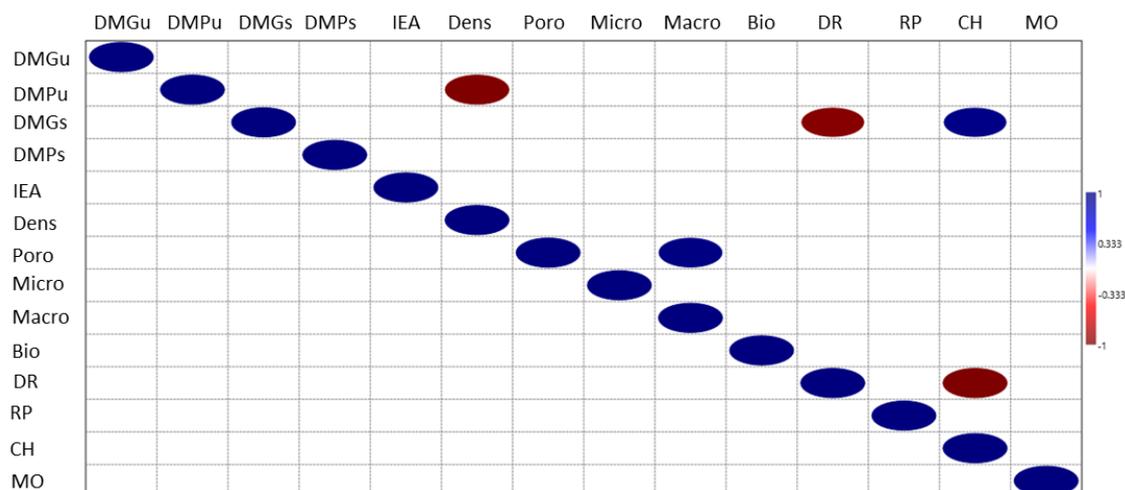


Figura 20 - Correlação de Pearson ( $p$ -value  $<0,05$ ) entre os atributos do solo, DMGu – Diâmetro médio geométrico via úmida, DMPu – Diâmetro médio ponderado via úmida, DMGs – Diâmetro médio geométrico via seca, DMPs – Diâmetro médio ponderado via seca, IEA – Índice de estabilidade dos agregados, Dens – Densidade do solo, Poro – Porosidade total, Micro – Microporosidade, Macro – Macroporosidade, Bio – Agregado biogênicos, DR – Densidade de raízes, RP – Resistência a penetração, CH – Condutividade Hidráulica, MO – Matéria orgânica.

Para a melhor a visualização e a compreensão da dinâmica de tais atributos entre as áreas, os dados foram submetidos também à estatística multivariada. Como resultado foi gerada a Figura 21, onde as abscissas correspondem ao componente principal (CP) 1, com 61,15 % da variância total explicada, e as ordenadas correspondem ao CP 2, com 28,4% da variância total. Os dois fatores juntos explicaram 89,55% da variância total dos dados, possibilitando que somente esses componentes sejam apresentados.

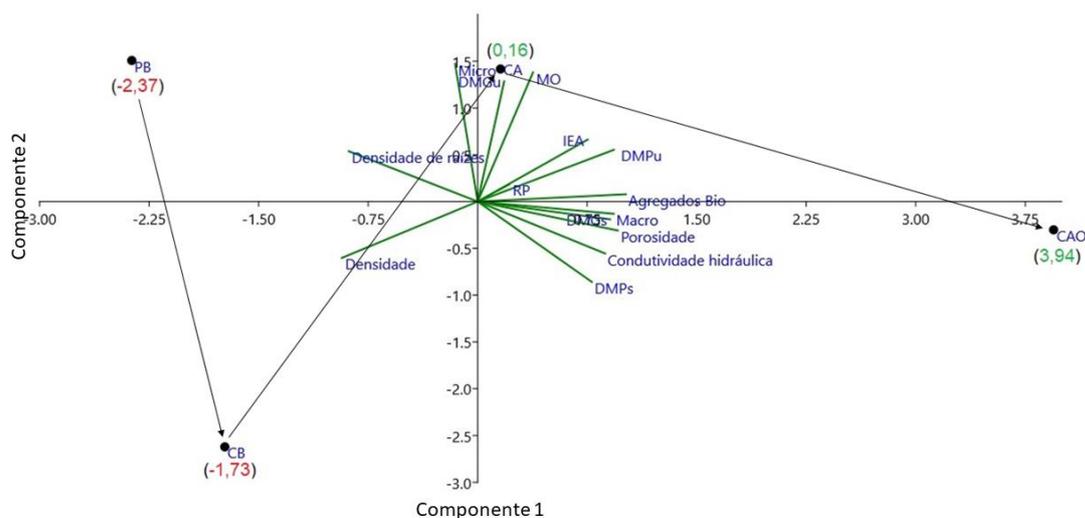


Figura 21- Resultado da Análise de componentes principais (PCA) e Scores do CPI, evidenciando o sentido da melhoria da qualidade do solo nas diferentes áreas de estudo.

Com a análise das componentes principais (PCA) pela Figura 21 e Tabela 12, observou-se que a área capoeirão (CAO) mostrou relação com maior tamanho de agregados (DMG e DMP), melhor estabilidade dos agregados (IEA), porosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica. Dessa forma, essas áreas evidenciam que a sucessão natural pode melhorar as funções do solo, por meio de seus serviços ecossistêmicos, já que áreas em início de sucessão, pastagem (PB) e capoeira baixa (CB), apresentaram relação com valores mais altos de DS, que vão ao oposto das áreas em estágios mais avançados, onde os agregados apresentam um bom desenvolvimento e estabilidade, possibilitando maior resistência à erosão e boa infiltração de água.

Tabela 11 - Loadings da análise de componentes principais CP1 e CP2.

	PC 1
DMG - úmido	0.06
DMP - úmido	0.32
DMG - seco	0.31
DMP - seco	0.27
IEA	0.26
Densidade	-0.32
Porosidade	0.33
Microporosidade	-0.05
Macroporosidade	0.32
Agregados Biogênicos	0.35
Densidade raízes	-0.30
Resistência a penetração	0.07
Condutividade hidráulica	0.30
Matéria Orgânica	0.13

Com a análise dos *scores* do CP1, foi possível mostrar que as áreas se encontram na seguinte ordem crescente de qualidade: pastagem em boas condições visuais (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO) (Figura 20). Ashagrie et al (2007) observaram aumento da qualidade do solo conforme aumenta a sucessão. Tal resultado se deve ao fato de que quanto maior a interferência antrópica no uso do solo maior a degradação da sua estrutura e comprometimento de importantes processos relacionados à manutenção de sua qualidade.

Assim, apesar dos valores de condutividade hidráulica entre as áreas não ter apresentado diferença estatística, nota-se uma tendência, a medida que os serviços ecossistêmicos são prestados pela sucessão natural, de melhoria em tal parâmetro. Vale ressaltar que todas as áreas estão sob o mesmo tipo de solo, argissolo. Este tipo de solo, por característica, possui uma camada adensada, formada pela eluviação de argila da camada superficial em seu perfil, fazendo com que a percolação de água seja limitada entre os horizontes do solo (SOUZA et al., 2014). Brandão et al. (2006) discutem que os Argissolos Vermelho-Amarelos apresentam menores taxas de infiltração, se comparados a outros tipos solo, como: latossolo vermelho-amarelo e neossolo quartzarênico. Segundo eles, tal fato se dá pelo menor grau de estruturação, associado ao elevado conteúdo de argila dispersa que favorece o preenchimento dos poros por argila. E se comparados com o argissolo vermelho, apesar de semelhanças físico-químicas, encontrou-se uma

infiltração significamente menor, provavelmente em função do maior teor de óxido de ferro.

Assim, a sucessão natural e sua interferência na cobertura vegetal dos solos têm papel importante no controle do escoamento superficial, já que para os casos de estudo, áreas sob argissolos, apresentam grandes limitações à infiltração, independente do manejo utilizado. Deste modo, garantir uma boa cobertura vegetal poderia resultar em uma maior retenção de água, diminuindo sua velocidade superficial e a possibilidade de erosão do solo.

Segundo Silva et al. (2015), as atividades agropecuárias têm grande destaque na economia, contudo sabe-se, também, que elas demandam de muitos recursos naturais e, portanto, se faz necessária uma abordagem diferenciada para anteder a dupla necessidade de aumentar a produtividade e diminuir os danos ambientais. E para eles, áreas com baixo nível de manejo, como a pecuária extensiva, a prestação de serviços ambientais pode potencializar o suporte do meio, mais do que em sistemas manejados, onde quanto maior a intensidade de manejo, menos interferência destes serviços podem ser encontrados.

Desta forma, como discutido previamente Parron et al. (2015) classificam que o avanço em metodologias de valoração de serviços ambientais contribuem sob o aspecto econômico, onde seria possível atribuir valor monetário aos serviços da natureza e, assim, estimular a preservação dos ambientes naturais e a restauração de ecossistemas degradados, principalmente aqueles ligados ao meio rural, já que podem gerar aumento de renda aos proprietários rurais.

## 6. CONCLUSÕES

A sub-bacia do ribeirão José Pereira é composta por aproximadamente 50% de pastagens que devido ao manejo extensivo utilizado podem apresentar algum estágio de degradação. Para avaliar tal problema, relacionou-se os serviços ecossistêmicos em pastagens com os atributos físicos, químicos e hidráulicos do solo, que permitiram as seguintes conclusões:

- A sucessão ecológica em estágios mais avançados conferiu aos agregados do solo maiores valores de DMG e DMP, sendo encontrados diâmetros superiores a 4mm e melhores índices de estabilidade dos agregados (IEA);
- Apesar dos valores de densidade se encontrarem abaixo dos valores críticos, para as áreas estudadas, os valores de resistência mecânica do solo estão acima dos recomendados;
- Os valores de condutividade hidráulica não apresentaram influência da sucessão vegetal, sendo as áreas classificadas como de baixa a média condutividade hidráulica;
- Pela análise de PCA foi possível classificar as áreas em função dos atributos analisados, na seguinte ordem crescente de qualidade: pastagem em boas condições visuais (PB), capoeira baixa (CB), capoeira alta (CA) e capoeirão (CAO);
- Assim, a sucessão natural não deve ser analisada conforme um parâmetro, pois os serviços ecossistêmicos atuam como um todo. A qualidade do solo aqui, quando avaliada em conjunto com os atributos físicos, químicos e hidráulicos mostrou-se sensível com a sucessão vegetal, e a partir dela melhores relações quanto ao tamanho dos agregados, porosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica são esperados.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABIEC–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. *Perfil da pecuária no Brasil – Relatório Anual – 2018*. . São Paulo: ABIEC, 2018. 50p.
- ADAMI, M.; Rudorff, B.F.T.; Freitas, R.M.; Aguiar, D.A.; Sugawara, L.M.; Mello, M.P. Remote Sensing Time Series to Evaluate Direct Land Use Change of Recent Expanded Sugarcane Crop in Brazil. **Sustainability**, Basel v. 4, n. 4, p. 574–585, 2012.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Campinas: IE/UNICAMP**, n. 155, 2009a.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”. **XXXVII Encontro Nacional de Economia. Foz do Iguaçu: ANPEC**, 2009b.
- ARAÚJO SKORUPA, A. L.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N., SILVA, C.P.C.; SCOLFORO, J. R. S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, 2012.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. **Methods for assessing soil quality**, Madison, n. methodsforasses, p. 123–141, 1996.
- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C. G.; ROMERO, R.E.; SILVA, M;V. C.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, Campina Grande, v. 18, n. 2, 2014.
- ASSESSMENT, M. E. **Ecosystems and human well-being**. [s.l.] Island press Washington, DC:, 2005. v. 5
- AZIZSOLTANI, E.; HONARJOO, N.; AYOUBI, S. How Soil Pore Distribution Could Help in Soil Quality Studies as an Appropriate Indicator. **Eurasian Soil Science**, v. 52, n. 6, p. 654–660, 2019.
- BALOTA, E. L. Manejo e qualidade biológica do solo. **Londrina: Mecenias**, 2017.
- BATISTA, I.; CORREIA, M.E.F.; PEREIRA, M.G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J.A.; MELLO, N.A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no Cerrado, MS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, p. 1535–1548, 2013.
- BORGES, C. S.; Teixeira, R.B.; Beno, W.; Alves, C.D. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO<sub>2</sub> em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 660–675, 2015.
- BRANDÃO, V.S.; Silva, D.D.; Ruiz, H.A.; Pruski, F.F.; Schaefer, C.E.G.R.; Martinez, M.A.; Menezes, S.J.M.C. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 13–21, 2006.
- BRASIL, N. C. F. Lei n 12.651, de 25 de maio de 2012. **Brasília, Diário Oficial da União** [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm), 2012.

- BRIZZI, R. R.; DE SOUZA, A. P.; DA COSTA, A. J. S. T. Influência do manejo agrícola na suscetibilidade dos solos à erosão na sub-bacia hidrográfica do rio São Romão, Nova Friburgo/RJ. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Rio Claro, v. 15, n. 2, p. 171–191, 2017.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1–2, p. 3–22, 2005.
- BRUSSAARD, L.; PULLEMAN, M.M.; OUÉDRAOGO, É.; MANDO, A.; SIX, J. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. **Pedobiologia**, v. 50, n. 6, p. 447–462, 2007.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.. **Handbook for soil thin section description**. [s.l.] Waine Research, 1985.
- CAMARGO, O. A. DE; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. **Piracicaba: Esalq**, p. 132, 1997.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; OLIVEIRA, I.A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 527–535, 2010.
- CARNEIRO, C. D. R.; GONÇALVES, P. W.; LOPES, O. R. O ciclo das rochas na natureza. **Terrae didática**, Campinas, v.5, n.1, p.50-62, 2015.
- CLARK, J. U. A primeira república, as escolas graduadas e o ideário do iluminismo republicano: 1889-1930. **Rev. HISTEDBR On-line**, v. 9, 2006.
- CONTE, O.; LIMA, C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas, v. 35, n. 2), p. 579-587, 2011.
- CUNHA, F. V.; PEREIRA, M.G.; LELES, P.S.S.; ABEL, E.L.S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba-MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 13–24, 2018.
- FRAGOSO, R.O.; CARPANEZZI, A.A.; KOEHLER, H.S.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C. Barreiras ao estabelecimento da regeneração natural em áreas de pastagens abandonadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1451–1464, 2017.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and tillage research**, v. 11, n. 3–4, p. 199–238, 1988.
- DIAS-FILHO, M. **Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira Challenges of animal production in pastures in the Brazilian agricultural frontier**. [s.l: s.n.]. v. 40
- DIAS-FILHO, M. B. Competição e sucessão vegetal em pastagens. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.
- DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. reimp. **Belém, PA, 2011b**, 2011b.
- DIAS-FILHO, M. B. Uso de pastagens para a produção de bovinos de corte no Brasil: passado, presente e futuro. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2016.

- DIAS FILHO, M. B. Degradação de pastagens: o que é e como evitar. **Embrapa Amazônia Oriental-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2017.
- DIVISION, U. S. D. OF A. S. S.; SURVEY, U. S. D. OF S. **Soil survey manual**. [s.l.] US Department of Agriculture, 1993.
- FRANCISCO, E. A. B.; BONFIM-SILVA, E. M.; TEIXEIRA, R. A. Aumento da produtividade de carne via adubação de pastagens. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, INPI, p. 6–12, 2017.
- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DE QUALIDADE DE SOLO DE INTERESSE AGRÍCOLA**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- GUARIZ, H.R.; PICOLI, M.H.S.; CAMPANHARO, W.A.; CECÍLIO, R.A. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S.l.], v. 4, n. 2, 2009.
- HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, São Paulo, v. 44, n. 3, p. 315–327, 2017.
- IBGE. **Censo agropecuário 2017. Brasil resultados preliminares**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A.; VERZIGNASSI, J. R.; QUEIROZ, H. P. Diagnóstico para o planejamento da propriedade. **Embrapa Gado de Corte-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.
- KUNZ, S. H.; MARTINS, S. V. Regeneração natural de floresta estacional semidecidual em diferentes estágios sucessionais (Zona da Mata, MG, Brasil). **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 111–124, 2013.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2ª Edição ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- LISBÔA, F. M.; DONAGEMMA, G.K.; BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; MENDONÇA, E.S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 51, n. 9, p. 1184–1193, set. 2016.
- MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. DE; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 703–709, 1999.
- MELADO, J. Pastagem Ecológica e serviços ambientais da pecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 16, n. 3, p. 113–118, 2007.
- MELO, V.F.; MOURA, R.; TOLEDO, F.H.; LIMA, V.C.; GHIDIN, A.A. Morfologia de agregados de Latossolos Bruno e Vermelho do estado do Paraná, avaliada por imagens obtidas em scanner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, 2008.
- MELLO, V. F. B.; TEIXEIRA, A. H. Mecânica dos solos. **São Carlos: Escola de Engenharia**, 1967.
- MULLER, M. M. L.; Guimarães, M.F.; Desjardins, T.; Martins, P.F.S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409–1418, 2001.

- PARENTE, H. N.; MAIA, M. DE O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **R. Tróp.: Ci. agr. biol.**, Chapadinha, v. 5, n. 3, 2011.
- PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; RACHWAL, M. F. G.; FRANCHINI, J. C.; FRANCISCON, L.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; BROWN, G. G.. Avaliação de serviços ambientais no âmbito do projeto ServiAmbi. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.
- PARRON, L. M.; GARCIA, J. R. Serviços ambientais: conceitos, classificação, indicadores e aspectos correlatos. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.
- PATO, R. L.; MAGALHÃES, M.; TAVARES, A. O. Análise ambiental e edáfica em área de transformação periurbana. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 34, n. 2, p. 218–233, 2011.
- PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. [s.l.] Academic press, 2014.
- RACHWAL, M. F. G.; DEDECEK, R.A.; MAIA, C.M.B.F; PARRON,L. Uso e manejo da terra e aspectos pedológicos na avaliação de serviços ambientais. **Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2015.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb**, Canoas, v. 27, p. 29–48, 2003.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. **Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria**, 2006.
- RIBEIRO, G. F. Estudo dos fatores do meio físico que influenciam a capacidade de infiltração das águas da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Minas Gerais.2010. 107f. Dissertação mestrado - UNICAMP., Instituto de Geociências Campinas, 2010.
- RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, n. 4, p. 355–363, 2004.
- ROCHA, G. L. D. A evolução da pesquisa em forragicultura e pastagens no Brasil. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 45, n. 0, p. 5–51, 1988.
- SANTOS, M. M. DOS. Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR). 2005. 130 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005.
- SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, 2007.
- SILVA, G. F.; SANTOS,D.; SILVA, A.P.;SOUZA, J.M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró. v. 28, n. 3, p. 25–35, 2015.
- SILVEIRA, D.C.; Melo Filho, J.F.; Sacramento, J.A.A.S;Silveira,E.C.P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 659–667, 2010.
- ŠIMANSKÝ, V. Soil structure stability and distribution of carbon in water-stable aggregates in different tilled and fertilized Haplic Luvisol. **Acta Universitatis**

**Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, Brno, v. 60, n. 3, p. 173–178, 2013.

SPOHN, M.; GIANI, L. Water-stable aggregates, glomalin-related soil protein, and carbohydrates in a chronosequence of sandy hydromorphic soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 9, p. 1505–1511, 2010.

SOUZA, E. B.; Patrocínio Filho, A.P.; Pimenta, W.A.; Nagahama, H.J.; Cortez, J.W.. NOTA TÉCNICA: RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM FUNÇÃO DA SUA UMIDADE E DO TIPO DE PENETRÔMETRO. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA-REVENG**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 67–76, 2014.

SOUZA, L. M.; FARIA, R.A.V.B; BOTELHO, S.A.; FONTES, M.A.L; FARIA, J.M.R. Potencial da regeneração natural como método de restauração do entorno de nascente perturbada. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 565–576, 2012.

STÖCKER, C. M.; MONTEIRO, A.B.; BAMBERG, A.L.; CARDOSO, J.H.; MORSELLI, T.B.G.A.; LIMA, A.C.R. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, Bagé, p. 848–859, 2017.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impactos em resistência do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

TARRÁ, I. L. C.; LUIZÃO, F.J.; WANDELLI, E. V.; TEIXEIRA, W. G.; MORAIS, W. J.; CASTRO, J. G. D.. Tempo de uso em pastagens e o volume dos macroporos do solo na Amazônia Central. **Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.. Manual de métodos de análise de solo. **3ª edição revista e atualizada. Brasília, DF: EMBRAPA. 573p**, 2017.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. Soil Mechanics in Engineering Practice, **John Wiley & Sons. Inc.**, New York, 1967.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795–801, 2002.

VEIGA, M. DA; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Aggregate stability as affected by short and long-term tillage systems and nutrient sources of a hapludox in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 767–777, 2009.

**APÊNDICE A** – Coordenadas geográficas dos pontos de coleta

PB	Subárea 1		
	P1	P2	P3
Latitude	22°25'7.47"S	22°25'7.70"S	22°25'7.56"S
Longitude	45°25'9.37"O	45°25'8.13"O	45°25'6.64"O
	Subárea 2		
	P1	P2	P3
Latitude	22°25'8.69"S	22°25'8.76"S	22°25'8.83"S
Longitude	45°25'9.54"O	45°25'8.54"O	45°25'7.13"O
	Subárea 3		
	P1	P2	P3
Latitude	22°25'10.20"S	22°25'9.62"S	22°25'9.92"S
Longitude	45°25'9.87"O	45°25'9.06"O	45°25'7.98"O
CB	Subárea 1		
	P1	P2	P3
Latitude	22°25'3.09"S	22°25'3.48"S	22°25'3.78"S
Longitude	45°26'14.89"O	45°26'15.23"O	45°26'16.02"O
	Subárea 2		
	P1	P2	P3
Latitude	22°25'2.57"S	22°25'3.09"S	22°25'3.32"S
Longitude	45°26'16.26"O	45°26'16.28"O	45°26'17.10"O
	Subárea 3		
	P1	P2	P3
Latitude	22°25'3.01"S	22°25'2.79"S	22°25'2.28"S
Longitude	45°26'17.97"O	45°26'17.40"O	45°26'17.42"O

**APÊNDICE A** – Coordenadas geográficas dos pontos de coleta

CA	Subárea 1		
	P1	P2	P3
Latitude	22°24'12.11"S	22°24'12.63"S	22°24'13.09"S
Longitude	45°26'46.75"O	45°26'47.07"O	45°26'46.56"O
	Subárea 2		
	P1	P2	P3
Latitude	22°24'12.53"S	22°24'12.76"S	22°24'13.28"S
Longitude	45°26'48.31"O	45°26'47.75"O	45°26'47.09"O
	Subárea 3		
	P1	P2	P3
Latitude	22°24'13.32"S	22°24'13.78"S	22°24'13.77"S
Longitude	45°26'49.19"O	45°26'48.53"O	45°26'47.57"O
CAO	Subárea 1		
	P1	P2	P3
Latitude	22°24'18.93"S	22°24'19.08"S	22°24'19.31"S
Longitude	45°25'42.18"O	45°25'41.69"O	45°25'41.09"O
	Subárea 2		
Latitude	P1	P2	P3
	22°24'19.89"S	22°24'20.01"S	22°24'20.45"S
Longitude	45°25'42.58"O	45°25'42.10"O	45°25'41.89"O
	Subárea 3		
Latitude	P1	P2	P3
	22°24'20.69"S	22°24'21.13"S	22°24'21.14"S
Longitude	45°25'43.33"O	45°25'43.09"O	45°25'42.43"O

**ANEXO A - Planilha utilizada para aplicação da metodologia de RAQS**

Nº	Indicadores	Descrição do solo			Peso	
		0 (pobre)	1 (moderado)	2 (bom)		3 (ótimo)
1	Cor e odor do solo	Cor do solo da camada superficial parecida com a cor do material de origem, amarelo ou acinzentado e ausência de material orgânico e de odor	Cor do solo da camada superficial pouco mais escura que a cor do material de origem, geralmente marrom claro e odor muito fraco	Cor do solo da camada superficial bem mais escura que a cor do material de origem, geralmente marrom escuro e odor fraco pela presença de material orgânico	Cor do solo da camada superficial bem diferente e escurecida e forte odor de matéria fresca pela presença abundante de material orgânico decomposto	1
2	Susceptibilidade à erosão	Muitos sulcos ou valetas que não podem ser desmanchados, ausência de vegetação/resíduos, costumam ocorrer em áreas muito inclinadas	Sulcos ou valetas que podem ser desfeitos com preparo do solo, alguma vegetação e resíduos na superfície	Inexistência de sulcos ou valetas, mas solo exposto com pouca vegetação e resíduos na superfície do solo	Inexistência de sulcos ou valetas, boa presença de vegetação e resíduos na superfície do solo	3
3	Pedregosidade	Solo muito pedregoso (>50 %)	Pedregosidade intermediária (21 – 50 %)	Pouco pedregoso (1 – 20 %)	Nenhuma pedregosidade (0%)	2
4	Estrutura e consistência do solo	Solo "empoeirado" como areia, onde não há estrutura e/ou consistência.	Poucos agregados, agregados muito grandes difíceis de serem quebrados	Quantidade média de agregados, com alguma resistência à quebra	Muitos agregados que quebram com pouca pressão	3

## ANEXO A - Planilha utilizada para aplicação da metodologia de RAQS

Nº	Indicadores	Descrição do solo				Peso
		0 (pobre)	1 (moderado)	2 (bom)	3 (ótimo)	
5	Compactação	Solo endurecido, ausência de matéria orgânica. Ao tentar penetrar um arame, este encurva-se facilmente	Solo com alguma dificuldade para manejar, pobre em matéria orgânica, arame ainda encurva-se	Solo macio com fina camada compactada, mas com pouca matéria orgânica. Alguma restrição à penetração do arame	Solo "fofo", sem compactação, rico em matéria orgânica. Arame penetra facilmente	3
6	Porosidade	Infiltração muito lenta da água com alto carreamento superficial de partículas	Pouca retenção de água ou infiltração ainda lenta	Boa retenção ou infiltração de água	Excelente retenção ou infiltração de água sem carreamento de partículas	3
7	Profundidade da camada superficial	Ausência da camada superficial e subsolo exposto	Solos rasos, com menos de 0,20 m de espessura na camada superficial	Solos com camada superficial entre 0,20 e 0,40 m	Solos com camada arável maior que 0,40 m	2
8	Quantidade, decomposição e incorporação da serapilheira no solo	Ausência de serapilheira	Pouca serapilheira com decomposição muito lenta e sem incorporação ao solo	Presença razoável de serapilheira em estágio intermediário de decomposição e incorporação na parte superficial do solo	Muita serapilheira muito bem decomposta, resíduos em vários estágios de decomposição e excelente incorporação no solo	2

## ANEXO A - Planilha utilizada para aplicação da metodologia de RAQS

Nº	Indicadores	Descrição do solo				Peso
		0 (pobre)	1 (moderado)	2 (bom)	3 (ótimo)	
9	Reação de oxigenase	Não há reação de oxigenase no solo. Ao se colocar água oxigenada numa amostra de solo úmido não há formação de efervescência ou bolhas	Já é possível observar a reação de oxigenase. Pouca formação de bolhas ou efervescência quando se coloca água oxigenada numa amostra de solo úmido	Reação de oxigenase facilmente observável. Formação intermediária de bolhas ou efervescência quando se coloca água oxigenada numa amostra de solo úmido	Alta reação de oxigenase no solo. Muita efervescência ou formação de bolhas ao se colocar a água oxigenada numa amostra de solo úmido	2
10	Fauna do solo (minhocas, formigas, gafanhotos, aranhas, cupins etc.)	Ausência de qualquer indício da fauna do solo (canais, dejetos, resíduos orgânicos, etc.)	Já se encontram indícios da fauna do solo (canais, dejetos, resíduos orgânicos, etc.), sem a efetiva presença dos mesmos	Há pouca fauna do solo e indícios de sua presença	Há abundância de fauna do solo e fortes indícios de sua presença	1

**ANEXO A - Planilha utilizada para aplicação da metodologia de RAQS**

Nº	Indicadores	Descrição da vegetação				Peso
		0 (pobre)	1 (moderado)	2 (bom)	3 (ótimo)	
11	Índice da cobertura	Nenhuma cobertura (0 %)	Solo pouco coberto (	Cobertura intermediária (61 – 80 %)	Solo totalmente coberto por plantas saudáveis (>80 %)	3
12	Índice de diversidade	Nenhuma espécie	Predominância de uma única espécie	Variedade intermediária de espécies	Grande variedade de espécies, sem predomínio	2
13	Porte e estratificação	Nenhum estrato	Somente estrato herbáceo	Estratos herbáceo e arbustivo	Estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo	1
15	Sucessão na vegetação	Ausência de sucessão	Baixa ocorrência de espécies não introduzidas pelo homem	Ocorrência intermediária de espécies não introduzidas pelo homem	Ocorrência intensa de espécies não introduzidas pelo homem	1
16	Infestação de plantas daninhas	Ausência de plantas daninhas	Pouca quantidade e variedade de plantas daninhas	Quantidade e variedade intermediárias de plantas daninhas	Grande quantidade e variedade de plantas daninhas	1

**ANEXO A - Planilha utilizada para aplicação da metodologia de RAQS**

Nº	Indicadores	Descrição da Fauna				Peso
		0 (pobre)	1 (moderado)	2 (bom)	3 (ótimo)	
17	Fauna (anfíbios, répteis, aves e mamíferos)	Ausência de qualquer indício da fauna do solo (pegadas, penas, pêlos, ruídos, dejetos, etc.)	Já se encontram indícios da fauna do solo (pegadas, penas, pêlos, ruídos, dejetos, etc.) , sem a efetiva presença dos mesmos	Há pouca fauna no ambiente e poucos indícios de sua presença (pegadas, penas, pêlos, ruídos, dejetos, etc.)	Há abundância de fauna no ambiente e fortes indícios de sua presença (pegadas, penas, pêlos, ruídos, dejetos, etc.)	1