

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS FRANCISCO BELTRÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
LINHA DE PESQUISA: ANÁLISE AMBIENTAL

FÁBIO HENRIQUE LANZARIN

**DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM
NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO DE UMA PROPRIEDADE RURAL FAMILIAR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FRANCISCO BELTRÃO

2020

FÁBIO HENRIQUE LANZARIN

**DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM
NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE MANEJO DE UMA PROPRIEDADE RURAL FAMILIAR**

**DETERMINATION OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES
OF A DISTROPHERIC RED NITOSOL IN DIFFERENT MANAGEMENT
SYSTEMS IN A FAMILY RURAL PROPERTY**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Dr. Michelle Milanez Franca

FRANCISCO BELTRÃO

2020



Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão
DIRPPG / Rodrigo Lingnau / PPGEA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental



FOLHA DE APROVAÇÃO

DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE UMA PROPRIEDADE RURAL FAMILIAR

por

FÁBIO HENRIQUE LANZARIN

Esta Dissertação foi apresentada em 04 de setembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dra. Michelle Milanez Franca. UTFPR – Francisco Beltrão
Professora Orientadora

Dr. Davi Zacarias de Souza. UTFPR – Francisco Beltrão
Membro titular

Dr. André Luiz Lopes de Faria. Ufv – Viçosa Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação PPGEA -

Dedico este trabalho a minha filha Maria Eduarda, a toda minha família e amigos que juntos a mim compartilham alegrias e tristezas, vitórias e derrotas pois amar é enfrentar as dificuldades e sucessos da vida de mãos dadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que nos acompanhou nesta jornada.

Aos meus pais Neozildo e Carmem por terem me dado a vida, me ensinado valores inestimáveis e por todo o apoio incondicional as minhas escolhas.

Aos meus queridos orientadores Michelle Milanez Franca e Davi Zacarias de Souza por todo o conhecimento passado a mim, pela paciência e dedicação ao ensinar.

Aos meus irmãos Simone e Ronaldo pelas palavras de incentivo e por todo o apoio prestado.

A minha amada esposa Raiana Ribeiro e a minha linda filha Maria Eduarda pelos momentos de descontração, palavras de conforto e por toda a colaboração.

Gostaria de agradecer também à UTFPR que através dos editais nº 01/2018 - PPGA e Edital nº 01/2019 - PPGA pleiteou, com recursos próprios, 21 meses de bolsas, o que possibilitou dedicar-me integralmente a pesquisa. Desta maneira presto meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para o presente trabalho.

RESUMO

Os usos e manejos inadequados do solo podem alterar suas propriedades físicas e químicas comprometendo a conservação da qualidade do solo e especialmente a produção de alimentos. O descaso com sistemas de drenagem pluvial, alta intensidade de pastejo e a falta de matéria orgânica ocasionam disfunções indesejáveis nas qualidades químicas e físicas do solo e assim consequentemente prejudicam a sustentabilidade da produção agropecuária. O presente trabalho apresenta a aplicação de métodos de caracterização física e química dos solos, de forma a obter dados sobre possíveis alterações destes parâmetros em decorrência da aplicação de diferentes usos e manejos em um Nitossolo Vermelho distroférico. O estudo foi conduzido em uma propriedade rural familiar de referência no interior do Estado do Paraná, região onde é comum os imóveis rurais se configurarem desta forma. Foram coletadas amostras em seis tipos de manejo agrícola: pastagem anual PA, pastagem permanente para bovinocultura leiteira PP, produção de milho para silagem e feijão para grãos MF, reflorestamento com eucalipto RE, produção de soja SJ e pastagem permanente para ovinocultura e caprinocultura de corte CO. As amostras destes solos foram submetidas a análises químicas de rotina e análises físicas de umidade, densidade, estruturais e de granulometria. Assim foram constatadas alterações nos parâmetros químicos entre as diferentes áreas em decorrência das particularidades de manejo adotado sendo a área SJ a que mais apresentou discrepâncias estatísticas em relação às demais sobretudo nos parâmetros químicos que são mais afetados pela erosão como pH, MO e AI. As áreas de pastagem PP, PA e CO no geral apresentaram valores similares de qualidade química sendo PA a que mais diferiu das demais especialmente em parâmetros influenciados pela intensidade e regime de pastejo, pelo revolvimento do solo e pelo manejo da pastagem. Em relação as qualidades físicas do solo, as diferentes áreas apresentaram similaridade na maioria dos parâmetros pois estes são naturalmente mais resistentes a alterações e fortemente ligados a origem do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo do solo. Fertilidade natural. Qualidade física.

ABSTRACT

The improper use and management of the soil can alter its physical and chemical properties, compromising the conservation of soil quality, especially for food production. The neglect with rain drainage systems, high grazing intensity and the lack of organic matter cause undesirable dysfunctions in the chemical and physical qualities of the soil and, consequently, harming the sustainability of agricultural production. The present work presents the application of methods of physical and chemical characterization of soils, in order to obtain data on possible alterations of these parameters due to the application of different uses and managements in a Nitossolo Vermelho distroférico. The study was conducted on a family farm of reference in the interior of the State of Paraná, a region where it is common for rural properties to be configured in this way. Samples of a Nitossolo Vermelho distroférico were collected in six types of agricultural management: annual pasture PA, permanent pasture for dairy cattle PP, corn and bean silage MF, reforestation with eucalyptus RE, soybean production SJ and permanent pasture for beef sheep and beef goats CO. The samples of these soils were subjected to routine chemical analysis and physical analysis of moisture, density, structural and granulometry. Thus, changes were observed in the chemical parameters between the different areas due to the particularities of management adopted, with the SJ area being the one with the most statistical discrepancies in relation to the others, especially in the chemical parameters that are most affected by erosion, such as pH, MO and Al. Grazing areas PP, PA and CO in general showed similar values of chemical quality, with PA being the one that most differed from the others, especially in parameters influenced by the intensity and grazing regime, by the soil turning and pasture management. Regarding the physical qualities of the soil, the different areas showed similarity in most parameters because they are naturally more resistant to changes and strongly linked to the origin of the soil.

KEYWORDS: Soil management. Natural fertility. Physical quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de vossorocamento em um Nitossolo Vermelho.	13
Figura 2: Localização Município de Marmeleiro na mesorregião e no Estado do Paraná.....	20
Figura 3: Mapa das áreas de coleta.	21
Figura 4: Mapa de uso e ocupação da terra, curvas de nível e pontos de coleta.....	24
Figura 5: Fotografia da área de plantação de pastagem anual para pastejo em bovinocultura leiteira 2 semanas após o plantio da cultura de verão.	25
Figura 6: Fotografia da área de plantação de pastagem permanente para pastejo em bovinocultura leiteira.	26
Figura 7: Fotografia da área de plantio de milho para silagem e feijão.	27
Figura 8: Fotografia da parte aérea das plantas de eucaliptos.....	28
Figura 9: Fotografia das plantas e solo da área de plantação de eucaliptos.	29
Figura 10: Fotografia da área de plantação de soja para grãos.....	30
Figura 11: Fotografia da área criação de caprinos e ovinos de corte.	31
Figura 12: Extração de solo com trado holandês para análises químicas.	32
Figura 13: Secagem natural das amostras para análise textural.....	33
Figura 14: Cilindros de sedimentação e placas de Petri para determinação da granulometria do solo.....	36
Figura 15: Limpeza do material sobressalente ao volume dos cilindros (Anéis de Kopéki).....	42
Figura 16: Procedimento de determinação de limite de liquidez utilizando aparelho de Casagrande.....	45
Figura 17: Extração do bloco de solo para análise de índice de qualidade estrutural da amostra - IQEA.....	49
Figura 18: Dimensões do bloco de solo para análise de do índice de qualidade estrutural da amostra - IQEA.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Umidade atual média das áreas amostradas em base gravimétrica e volumétrica	57
Tabela 2: Comparação estatística entre as médias de densidade do solo em diferentes profundidades nas áreas com diferentes sistemas de manejo.	60
Tabela 3: Comparação estatística das médias de densidade do solo entre diferentes profundidades das áreas com usos distintos.....	61
Tabela 4: Comparação estatística das médias de densidade de partículas do solo entre os diferentes usos.	63
Tabela 5: Comparação estatística das médias de limite de liquidez do solo entre os diferentes usos.	64
Tabela 6: Comparação estatística das médias de limite de liquidez do solo entre os diferentes usos.	65
Tabela 7: Comparação estatística das médias de granulometria do solo entre os diferentes usos.	66
Tabela 8: Comparação estatística das médias de granulometria do solo entre os diferentes usos.	67
Tabela 9: Comparação estatística das médias de granulometria do solo entre os diferentes usos.	68
Tabela 10: Comparação estatística das médias de matéria orgânica (MO), fósforo (P) e potássio (K) do solo entre os diferentes usos.	69
Tabela 11: Comparação estatística das médias de Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn) do solo entre os diferentes usos.	71
Tabela 12: Comparação estatística das médias de acidez trocável (Al ³⁺), acidez potencial (H+Al), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e soma de bases (SB) do solo entre os diferentes usos.	75
Tabela 13: Comparação estatística das médias de potencial hidrogeniônico (Ph), índice SMP, V%, saturação por alumínio e CTC do solo entre os diferentes usos. ..	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ADD – Água deionizada e desaerada;

ANOVA – Análise de variância;

ATP – Trifosfato de adenosina;

CO – Caprinocultura e ovinocultura de corte em pastagem permanente;

CTC – Capacidade de troca catiônica;

DRES – Diagnóstico rápido de estrutura do solo;

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências;

LL – Limite de liquidez;

LP – Limite de plasticidade;

MF – Cultura de milho para silagem e feijão safrinha;

NADPH – Fosfato de dinucleótido de nicotinamida e adenina;

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio;

NVdf – Nitossolo Vermelho distroférico;

PA – Pastagem anual para bovinocultura leiteira;

pH – Potencial hidrogeniônico;

PP - Pastagem permanente para bovinocultura leiteira;

RE – Reflorestamento com eucalipto;

SB – Soma de Bases;

SC – Santa Catarina;

SMP - Shoemaker, Mac lean e Pratt;

TFSA – Terra fina seca ao ar;

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná;

UTM - Universal Transversa de Mercator;

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

Al – Alumínio;

Al³ – Alumínio III

B – Boro;

°C - Graus Celsius;

cm – Centímetros;

Ca – Cálcio;

Cl – Cloro;

Cu – Cobre;

“f” – Fator de correção de umidade;

Fe²⁺ – Ferro;

Fe²⁺ - Ferro II;

g – Gramas;

h – Hora;

ha – Hectare;

K – Potássio;

kPa – Quilo Pascal;

L – Litros;

m – Metros;

mm – Milímetros;

Mg – Magnésio;

mL – Mililitros;

Mn – Manganês;

Mo – Molibdênio;

mol – Quantidade subatômica;

N – Nitrogênio;

P – Fósforo;

R² - Fator de correlação;

SJ – Sojicultura;

TO – Tocantins;

V% - Saturação por bases;

Zn – Zinco;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	8
2.1 GERAL	8
2.2 ESPECÍFICOS	8
3 REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1 USOS DA TERRA.....	9
3.2 MANEJO DO SOLO	10
3.3 QUALIDADE FÍSICA DO SOLO	12
3.4 QUÍMICA E FERTILIDADE NATURAL DOS SOLOS	14
3.5 PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. ÁREA DE ESTUDO	20
4.2 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO.....	21
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA NAS ÁREAS DE COLETA	22
4.4 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA.....	23
4.4.1 Clima.....	23
4.4.2 Geologia e Pedologia.....	23
4.4.3 Manejos.....	25
4.4.3.1 Pastagem anual para bovinocultura leiteira (PA)	25
4.4.3.2 Pastagem permanente para bovinocultura leiteira (PP)	26
4.4.3.3 Cultura de milho para silagem e feijão (MF)	27
4.4.3.4 Reflorestamento de Eucalipto (RE).....	28
4.4.3.5 Plantação de soja para grão (SJ).....	30
4.4.3.6 Criação de caprinos e ovinos para corte (CO)	30
4.5 MÉTODO DE AMOSTRAGEM	31
4.5.1 Amostragem para análises físicas.....	31
4.5.2 Amostragem para análises químicas	32
4.6 ANÁLISES LABORATORIAIS FÍSICAS.....	33
4.6.1 Análise textural.....	33
4.6.2 Análise granulométrica.....	34
4.6.3 Umidade atual	39
4.6.4 Umidade residual e fator “f”	40
4.6.5 Densidade do solo	41
4.6.6 Densidade de partículas	43

4.6.7 Limite de Liquidez.....	44
4.6.8 Limite de Pegajosidade.....	47
4.6.9 Diagnóstico rápido de estrutura do solo (DRES)	48
4.7 ANÁLISES QUÍMICAS	52
4.8 DELINEAMENTO E ANÁLISES ESTATÍSTICAS	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1 FÍSICA DO SOLO	57
5.1.1 Umidade atual e fator “f”	57
5.1.2 Densidade do solo	60
5.1.3 Densidade de partículas	63
5.1.4 Limite de liquidez	64
5.1.5 Limite de pegajosidade.....	65
5.1.6 Granulometria	66
5.1.7 Frações granulométricas de terra fina, cascalho e calhaus	67
5.1.8 Diagnóstico rápido de estrutura do solo - DRES.....	68
5.2 ANÁLISES QUÍMICAS	69
5.2.1 Matéria orgânica (MO), Fósforo (P) e Potássio (K)	69
5.2.2 Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn).....	71
5.2.3 Acidez trocável (Al ⁺³), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e soma de bases (SB)	75
5.2.4 Potencial hidrogeniônico (pH), índice SMP, V%, saturação por alumínio e CTC.....	76
6 CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios os solos são base para o surgimento e evolução de inúmeras espécies vivas inclusive os seres humanos. Inicialmente pela coleta e caça nossos ancestrais conseguiam os insumos para sua subsistência e quando exaurida a capacidade do local onde se estabeleceram, migravam para outro. Há muita controvérsia no mundo acadêmico quanto as circunstâncias e motivações pelo qual os povos optaram por produzir seus insumos ao invés de somente buscá-los na natureza, porém é consensual que com o passar do tempo a relação do homem com o solo foi estreitando-se cada vez mais (BARBIERI, 2008; FELDENS, 2018).

De acordo com Ratzel (2011), historicamente, desde que as populações passaram a cultivar os solos, também estabeleceram uma ligação que duraria até os dias atuais e quando deparados com a necessidade crescente de mantimentos o homem acabou por empreender uma busca contínua na compreensão dos elementos envolvidos na produção.

A desinformação e a necessidade de maior produção, proporcionaram durante a história da agricultura incontáveis quadros de degradação e contaminação de recursos naturais, especialmente durante e ligeiramente após a revolução industrial devido a diminuição da mão de obra no campo forçando ainda mais o emprego de práticas e manejos muitas vezes impróprios ao determinado solo e/ou clima das áreas (MUGGLER, 2006; LEPSCH, 2016).

No Brasil, devido ao fato de ter sido colonizado e conseqüentemente povoado majoritariamente por imigrantes europeus, recebeu inicialmente técnicas de cultivo tradicionalmente empregadas neste continente. Porém, devido ao clima brasileiro ser predominantemente tropical, com o passar do tempo foi observado que estas técnicas não se harmonizavam com o ambiente de cultivo além de em muitos casos ocasionar profunda degradação do solo (JÚNIOR, 2015).

Entretanto, mesmo diante desses inconvenientes estas técnicas tornaram-se obsoletas. A agricultura brasileira sofreu grande influência da chamada “Revolução Verde” encabeçada pelo grupo econômico Rockefeller em

meados da década de 70 em que se fundamentava na mecanização agrícola, aplicação de agroquímicos e na engenharia genética (GERHARDT, 2016).

Assim, com o passar dos anos estabeleceu-se no Brasil conceitos próprios de cultivo como por exemplo o plantio direto na década de 70, trazendo consigo inúmeros benefícios. Em contraponto acabaram surgindo também problemas singulares de manejo que em muitos casos levam à geração de passivos ambientais desafiando assim os cientistas e pesquisadores até os tempos atuais (DUTRA, 2017).

Portanto há a necessidade do entendimento científico contínuo das complexidades dos presentes e potenciais problemas envolvendo os diferentes usos e manejos aplicados nos diferentes tipos de solos buscando conhecer os efeitos de suas interações (BRIZZI, 2019)

Desta forma o estudo da qualidade dos solos apresenta-se como alternativa para ajudar a sanar dúvidas e arquitetar estratégias de melhorias no setor agrícola com vistas tanto para a eficiência no desenvolvimento da produção, quanto para a sustentabilidade ambiental da atividade (BITAR, 2017).

Neste contexto, o presente trabalho visou levantar e avaliar as características químicas e físicas de um Nitossolo Vermelho distroférico submetido a diferentes sistemas de manejo, em uma propriedade familiar rural localizada no município de Marmeleiro - PR.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Determinar a influência do manejo agrícola do solo sobre as propriedades físicas e químicas de um Nitossolo Vermelho distroférico.

2.2 ESPECÍFICOS

- Identificar e caracterizar o manejo do solo em cada área;
- Determinar as características físicas e químicas do solo nos diferentes manejos;
- Analisar a influência dos manejos nas características do solo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 USOS DA TERRA

De acordo com Bertoni (2008) e Lepsch (2016) o fundamento das primeiras civilizações contribuiu para que estudos de solos fossem utilizados na agricultura. Inicialmente, as primeiras lavouras caracterizaram-se como exploratórias pois não havia conhecimento das consequências de uma falta de planejamento rural. Como consequência, também não existiam preocupações em relação à conservação de solos. Isso por vezes causou desequilíbrios ambientais causados por práticas inadequadas de manejo o que propiciou a ação de agentes erosivos em diferentes escalas, baixa fertilidade natural, contaminação e até a desertificação das áreas utilizadas.

Com a revolução industrial, grande parte da população remanescente do campo migrou para os centros urbanos onde permaneciam em busca de melhores condições de vida. Aliado a isso, o advento da mecanização agrícola e o início da utilização de agroquímicos que se deu após a segunda guerra mundial facilitaram o cultivo de forma extensiva dos solos (SERRA, 2016).

No Brasil, a mecanização começou a ser implantada entre a década de 50 e 60 especialmente nas atividades de destoca e preparo do solo. Posteriormente, na década de 70, a adoção do manejo de plantio direto trouxe alguns avanços em relação à conservação dos solos, pois permitiu que se fizesse a semeadura das culturas sem necessidade de revolvimento do substrato, retardando a ação dos agentes erosivos (LEPSCH, 2016).

Porém, segundo Anestar (1987) e de Freitas (2017) os solos quando cultivados tendem a sofrer mudanças em suas propriedades químicas, físicas e biológicas podendo apresentar desequilíbrios entre estas características levando-o muitas vezes a degradação a qual sua velocidade varia conforme o tipo de solo, clima e especialmente como é desenvolvido o manejo em determinada área.

Estes desequilíbrios do ecossistema fazem com que os solos passem a ficar mais expostos aos agentes físicos naturais e antrópicos, antes atenuados pela mata. Assim o vento e a chuva, incidindo sob o solo nu intensificam significativamente os processos erosivos e em solos argilosos,

como no caso deste estudo, podem transformar a montmorilonita “argila rica” em “argila pobre”, caulinita e até gibsita ocasionando assim a queda de sua fertilidade, sobretudo em climas tropicais onde este fenômeno é mais afeito (PRIMAVESI, 2002; SOARES FILHO, 2015).

Com o avanço da tecnologia relacionada aos estudos do solo percebeu-se que estas alterações podiam variar de acordo com o tipo de atividade desenvolvida, com o clima e com o tipo de solo onde são implementadas, relacionando-se assim de maneira complexa entre si, que em resposta oferecem modificações diversas de seus parâmetros químicos e físicos (GUSMÃO FILHO, 2016).

Portanto, o conhecimento destas respostas que o solo revela em função do tipo de sua utilização permite a adequação de determinada exploração humana ao tipo de solo que obtenha melhores respostas produtivas. Nos dias de hoje, com a crescente preocupação relacionada as causas ambientais, isto pode ser aplicado também visando a redução dos impactos ambientais e da sustentabilidade produtiva (VIEIRA FILHO, 2016).

No entanto a adequação das atividades ao tipo de solo nem sempre é possível, já que depende de diversos fatores geoeconômicos e demandas territoriais que tornam este processo inviável. Assim, a maneira encontrada para tentar reduzir este problema foi fazer o caminho inverso, ou seja, adaptar a produção do tipo de cultura desejada as condições de solo e clima locais (PÉREZ, 2016).

Assim foram surgindo diversificações na maneira de produzir a mesma cultura e a isto foi chamado de manejo agrícola. Este ainda se apresenta como um desafio aos técnicos que devem buscar a evolução destes manejos no entendimento de seus efeitos ambientais e nas técnicas modernas de produção (ERTHAL, 2018).

3.2 MANEJO DO SOLO

O setor agropecuário no Brasil representa uma significativa fonte de renda, além de ser um dos principais setores contribuintes do Produto Interno Bruto – PIB nacional. Porém, frequentemente o uso de manejos inadequados tem agravado os impactos ambientais ocasionando a perda da diversidade

biológica, aceleração das mudanças climáticas e alterações no ciclo hidrológico (MACHADO, 2004; CASTRO, 2016).

O manejo do agrícola deve ser baseado no potencial produtivo do solo de maneira que para a adequação deste manejo é necessário considerar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo visando a boa produtividade no tempo presente e que, também a manutenção de sua fertilidade para a produção futura (VEZZANI, 2015).

Os sistemas de manejo do solo compreendem formas diversas de preparo do mesmo à implantação de diferentes culturas. Desta maneira existem também diversas operações de condução dos sistemas de manejo como na semeadura, adubação, controle de plantas invasoras, drenagem da água pluvial, e na conservação do solo (CASTILHO, 2017).

Durante muito tempo o chamado preparo convencional do solo foi o manejo dominante na agricultura onde empregava o revolvimento do solo como forma de controle de plantas daninhas e condicionamento da física do solo à cultura. Porém, com a expansão agrícola foi observado que este método não se adequava a todas as condições ambientais sendo que em determinados agro ecossistemas este ocasionava sérios problemas especialmente relacionados a erosão, então na tentativa de sanar estes problemas foram surgindo outros tipos de manejo como o preparo reduzido, o cultivo mínimo e, mais recentemente, o plantio direto (SANTANA, 2018).

Atualmente a forma de manejo que predomina nas áreas agrícolas do Brasil é a do plantio sendo que as demais ainda existem, porém mais restritas a culturas que não podem ser adaptadas a esse tipo de plantio. Assim, conceitua-se que o plantio direto revolucionou a agricultura de forma que um dos principais problemas no cultivo que era a erosão pudera ser amenizado consonantemente com a redução nos custos de produção (JUNIOR, 2015).

Desta forma para minimizar os efeitos da degradação ambiental sobre o solo é indispensável realizar o planejamento das atividades de produção agropecuária de acordo com sua aptidão, manejando-os em concordância com suas vulnerabilidades e potencialidades por meio de tecnologias e sistemas de informações inteligentes que abordem variáveis agro ecológicas e agro econômicas da determinada região (PRADO, 2010).

3.3 QUALIDADE FÍSICA DO SOLO

A qualidade física do solo é um parâmetro de avaliação fundamental no entendimento do seu comportamento ao ser utilizado para a produção agropecuária, pois, esta permite evidenciar em suas propriedades os efeitos gerados pelos manejos utilizados (REINERT, 2006; STEFANOSKI, 2013).

De acordo com da Cunha, (2011) geralmente em áreas que possuem Nitossolo Vermelho e clima tropical ou subtropical úmido há a presença de vegetação natural de médio a grande porte como por exemplo florestas ombrófilas mistas. Estas áreas sendo usadas para práticas agropecuárias estão sujeitas a alterações em suas características físicas do solo imediatamente após ser feita a retirada da vegetação nativa que proporciona sua exposição à ação do sol, do vento e da chuva fazendo com que ocorram disfunções em sua dinâmica hídrica natural.

A ordem dos Nitossolos ocorre em cerca de 15% do território paranaense aparecendo principalmente nas regiões oeste, norte e sudoeste do estado. A atenção quanto a degradação do solo sobretudo em se tratando de Nitossolos vermelhos deve ser especial, pois estes são geralmente explorados de maneira intensiva para uso agrícola devido a sua característica de fertilidade. Como ocorrem tipicamente em terrenos declivosos isso os torna consideravelmente mais susceptíveis a agentes erosivos quando comparadas a Latossolos, por exemplo (LIMA, 2012).

Aliado ao fato de que as espessuras do horizonte superficial dos Nitossolos são sempre inferiores às encontradas nos Latossolos de modo que enquanto nos Latossolos identificam-se predominantemente espessuras do horizonte superficial entre 30 a 50 cm, nos Nitossolos estas espessuras são bem mais afiladas variando entre 15 a 30 cm (CURCIO, 2016).

Além disso, tipicamente o horizonte nítico presente neste solo é considerado mal drenado, ou seja, possui permeabilidade reduzida em função da organização em blocos de sua estrutura. Sabe-se também que seu horizonte mais superficial possui estrutura granular que é mais propenso a erosão hídrica do que o horizonte nítico. Esta condição, portanto, favorece ainda mais a formação de sulcos profundos e voçorocas como apresentado na Figura 1 (CORREA, 2014).

Figura 1: Processo de vossorocamento em um Nitossolo Vermelho.



Fonte: Curcio (2019).

Além da pré-disposição destes solos a erosão, quando estes são cultivados apresentam risco de surgimento de inúmeros fatores que podem potencializar este processo como a compactação, má gestão da água pluvial, estratégias de usos da terra inadequadas e manejos agropecuários inadaptados (VEIGA, 2005).

A erosão hídrica nestes casos traz consigo grandes prejuízos ao produtor rural e ao meio ambiente pois a enxurrada leva consigo grande quantidade de nutrientes, fertilizantes e material particulado fazendo com que haja queda na fertilidade do solo e abertura de sulcos que atrapalham a produção além de contribuir para o assoreamento e eutrofização de corpos hídricos próximos (NETTO, 2017).

Desta forma é possível estimar a qualidade de um solo para o crescimento de plantas a partir de propriedades, atributos ou condições do próprio solo e que interferem no desenvolvimento das plantas podendo ser classificada como sendo boa, ruim, alta, baixa ou média para um determinado fim com critérios e limites pré-definidos (REICHERT, 2003).

A busca por melhores resultados na produção agrícola faz com que os técnicos e cientistas aprofundem-se cada vez na busca pelo conhecimento

dos efeitos que as qualidades físicas do solo causam as plantas para que seja possível o desenvolvimento de tecnologias capazes de promover potencialização da produtividade (CRUSOÉ ROCHA, 2008).

3.4 QUÍMICA E FERTILIDADE NATURAL DOS SOLOS

Dentre os fatores fundamentais para a manutenção da funcionalidade do solo estão as características químicas deste, sendo esta estrutura química do solo construída em grande parte pela matéria vegetal presente na superfície, organizando-o quimicamente pela capacidade da vegetação em atuar no fluxo de matéria e energia do solo, permitindo ou não a manutenção de suas propriedades químicas (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009; RODRIGUES & ARROBAS, 2017).

Em condições naturais estas propriedades podem variar quantitativamente entre diferentes tipos de solo de acordo com as características herdadas da rocha mãe e serem influenciadas por fatores como condições climáticas, relevo e pela biota habitante (LEPSCH, 2016).

Na utilização do solo para fins agrícolas o ambiente natural obrigatoriamente sofre interferências antrópicas para que se torne possível a produção sendo tradicionalmente a retirada da vegetação natural umas das primeiras ações a serem executadas. Com isso logo no começo deste ciclo as características químicas do solo são alteradas pois sua superfície por vezes protegida pela vegetação e por uma camada de matéria orgânica é exposta aos intemperes atmosféricos fazendo com que os elementos tenham uma interação até então adversa com estes fatores (LOPES, 2007).

Ainda segundo o mesmo é desta forma que a fertilidade natural do solo é desarranjada e então adaptada para a determinada cultura que se deseja produzir. Isto pode ser feito através da adição de fertilizantes, compostos calcários, intervenções físicas como aragem e gradagem, adubação verde entre outros.

Desta forma, dependendo dos modos de lidar com a fertilidade do solo dentro de um agro ecossistema formado, podem ser variadas as respostas surtidas seja na produção da determinada cultura, nos níveis de nutrientes do solo, na microfauna ou em suas propriedades físicas (FAVARATO et.al., 2019).

Isto foi evidenciado por Portugal, (2008) que trabalhando em um Cambissolo na região de Minas Gerais percebeu a ocorrência de diferenças nos teores de nutrientes minerais entre diferentes usos da terra. Essas diferenças foram causadas por vários fatores, entre eles, a exportação dos nutrientes pelos frutos colhidos nas áreas sob uso intensivo sendo superior de que em áreas onde o uso é menos intensivo.

Outro exemplo é o de Cavalcante et al. (2007) que trabalhando com um Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado observou que ocorrem distinções nos teores de K, Ca, Mg e V%, das áreas de pastagens para os sistemas de plantio direto e convencional. Nesta ocasião constatou que nos sistemas convencional e de plantio direto as quantidades dos nutrientes nas profundidades 0,1 e 0,2 m, são superiores que nas áreas de pastagem, devendo-se, especialmente ao aporte de fertilizantes químicos realizados nas áreas de lavouras de grãos.

Portanto o conhecimento das propriedades químicas do solo em áreas de produção agrícola é ferramenta fundamental para o desenvolvimento de um manejo mais acertado do solo em que se está trabalhando, evitando o depauperamento do solo, que pode prejudicar tanto o produtor como as futuras gerações e potencializando os índices de produção vegetal (LEPSCH, 2016).

Desta forma, é importante ressaltar a existência dos macro nutrientes primários no solo que são constituídos pelos elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), formam o tripé vital de desenvolvimento das plantas e nestas atuam cada um com suas especificidades sendo o Nitrogênio responsável pela formação de proteínas e bom desenvolvimento de brotos e folhas, o Fósforo como componente estrutural exigido na produção de energia (ATP) e (NADPH) responsável também pela floração e frutificação e o potássio pela regulação osmótica e componente da estrutura das célula fortalecendo os tecidos vegetais (TAIZ, 2017).

Os elementos chamados micronutrientes essenciais por sua vez são constituídos pelo zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), boro (B) e cloro (Cl). Destes os mais relevantes para áreas de produção agropecuária são Cu, Fe, Zn e Mn, pois, os demais podem ser utilizados pelas plantas apenas em concentrações muito menores quando comparados a estes e, portanto, acabam por ser indiretamente disponibilizados

as plantas até mesmo durante a adição de macro nutrientes como cloreto de potássio e sulfato de amônia ou pelas próprias características do material de origem do solo como é o caso do Nitossolo Vermelho que é oriundo de basalto sendo assim mais rico em micronutrientes variando conforme seu grau de intemperização (HANSEL, 2016).

O Cobre (Cu) tem envolvimento nos processos de fotossíntese, respiração, redução e fixação de nitrogênio das plantas sendo assim essencial no desenvolvimento das mesmas especialmente em leguminosas onde atua no interior dos nódulos radiculares responsáveis por suprir a necessidade de nitrogênio da planta (SIQUEIRA, 2016).

O Ferro (Fe) se manifesta nos solos na forma de óxidos primários como a hematita e magnetita podendo ocorrer deficiência mesmo em solos com elevados conteúdos de Fe, pois pequena proporção permanece solúvel na forma iônica absorvível pelas plantas que é Fe^{2+} . Este atua na composição ou ativação de enzimas, na fixação de nitrogênio, em catalisações na biossíntese da clorofila e no desenvolvimento de troncos e raízes das plantas (VILELA, 2019).

O Manganês (Mn) por sua vez atua na síntese da clorofila influenciando no metabolismo energético das plantas de maneira que a deficiência desde elemento pode levar a diminuição da fotossíntese e com isso o retardamento de sua produção vegetal (SANTOS, 2017).

A acidez do solo e a toxidez por Al tem efeitos negativos na produção agrícola e podem ser ocasionados por vários fatores como erosão, baixos teores de matéria orgânica, sistemas de produção intensivos, exportação e lixiviação de bases trocáveis e pelo próprio manejo da fertilidade do solo, com a aplicação de fertilizantes com efeito acidificante (HALISKI, 2018).

Porém, os solos também podem ser naturalmente ácidos em virtude da carência do material de origem em cálcio, magnésio, potássio e sódio (bases trocáveis) ou à intensidade dos processos de intemperização, podendo resultar em elevados teores de hidrogênio e alumínio na solução do solo, contudo este não é o caso do Nitossolo Vermelho distroférico (COSTA, 2018).

A soma de bases trocáveis (SB) de um solo representa a soma dos teores de cátions permutáveis excetuando H^+ e Al^{3+} e assim indica o número de cargas negativas dos coloides que está ocupado por bases que são um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo (CASTILHO, 2017).

Desta forma a saturação por bases no solo é formada pelos elementos Ca, Mg e K, sendo os dois primeiros considerados macro nutrientes e passíveis de aplicação por calagem com calcário dolomítico em aplicações esporádicas conforme a necessidade de cada solo (FACTOR et.al., 2018).

Ainda segundo o mesmo, o pH do solo pode variar de acordo com o material de origem do solo podendo ser mais ácido ou tender a neutralidade dependendo da composição da rocha mãe. Porém quando em áreas antropizadas este parâmetro também pode variar de acordo com o manejo desenvolvido.

De acordo com Puga (2016), o índice SMP é uma sigla que homenageia os nomes de seus criadores (Shoemaker, Mac lean e Pratt) e é usado para analisar e corrigir a acidez do solo de modo que quanto maior for o seu valor menor será seu poder tampão e com isso menores doses de calcário são necessárias para atingir o pH desejado conforme apresentado no Quadro 4 do Anexo III.

A expressão V% refere-se a percentagem em que a solução do solo encontra-se saturada por bases, ou seja, o valor encontrado neste parâmetro expressa quanto por cento dos pontos de troca de cátions do solo (cargas negativas a pH 7,0) estão ocupados por cátions básicos como Ca, Mg, Na e K equiparados aos pontos ligados ao Al e ao H. Este parâmetro também pode ser usado para estimar a fertilidade do solo de maneira que em valores <50 o solo é considerado de baixa fertilidade, de 51 a 70 média, de 71 a 79 alta e >80 de muito alta fertilidade (PAULETTI & MOTTA, 2017).

O teor de alumínio trocável naturalmente presente no solo pode variar de acordo com teor de argila de maneira que quanto maior o teor de argila maior também será o teor de alumínio. Por se tratar de um Nitossolo Vermelho o solo em estudo possui um alto teor de argila, neste caso o alumínio é parte integrante e predominante (DORTZBACH, 2017).

Quando a argila é decomposta, há a liberação do Al^{+3} das camadas octaédricas e este pode permanecer na superfície em forma trocável ou passar para a solução do solo. Se o alumínio for absorvido pela planta, pode alterar sua fisiologia e morfologia assim podendo ocasionar toxicidade a mesma. Porém, se o alumínio trocável não ultrapassar a porcentagem dos cátions existentes na CTC efetiva este pode não ser maléfico (SCHROEDER, 2017).

A CTC por sua vez representa a quantidade total de cátions retidos à superfície eletricamente carregada do solo em condição permutável. As argilas minerais, as substâncias húmicas e os óxidos de ferro e alumínio possuem determinada superfície de troca e são os principais coloides responsáveis pela CTC dos solos sob condições tropicais (CUNHA, 2015).

Em um estudo realizado em três propriedades rurais de Rondônia, Rudnick (2015), constatou que os níveis de CTC dos solos estudados considerando a mata como referência, foram alterados de acordo com o manejo utilizado sendo os teores de matéria orgânica afetados primeiramente devido a alteração da vegetação original.

As pastagens brasileiras somam 200 milhões de hectares, estima-se que destes, 130 milhões de hectares possuem algum tipo de degradação necessitando de intervenção para reverter o quadro em que se encontram (EMBRAPA 2019). A degradação química destes solos tem sido um fenômeno bastante recorrente, tendo início pela falta de reposição de nutrientes exportados pelos animais, volatilizados, lixiviados ou carregados pela erosão (MACEDO et al., 2013).

No ecossistema de uma pastagem ocorrem várias formas de exportação de nutrientes, a maioria dessas perdas são desencadeadas por algum equívoco no manejo dessas áreas, ou seja, podem ser minimizados ou até em alguns casos totalmente cessadas com a utilização de boas práticas de manejo. Se for levada em conta apenas a exportação de nutrientes pelos animais como canal de saída de nutrientes desse sistema em relação às saídas indevidas que podem ocorrer por manejos inadequados esta é pouco significativa pois de 70 a 95% dos nutrientes ingeridos pelos animais via pastagem retornam ao solo, tanto na forma de urina quanto de fezes (Souza et al., 2018).

Junior et al. (2002) também realizou observações neste sentido e afirma que quando adotados manejos adaptados à realidade do agro ecossistema os sistemas de produção baseados no pastejo podem se tornar quase autossustentáveis com baixa demanda por fertilizantes para repor as quantidades de nutrientes exportadas pelos animais, corroborando para a diminuição dos impactos ambientais e do custo de produção.

3.5 PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Mendonça (2015), em seu estudo, levantou os principais aspectos inerentes aos manejos de reforma e recuperação de pastagens mais utilizadas no Brasil constatando então que os sistemas de integração pastagem com agricultura e ou floresta, trazem outros benefícios quando comparados aos manejos a pleno sol. Alguns exemplos citados pelo autor foram a melhoria da conservação do solo e dos recursos hídricos, o aumento da biodiversidade e do conforto animal além da diversificação da renda da propriedade que pode ser compensada pelas demais culturas.

Benefícios similares também podem ser obtidos em outras atividades agrícolas através da adaptação do manejo as condições de solo e clima locais. Junior (2019) estudando o cultivo de mandioca no município de Araguantis em TO constatou que a adubação verde por feijão-de-porco apresentou melhores resultados de produtividade na colheita de mandioca de que quando comparado ao plantio convencional tradicionalmente empregado além de promover a cobertura e assim auxiliando no controle a erosão e a ervas espontâneas, nas condições edafoclimáticas locais.

O plantio direto sem dúvidas foi um divisor de águas na produção de grãos especialmente em climas tropicais, porém as diversidades de relevos, tipos de solos e índices pluviométricos tidas em países como o Brasil levam os produtores a busca pelo aperfeiçoamento de manejos alternativos que corroborem com esta técnica.

Isto foi evidenciado por Ravelli (2016) ao realizar o consórcio de *Brachiaria ruziziensis* em um sistema de plantio direto no cultivo de milho para produção de grãos em Jaboticabal SP onde obteve os melhores resultados de cobertura de massa seca e maior produtividade de grãos de milho quando comparados aos métodos empregados historicamente na propriedade.

Portanto, é notória a relevância da existência de estudos que pesquisem acerca dos efeitos dos manejos agrícolas nos elementos de um determinado agro ecossistema pois estes possibilitam identificar possíveis potenciais de melhoria tanto na produção quanto na esfera ambiental

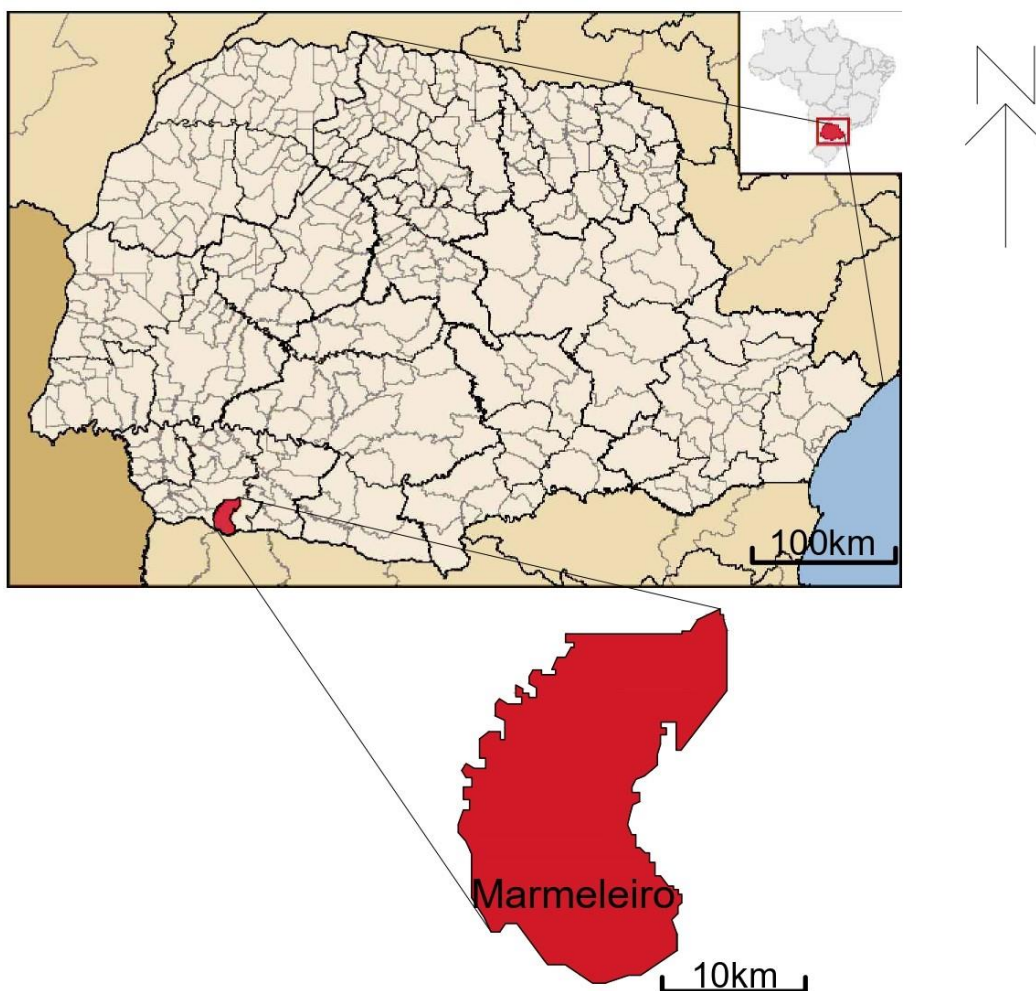
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O solo objeto da análise foi coletado em uma propriedade localizada na zona rural do Município de Marmeleiro no Estado do Paraná (UTM Latitude S 7091876.24 m Longitude E 290880.87 m Zona 22J).

A cidade encontra-se a aproximadamente 500 km da capital, Curitiba. A ligação de Marmeleiro com a capital é realizada através da rodovia federal BR – 372 (ligação principal), rodovia federal BR – 277 e rodovia federal BR – 280. Municípios limítrofes de Marmeleiro são Francisco Beltrão, Renascença, Flor da Serra do Sul e Campo Erê - SC. A Figura 2 mostra a localização da Cidade de Marmeleiro no estado do Paraná.

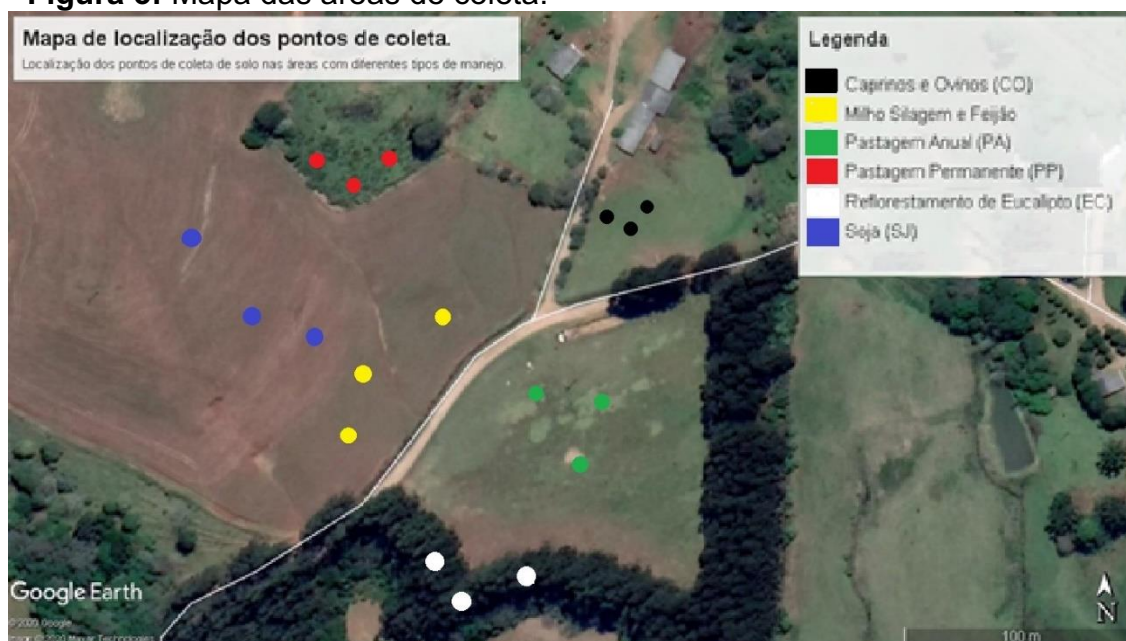
Figura 2: Localização Município de Marmeleiro na mesorregião e no Estado do Paraná.



Fonte: Autor, 2020.

Os pontos de coleta situam-se em um solo descrito e caracterizado morfologicamente como Nitossolo Vermelho distroférico onde são desenvolvidos diferentes usos agropecuários com diferentes formas de manejo. Estes são caprinocultura e ovinocultura em pastagem permanente (CO), pecuária leiteira em pastagem anual (PA), pecuária leiteira em pastagem permanente (PP), cultura de milho para silagem e feijão safrinha (MF), sojicultura (SJ) e reflorestamento com Eucalipto (RE). Estas áreas podem ser observadas no mapa da Figura 3.

Figura 3: Mapa das áreas de coleta.



Fonte: Autor, 2020.

4.2 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Os exames de campo são fundamentais durante a coleta de dados pois, além da possibilidade de revelarem dados difíceis de se observar em laboratório, ainda podem ajudar a justificar os resultados obtidos nessas outras análises de forma a complementarem-se.

Portanto, primariamente, a fim de identificar e descrever os horizontes do solo em análise, com o auxílio de um trator equipado com lâmina frontal, um enxadão e uma pá, aproveitando um corte de estrada já existente foi realizada a abertura de uma trincheira em um local representativo da tipologia do solo em estudo, com tamanho de 2 metros profundidade por 1,2 metros de

largura, suficiente a possibilitar a avaliação de suas características morfológicas, conforme recomenda Santos, 2005.

Na sequência o perfil foi examinado separando os horizontes e sub-horizontes, diferenciando-os pela variação perceptível de suas características morfológicas como cor, textura, estrutura, consistência, cerosidade e coesão conforme o Manual de Descrição de Solos.

Foram observados e anotados a profundidade e descrição de cada horizonte apontando a possível presença de raízes, atividade biológica, presença de linhas de pedra, concreções ou nódulos e qualquer informação relevante constatada.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO USO DA TERRA NAS ÁREAS DE COLETA

Após o solo ser classificado, observou-se os usos que são desenvolvidos na propriedade. Foram identificados 6 usos com mais de 10 anos de manejo regular e contínuo: Caprinocultura e Ovinocultura de corte (CO), Pastagem Anual para bovinocultura leiteira (PA), Reflorestamento com Eucalipto em área de preservação permanente (EC), produção de Milho para silagem integrada a produção de Feijão para colheita de grãos (MF), Sojicultura para colheita de grão (SJ) e Pastagem permanente para bovinocultura leiteira (PP).

Com os registros do histórico de uso dessas áreas, providos pelo proprietário, foi possível caracterizar os manejos com dados sobre o tipo de cultura, adubação, regime de pastejo, métodos de cultivo, práticas de conservação e tempo de manutenção do manejo.

Estas informações auxiliam no entendimento sobre a dinâmica dos diversos agentes que atuam sobre os parâmetros do solo em estudo os quais possivelmente tem reflexo direto em suas características químicas, físicas e biológicas.

4.4 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA

4.4.1 Clima

Segundo o sistema de classificação climática de Köpen a localidade em estudo está situada na faixa de transição entre as categorias Cfa (clima temperado húmido com Verão quente) e Cfb (clima temperado húmido com Verão temperado), pertencentes ao Subtipo Cf (clima temperado húmido sem estação seca) abrangido pelo Tipo C: Clima oceânico (clima das regiões oceânicas e marítimas e das áreas costeiras ocidentais dos continentes). Pelo sistema de classificação climática Thornthwaite a localidade pertence ao tipo B_{2r}B'a' e pelo sistema Camargo pertence a classe ST-PU, indicando através destes que a área de estudo pertence a um dos locais mais úmidos do estado com precipitação anual média de aproximadamente 1.800 mm/ano (APARECIDO, 2016).

A região caracteriza-se também por possuir estações anuais bem definidas com a temperatura média anual ficando entre os 18,1 e 19 °C, com a média das temperaturas mínimas absolutas anuais entre 6,1 e 7 °C e a média das temperaturas máximas absolutas durante o ano ficando entre 31,1 a 32 °C (WREGGE, 2012).

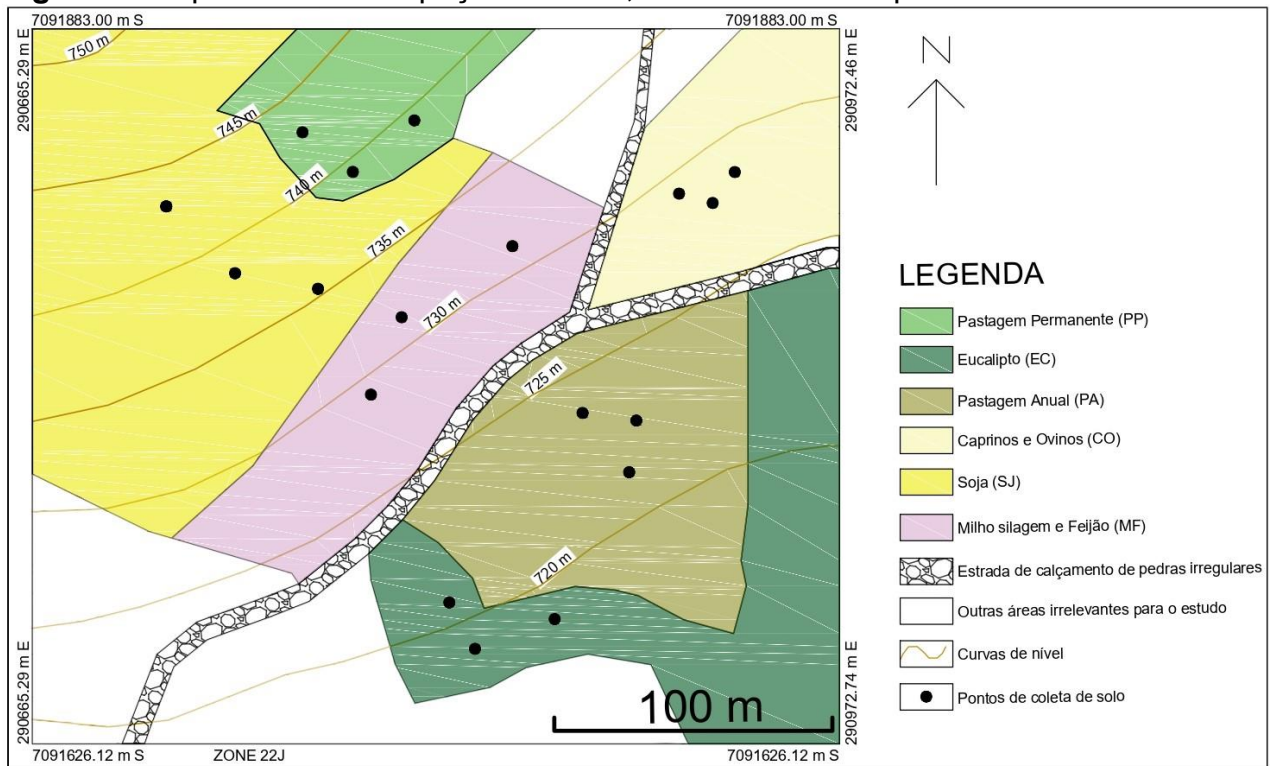
4.4.2 Geologia e Pedologia

De acordo com o ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências a região a área onde foi realizado o estudo possui tipicamente formações fitogeográficas aluviais e terras baixas com vegetação natural formada predominantemente por floresta ombrófila mista (ITCG, 2009). Os tipos mais comuns de solos encontrados na região são os Latossolos, Nitossolos e Neossolos (ITCG, 2008).

A área em estudo é abrangida por rochas do Éon Mesozoico. Pertence a formação Serra Geral e pelo subgrupo São Bento. A principal característica geológica desta região é o derrame e sills de basalto e “andesitos” ocorrido no período Jurássico-Cretáceo Inferior à aproximadamente entre 175 a 200 milhões de anos atrás (MINEROPAR, 2001).

Todas as áreas em estudo possuem histórico de uso e manejo da terra de mais de dez anos na forma como pode ser observado no mapa da Figura 4. Analisando as curvas de nível pode-se verificar que as áreas encontram-se ao longo de uma mesma vertente longitudinal com os pontos de coleta, mesmo pertencendo a áreas com diferentes usos e manejos do solo, situando-se muito próximos uns dos outros.

Figura 4: Mapa de uso e ocupação da terra, curvas de nível e pontos de coleta.



Fonte: Autor, 2020.

Estes fatores, aliados a caracterização e ao diagnóstico *in-loc*o indicam que a gênica geológica do solo dessas áreas é a mesma. Isso nos permite dar andamento ao estudo partindo da premissa de que as únicas distinções existentes entre eles digam respeito somente ao seu uso antrópico descartando assim qualquer hipótese de dessemelhança gerada por fatores passivos de formação do solo.

4.4.3 Manejos

4.4.3.1 Pastagem anual para bovinocultura leiteira (PA)

Nesta área o manejo caracteriza-se pelo plantio de pastagens de ciclo anual sendo uma cultura de inverno e uma de verão de modo que no inverno é feita a consorciação entre aveia (*Avena sativa*) e azevém (*Lolium multiflorum Lam*) com plantio acontecendo aproximadamente nos meses de abril e maio conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Fotografia da área de plantação de pastagem anual para pastejo em bovinocultura leiteira 2 semanas após o plantio da cultura de verão.



Fonte: Autor, 2020.

No verão as culturas utilizadas são a aveia de verão (*Sorghum sudanense*) consorciada com milho (*Pennisetum glaucum (L.) R. Br.*) com o plantio acontecendo aproximadamente nos meses de setembro e outubro. Tanto no verão quanto inverno o plantio é realizado por meio de semeadura das sementes consorciadas na quantidade de 50 kg/ha e posteriormente realizada a gradagem com profundidade de 2 a 5 centímetros. Neste manejo não é realizada a adição de qualquer tipo de adubo ou fertilizante.

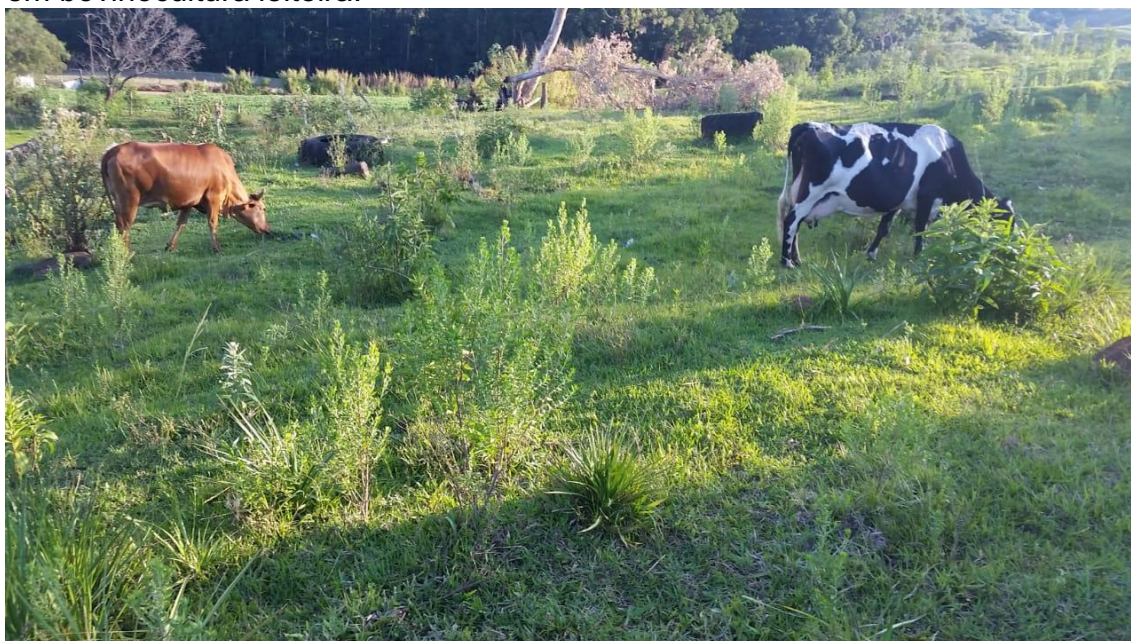
O pastejo ocorre de maneira extensiva e sem piqueteamento onde o primeiro pastejo do ano agrícola é realizado quando o pasto atinge uma altura média de aproximadamente 20 centímetros. O tempo de permanência do gado

nessa área é de aproximadamente 2 horas por dia com pressão de pastejo de 10 animais por hectare evitando o solte em dias chuvosos ou quando o solo está excessivamente úmido com vistas a evitar a compactação do solo e amassamento demasiado da pastagem.

4.4.3.2 Pastagem permanente para bovinocultura leiteira (PP)

O uso desta área caracteriza-se pela presença de uma pastagem permanente destinada a bovinocultura leiteira. A cultura existente na área é a grama “sempre verde” (*Axonopus compressus Beauv*) onde permanece por mais de 10 anos. Não existe a adição de qualquer tipo de adubo ou fertilizante a não ser os próprios excrementos dos animais. O regime de pastejo nesta área é constante, com o tempo de duração de aproximadamente 5 a 6 horas por dia e pressão de pastejo de aproximadamente 10 animais por hectare durante todo o ano de maneira extensiva e sem piqueteamento conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Fotografia da área de plantação de pastagem permanente para pastejo em bovinocultura leiteira.



Fonte: Autor, 2020.

4.4.3.3 Cultura de milho para silagem e feijão (MF)

Com histórico de mais de uma década, excetuando-se o ano de 2012, esta área sempre foi utilizada para o plantio de milho (*Zea mays*) conforme ilustrado na Figura 7, sendo este colhido de pé inteiro e moído para fazer silagem a ser fornecida ao gado leiteiro. O milho é tipicamente plantado nesta área entre os meses de agosto e setembro com plantadeira de plantio direto (*semeado ps8*) fornecendo adubação em linha de NPK na concentração 500 kg/ha e formulação comercial de 8-23-23% e a lanço de 150 kg/ha de sulfato de amônia na formulação comercial de 20-0-0%. O milho permanece nesta área até atingir o ponto de corte que ocorre cerca de 100 dias após o seu plantio, onde então ele é colhido com trator equipado com máquina ensiladeira de uma linha acoplada a uma caçamba agrícola.

Figura 7: Fotografia da área de plantio de milho para silagem e feijão.



Fonte: Autor, 2020.

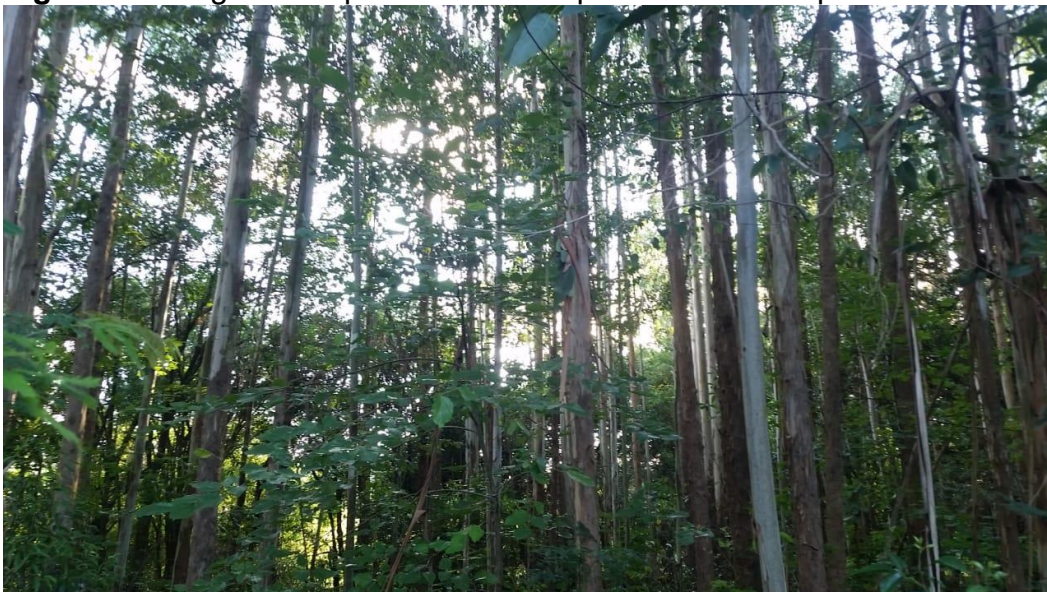
Imediatamente após a colheita do milho é realizado o plantio de feijão (*Phaseolus vulgaris*) com plantadeira de plantio direto fornecendo adubação em linha de NPK na concentração de 400 kg/ha e formulação comercial de 04-14-08%. As variedades de feijão foram variadas ao longo dos anos, podendo ser do tipo preto, carioca, cavalo ou jalo.

A colheita do feijão é realizada nesta área aproximadamente no mês de abril e então imediatamente após isso é realizado o plantio de aveia por semeadura e gradagem na profundidade de 2 a 5 centímetros com o intuito de cobertura do solo onde não é realizada qualquer tipo de pastejo ou corte e então permanece na área até atingir seu amadurecimento que ocorre aproximadamente nos meses de agosto e setembro onde será sucedida pelo milho completando o ciclo anual do manejo.

4.4.3.4 Reflorestamento de Eucalipto (RE)

Esta área foi reflorestada no ano de 2005 com uma espécie florestal exótica, denominada eucalipto (*Eucalyptus sp.*). Foi plantada sem critérios de espaçamento sendo feita de maneira aleatória com população aproximada de 4500 plantas por hectare e desde então nunca sofreu qualquer tipo de manejo florestal como por exemplo: adubação, desbaste, corte parcial ou total conforme ilustrado na Figura 8 e 9.

Figura 8: Fotografia da parte aérea das plantas de eucaliptos.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 9: Fotografia das plantas e solo da área de plantação de eucaliptos.



Fonte: Autor, 2020.

4.4.3.5 Plantação de soja para grão (SJ)

O plantio de soja (*Glycine max*) é feito nesta área a mais de 10 anos tradicionalmente nos meses de setembro e outubro utilizando o manejo de plantio direto (plantadeira *semeato ps8*) com a aplicação de fertilizante químico NPK na linha com concentração de 500 kg/ha de fórmula comercial 2-18-18.

Sua colheita ocorre entre os meses de março e maio nos quais dá lugar então a cultura de inverno onde é feita a plantação de aveia (*Avena sativa*) para cobertura do solo onde permanece até aproximadamente os meses de setembro e outubro que é o período do novo plantio da soja completando assim seu ciclo de manejo. A plantação da aveia nesta área é feita sem aplicação de qualquer tipo de adubo ou fertilizante e para isso utiliza-se uma plantadeira de plantio direto projetada especificamente para culturas de inverno (*semeato td220*). A Figura 10 ilustra esta área através de fotografia enquanto encontrava-se a cultura da soja em pleno estágio fenológico V5.

Figura 10: Fotografia da área de plantação de soja para grãos.



Fonte: Autor, 2020.

4.4.3.6 Criação de caprinos e ovinos para corte (CO)

Nesta área é feita a criação de caprinos e ovinos para corte com tradição de mais de 10 anos sob pastagem permanente formada de grama

esmeralda (*Zoysia japonica*), sem a adição de qualquer tipo de adubo ou fertilizante a não ser o excremento dos próprios animais presente na área. O regime de pastejo é permanente com pressão de aproximadamente 30 animais por hectare sendo 60% de ovinos e 40% de caprinos conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11: Fotografia da área criação de caprinos e ovinos de corte.



Fonte: Autor, 2020.

4.5 MÉTODO DE AMOSTRAGEM

4.5.1 Amostragem para análises físicas

Dentro de cada classe de manejo, escolheu-se um ponto representativo onde foram coletadas amostras em triplicata contendo aproximadamente 4 kg de solo na profundidade de 0 a 20 cm. Essas amostras foram dispostas individualmente em sacos plásticos previamente identificados e posteriormente enviados ao laboratório de solos da UTFPR campus Francisco Beltrão – PR.

Para a análise de densidade do solo foram utilizados anéis de Kopeck para coletar amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 15 e 15 a 20 cm. Dentro de cada uma das 6 áreas foram escolhidos 3 pontos representativos do uso da terra da propriedade. Foi realizada uma

amostragem em cada profundidade supracitada, em cada um dos pontos utilizando os anéis de Kopeck onde foram cuidadosamente retirados de forma a preservar ao máximo sua integridade, embrulhados em papel alumínio, postos em latas de alumínio identificadas e transportadas ao laboratório também com o mesmo cuidado.

4.5.2 Amostragem para análises químicas

As amostras para análise química foram coletadas nos mesmos pontos onde foram coletadas as amostras para análise de densidade do solo conforme descrito no item 4.5.1, porém para esta as amostragens foram feitas com um trado holandês na profundidade de 0 a 20 centímetros de forma a deformar a amostra conforme apresentado na Figura 12:

Figura 12: Extração de solo com trado holandês para análises químicas.



Fonte: Autor, 2020.

Desta forma em cada sistema de manejo foram coletadas três amostras de solo, armazenadas em embalagens plásticas distintas para cada ponto e em seguida encaminhadas para o laboratório de análises químicas.

4.6 ANÁLISES LABORATORIAIS FÍSICAS

4.6.1 Análise textural

De acordo com o manual de análises da Embrapa (2017), as frações granulométricas foram divididas conforme o seu diâmetro equivalente em matacões (>20 cm), calhaus (20 cm a 20 mm), cascalhos (<20 mm a 2,0 mm) e a terra fina (<2,0 mm). Sua quantificação permite identificar o solo quanto à proporção de frações grossas e possibilita inferências sobre algumas das características de interesse agrônomo e ambiental, como retenção de água, mecanização e erodibilidade.

Para separar as frações grosseiras foram utilizadas peneiras de 20 mm, 8 mm, 4 mm e 2 mm, balança com precisão de 0,1 g, sacos plásticos e etiquetas, respirador descartável, luvas de borracha, gral e pistilo, rolo de madeira, martelo de madeira e bandeja plástica rasa.

Figura 13: Secagem natural das amostras para análise textural.



Fonte: Autor, 2020.

As amostras foram submetidas à secagem natural e posteriormente destorroamento, seguida de secagem ao ar conforme na Figura 13. A separação das frações foi realizada por peneiramento nas peneiras de malha de 20 mm e

de 2 mm, obtendo-se o percentual relativo das classes calhaus (>20,0 mm), cascalhos (>2,00 mm a <20,00 mm) e Terra Fina Seca ao Ar - TFSA (<2,00 mm), as quais foram devidamente pesadas e seu valor de massa anotado.

As concentrações de Cascalho, Calhaus e Terra fina foram calculadas pelas equações (1), (2) e (3) respectivamente e suas unidades correspondem a gramas por quilogramas (g/kg).

$$T_{\text{casc}} = 1000 * \left(\frac{b}{a}\right) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$T_{\text{calh}} = 1000 * \left(\frac{c}{a}\right) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$T_{\text{TF}} = 1000 - (T_{\text{calh}} + T_{\text{casc}}) \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

T_{casc} – Concentração de cascalhos, em g/kg;

T_{calh} – Concentração de calhaus, em g/kg;

T_{tf} – Concentração de terra fina, em g/kg;

a – Massa total da amostra, em g;

b – Massa do cascalho, em g;

c – Massa dos calhaus, em g.

4.6.2 Análise granulométrica

Os materiais utilizados na realização deste ensaio foram béquer de 500 e 50 mL, balão volumétrico de 1 L, Erlenmeyer de 250 mL, latas de alumínio com tampa e capacidade para 200 mL, provetas de 50 mL, 100 mL e 250 mL, bastões de vidro, peneiras com malhas de 2,0, 0,212 e 0,053 mm, fundo para jogo de peneiras, funil, suporte para funil, provetas de 500 mL, bastão para agitação com uma tampa de borracha contendo vários furos e de diâmetro um pouco menor do que a proveta, termômetro, pipeta graduada de 25 mL, balde de plástico de 25 L, dessecador com sílica gel anidra, agitador recíprocante, balança com precisão de 0,001 g e estufa com regulagem de 105 °C.

Foram adicionadas as amostras uma solução de hexametáfosfato de sódio a 0,038 mol/L mais hidróxido de sódio a 0,1 mol/L como dispersante químico.

A determinação da granulometria começou primeiramente pela medição da umidade residual do solo, para cálculo da correção de umidade (fator f), conforme procedimento descrito no item 4.6.3, pesou-se 20,00 g de solo de terra fina seca ao ar (TFSA) transferiu-se a amostra para a garrafa do agitador, por meio de funil adicionou-se 100 mL de água deionizada, lavando-se o funil usado para a transferência da amostra.

Em cada amostra foi adicionado 10 mL de solução de hidróxido de sódio 1 mol/L obtendo volume final de aproximadamente 150 mL nos Erlenmeyers, montou-se os mesmos no agitador reciprocante, após tampá-las com a rolha de borracha bem apertadas foi acionado o agitador e procedida a agitação por 16 horas a 50 rpm. Decorrido o tempo, o agitador foi desligado e então os frascos foram retirados e dispostos em bancada para a determinação das frações.

Para a separação das frações areia grossa e areia fina foram montadas sobre um funil as peneiras de malha 0,053 mm e 0,212 mm respectivamente apoiadas em um suporte, colocado o conjunto funil e peneiras sobre a proveta. Transferiu-se a amostra contida no Erlenmeyer retirado do agitador reciprocante para as peneiras lavando o recipiente e a rolha com água deionizada para transferir todo o conteúdo tomando o cuidado para evitar que respingos provocassem perda de material, lavou-se todo o material retido com água deionizada, sob uma pressão frequente e uniforme de aproximadamente uma coluna de água não maior que 10 kPa, para se obter uma lavagem eficiente e rápida, não deixando ultrapassar o volume final de 0,5 L na proveta.

Foi então completado o volume do cilindro de sedimentação até a marca de 0,5 L com água deionizada. Desta forma ficaram retidas nas peneiras as porções de areia grossa na malha de 0,212 mm e a areia fina na malha 0,053 mm, que foram transferidas para recipientes secos e limpos, previamente tarados e identificados, dos quais foi eliminando o excesso da água e levando-os para secagem conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14: Cilindros de sedimentação e placas de Petri para determinação da granulometria do solo.



Fonte: Autor, 2020.

Após o período de 24 h, essas amostras foram retiradas da estufa, deixadas para esfriar em dessecador e posteriormente pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g. As proporções de areia grossa e areia fina foram calculadas pelas equações (11) e (12) respectivamente.

A determinação de silte e argila foi realizada através do método da pipeta (Embrapa, 2017) onde adicionou-se 10 mL da solução de hidróxido de sódio 1 mol/L à proveta de sedimentação e completou-se o restante até a marca de 0,5 L com água deionizada. As provetas foram agitadas com bastões com tampa de borracha e imediatamente foi coletada uma alíquota de 25 mL da solução via pipeta, transferida para um béquer seco, limpo, previamente tarado e identificado o qual foi pesado e então levado para secagem. Preparou-se também uma prova controle com todos os reagentes exceto o solo seguindo o mesmo procedimento feito para silte e argila.

Para as demais soluções da proveta, foi utilizado a medida da temperatura da suspensão e da prova controle com um termômetro para saber quanto tempo levaria para o silte decantar. Imediatamente após a agitação foi pipetado 25 mL da suspensão de silte + argila, transferida para um béquer seco, limpo e previamente tarado e identificado o qual foi levado para secagem.

A secagem das amostras foi realizada em uma estufa com

regulagem de temperatura para 105 °C onde permaneceram por 24 horas.

O tempo de sedimentação foi definido em função da temperatura medida inicialmente nas provetas relacionado no Quadro 1 (ANEXOS I). Aguardado o tempo de sedimentação da fração silte inseriu-se a pipeta na proveta 5 cm de profundidade ao nível do fluido e então pipetou-se 25 mL da suspensão de argila a qual foi transferida para um béquer seco, limpo e previamente tarado que foi imediatamente levado para secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas.

Os béqueres contendo os resíduos dos pipetados secos foram retirados da estufa, deixados para esfriar em dessecador e pesados em balança com precisão de 0,001 g.

Com o resultado das pesagens das frações contidas nos béqueres realizou-se primeiramente o cálculo do somatório das frações que se dá pela Equação (10):

$$S_m = \left(\frac{(M_{af} * f)}{M_i} \right) + \left(\frac{(M_{at} - M_{af}) * f}{m_i} \right) + \left(\frac{(M_{sa} - M_{ar}) * f}{M_i * R_v} \right) + \left(\frac{(M_{ar} - M_{br}) * f}{M_i * R_v} \right) \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde:

S_m – somatório das massas das frações, em g;

M_{af} – massa de areia fina, em g;

M_{at} – massa de areia total, em g;

M_{sa} – massa de silte + argila, seca em estufa, em g;

M_{ar} – massa de argila, seca em estufa, em g;

M_{br} – massa do controle, seca em estufa, em g;

M_i – massa inicial da amostra, em g;

R_v – razão do volume pipetado para o volume total da proveta;

f – fator de correção de umidade para a massa inicial.

Para o cálculo da fração de areia grossa contida nas amostras foi utilizada a Equação (11):

$$T_{ag} = \left(\frac{M_{at} - M_{af} * f}{M_i} \right) * \left(\frac{100}{S_m} \right) \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde:

T_{ag} – concentração de areia grossa, em g/kg;

M_i – massa inicial da amostra, em g;

M_{at} – massa de areia total, em g;

M_{af} – massa de areia fina, em g;

f – fator de correção de umidade para a massa inicial;

S_m – somatório das massas das frações, em g.

Para o cálculo da fração de areia fina contida nas amostras foi utilizada a Equação (12):

$$T_{af} = \left(\frac{M_{af} * f}{M_i} \right) * \left(\frac{100}{S_m} \right) \quad \text{Eq. (12)}$$

T_{af} – concentração de areia fina, em g/kg;

M_i – massa inicial da amostra, em g;

M_{at} – massa de areia total, em g;

M_{af} – massa de areia fina, em g;

f – fator de correção de umidade para a massa inicial;

S_m – somatório das massas das frações, em g.

O cálculo da fração de silte contida nas amostras foi utilizada a Equação (13):

$$T_s = \left(\frac{(M_{sa} - M_{ar}) * f}{M_i * R_v} \right) * \left(\frac{100}{S_m} \right) \quad \text{Eq. (13)}$$

Onde:

T_s – concentração de silte, em g/kg;

M_i – massa inicial da amostra, em g;

M_{sa} – massa de silte + argila, seca em estufa, em g;
 M_{ar} – massa de argila, seca em estufa, em g;
 R_v – razão do volume pipetado para o volume total da proveta;
 f – fator de correção de umidade para a massa inicial;
 S_m – somatório das massas das frações, em g.

Para calcular a fração de argila contida nas amostras foi utilizada a Equação (14):

$$T_{arg} = \left(\frac{(M_{ar} - M_{br}) * f}{M_i * R_v} \right) * \left(\frac{100}{S_m} \right) \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde:

T_{arg} – Concentração de argila, em g/kg;
 M_i – Massa inicial da amostra, em g;
 M_{ar} – Massa de argila, seca em estufa, em g;
 M_{br} – Massa do branco, seca em estufa, em g;
 R_v – Razão do volume pipetado para o volume total da proveta descontado o volume retirado na primeira pipetagem;
 f – Fator de correção de umidade para a massa inicial;
 S_m – Somatório das massas das frações, em g.

4.6.3 Umidade atual

Os equipamentos necessários para a realização do ensaio foram: recipiente de alumínio com volume mínimo de 150 mL, estufa com ajuste de temperatura para 105 °C, balança com precisão de 0,001 g e dessecador.

As amostras deformadas foram colocadas, em recipientes de alumínio com volume conhecido, numeradas e pesadas (amostra úmida + recipiente) para posteriormente serem transferidas para estufa a 105 °C, deixando-as nessa condição até peso constante.

Retiradas da estufa, colocou-se em dessecador onde foram deixadas até esfriar para posteriormente pesar (amostra seca + recipiente).

Assim, a umidade atual de cada amostra foi calculada em base gravimétrica pela Equação (4) e em base volumétrica pela Equação (5).

$$CGA = \frac{(a-b)}{b} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$CVA = \frac{(a-b)}{c} \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:

CGA – Conteúdo gravimétrico de água (umidade em base gravimétrica), em kg/kg;

CVA – Conteúdo volumétrico de água (umidade em base volumétrica), em m³/m³. Normalmente assume-se que o valor da densidade da água é igual a 1,00 g/cm³;

a – Massa da amostra úmida, em g;

b – Massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g;

c – Volume da amostra, em cm³.

4.6.4 Umidade residual e fator “f”

Os equipamentos utilizados foram: recipiente de metal com 100 mL de volume, estufa com ajuste de temperatura para 40 °C e 105 °C, balança analítica com precisão de 0,001 g e dessecador de sílica gel.

As amostras de 5 g de TFSA foram colocadas em recipientes numerados e de massa conhecida. Posteriormente pesou-se e transferiu-se para a estufa a 105 °C, deixando nessa condição até atingir peso constante. Após isso foi retirada da estufa, colocada em dessecador até esfriar e pesada.

Estão a umidade residual das amostras foram calculadas através da Equação (6) e o fator “f” calculado pela Equação (7):

$$U_r = \frac{a-b}{b} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$f = \frac{a}{b} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

Ur – Umidade residual, em kg/kg;

f – Fator usado para correção da massa de solo utilizada para a massa de solo seca nas determinações em laboratório com a utilização de TFSA (Fator “f”);

a – Massa da amostra seca ao ar, em g;

b – Massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g;

4.6.5 Densidade do solo

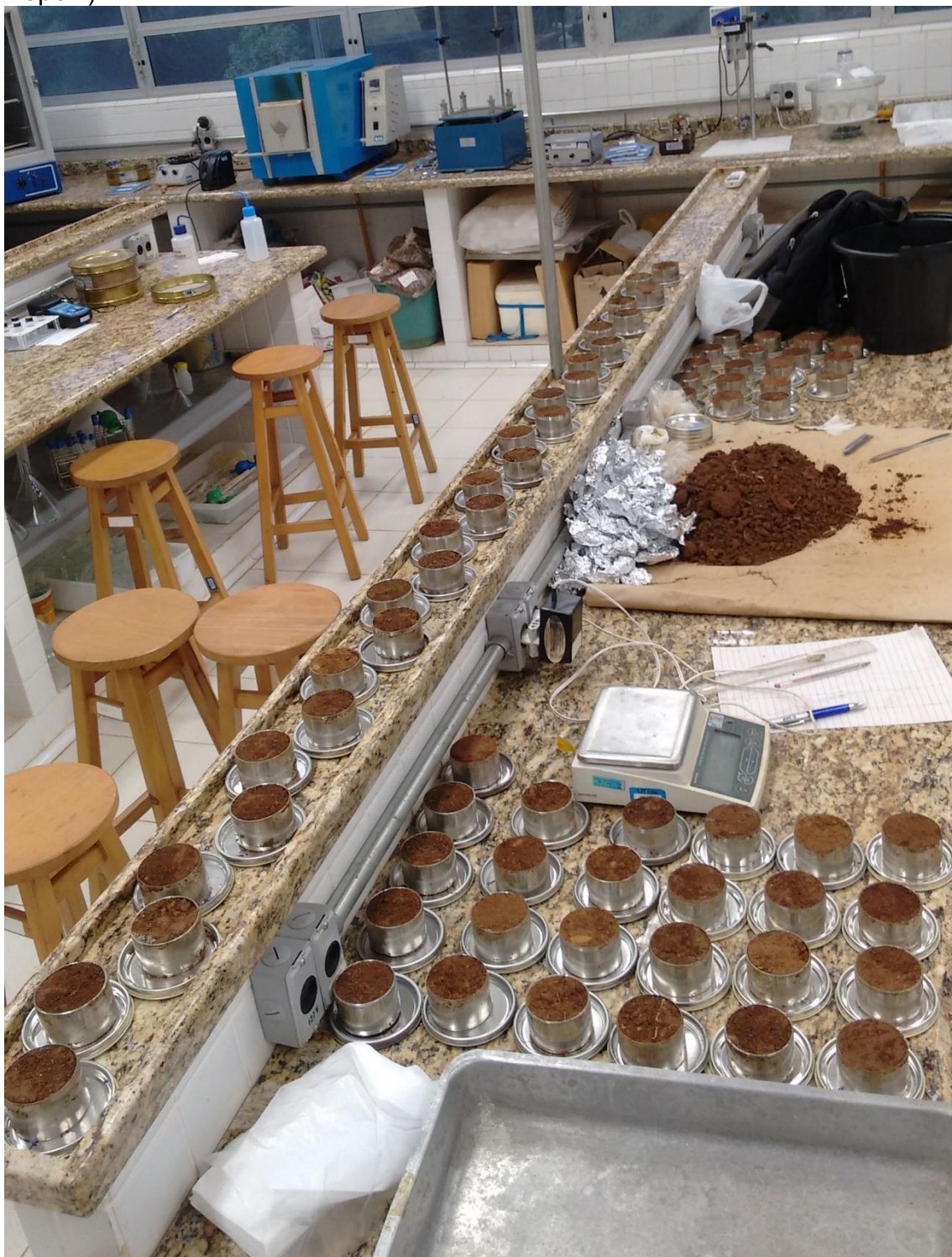
A determinação da densidade do solo envolveu duas etapas, sendo a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume. O volume foi obtido por meio da coleta das amostras utilizando cilindro de volume interno conhecido. A massa das amostras foi obtida por meio de sua pesagem após secagem em estufa.

Os materiais utilizados para a realização deste ensaio foram anéis volumétricos de aproximadamente 100 cm³, placas de Petri de no mínimo 150 cm³ de volume, paquímetro, balança com capacidade para 200 g e com precisão de 0,01 g e estufa com ajuste de temperatura para 105 °C.

Durante a amostragem, as amostras foram coletadas com o uso do cilindro metálico evitando a compactação do solo no interior do cilindro, por meio da escavação do solo ao redor do cilindro, na medida em que ele foi inserido no solo.

As dimensões dos cilindros foram medidas e anotadas em triplicata utilizando um paquímetro para posteriormente calcular seus respectivos volumes. Depois de levados para laboratório as amostras foram padronizadas fazendo a retirada do excesso de solo aderida de maneira a não deixar material sobressalente ao volume do cilindro conforme pode ser observado na Figura 15. Posteriormente as amostras foram removidas do cilindro e transferidas para recipientes numerados e de massa conhecida, secados em estufa a 105 °C por 48 horas. Após isso foram retirados da estufa, deixados em dessecador até esfriarem e depois pesados.

Figura 15: Limpeza do material sobressalente ao volume dos cilindros (Anéis de Kopéki)



Fonte: Autor, 2020.

A densidade do solo das amostras foram calculadas através da Equação 8:

$$D_s = \frac{m_a}{V} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

D_s – Densidade do solo, em kg/dm³ (equivalente a g/cm³);

m_a – Massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g;

V – Volume do cilindro, em cm³.

4.6.6 Densidade de partículas

A determinação desta propriedade ocorreu em duas etapas: a obtenção da massa da amostra por pesagem após secagem em estufa e a determinação de seu volume que é obtida por meio da medida da diferença entre o volume de um líquido necessário para preencher um recipiente calibrado vazio e o volume do líquido necessário para completar o volume do recipiente contendo a amostra seca.

Os materiais utilizados na realização deste ensaio foram balões volumétricos de 50 mL, balança com precisão de 0,001 g, buretas de 50 mL, estufa com ajuste de temperatura para 105 °C, funil e placas de Petri.

Ainda foram utilizadas no experimento duas soluções: a água deionizada e desaerada (ADD) e álcool etílico hidratado.

Então o primeiro procedimento foi aferir os balões volumétricos de 50 mL com água deionizada e desaerada, posteriormente pesou-se 20 g de solo de cada amostra e colocando-os em recipiente de massa conhecida onde foram secados em estufa a 105 °C até atingirem peso constante. Após tirar da estufa foram deixados esfriar em dessecador, posteriormente foram pesados, obtendo assim a massa da amostra seca.

Esta foi transferida para o balão aferido de 50 mL com o auxílio de um funil onde foi adicionado álcool etílico até cobrir a amostra, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que eventualmente se formassem. Após meia hora de repouso prosseguiu-se com a operação, vagarosamente, até completar o volume do balão, verificando a ausência de bolhas e então anotado o volume de álcool gasto.

Com isso a densidade de partículas de cada amostra de solo pôde

ser calculada através da Equação (9):

$$D_p = \frac{m_a}{V_t - V_u} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

D_p – Densidade de partículas, em kg/dm^3 (equivalente a g/cm^3);

m_a – Massa da amostra seca a $105\text{ }^\circ\text{C}$, em g;

V_T – Volume total aferido do balão, em mL;

V_u – Volume utilizado para completar o balão com a amostra, em mL.

4.6.7 Limite de Liquidez

Os limites de consistência de um solo são determinados em ensaios de laboratórios e, entre eles, estão os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP).

O Limite de Liquidez é o teor de água estabelecido empiricamente no limite em que o solo passa da condição de estado líquido para o de estado plástico, sendo obtido pelo método de Casagrande, usado por vários anos como base para a classificação e correlação de propriedades do solo ligadas à engenharia onde apresenta efeitos dinâmicos.

Os materiais e equipamentos utilizados neste procedimento foram uma estufa, aparelho de Casagrande e todos os seus acessórios cápsula de porcelana de aproximadamente 420 cm^3 espátula de lâmina flexível cinzel balança com resolução de $0,01\text{ g}$, latas de alumínio de 220 cm^3 .

O ensaio foi executado em ambiente climatizado próximo a $25\text{ }^\circ\text{C}$ condições ambientais estas que minimizam a perda de água do material por evaporação. Foi então tomada uma amostra de aproximadamente 150 g de solo seco passado em peneira de $0,42\text{ mm}$ [40 mesh] e colocado na cápsula de porcelana adicionando-se água destilada em quantidade suficiente até formar uma massa homogênea com o auxílio de uma espátula de lâmina flexível.

Foi então colocado aproximadamente 30 g dessa massa na cápsula metálica do aparelho de Casagrande, de modo que ocupasse $2/3$ do volume inferior da cápsula e que a parte central tivesse aproximadamente 1 cm

de espessura. Foi dividida a massa de solo da cápsula metálica em duas partes, passando o cinzel através dela, de maneira a abrir uma ranhura com espessura de 2 mm e altura entre 8 mm e 10 mm, em sua parte central (Figura 16), então foi zerado o contador de pancadas do aparelho de Casagrande, girada a manivela do aparelho numa velocidade constante de duas rotações por segundo até a ranhura central se fechar à espessura longitudinal de 1 cm. Então foi notado o número de pancadas indicado no aparelho de Casagrande, transferida imediatamente aproximadamente 50 g do material das bordas que se uniram para uma lata de alumínio devidamente tarada para determinação da umidade conforme procedimentos descritos no item 4.6.3.

Figura 16: Procedimento de determinação de limite de liquidez utilizando aparelho de Casagrande.



Fonte: Autor, 2020.

Após isso foi transferido o restante da massa para a cápsula de porcelana, lavada e enxugada a cápsula metálica do aparelho Casagrande e o cinzel, adicionou-se aproximadamente 5mL de água destilada à amostra e homogeneizou-se com auxílio da espátula para então repetir as operações descritas acima de modo a obter mais quatro pontos de ensaio, com a mesma amostra de solo e com adição de água destilada, de forma a cobrir um intervalo de 15 a 35 golpes, estando as amostras com diferentes umidades distribuídos uniformemente.

O limite de liquidez é representado pelo valor da umidade retida pela amostra, correspondente a 25 golpes. Este valor foi estimado por meio da Equação de ajuste linear (15) utilizando os cinco pontos ensaiados.

$$F_{al} = \left(\frac{N}{25}\right)^{0,12} \quad \text{Eq. (15)}$$

Onde:

F_{al} – Fator de ajuste linear;

N – Número de golpes.

O cálculo de limite de liquidez para cada um dos 5 pontos do ensaio é determinado pela Equação (16):

$$LL_p = \left(\frac{m_t - m_s}{m_s - m_r}\right) * F_{al} \quad \text{Eq. (16)}$$

Onde:

LL_p – Limite de liquidez de cada ponto de ensaio da amostra que corresponde à umidade retida pela amostra após 25 golpes, em kg/kg;

m_t – Massa da amostra úmida após 25 golpes, em g;

m_s – Massa da amostra seca a 105 °C até peso constante, em g;

m_r – Massa do recipiente, em g;

F_{al} – Fator de ajuste linear.

O limite de liquidez para a amostra foi, portanto, calculado pela média do limite de liquidez dos 5 pontos do ensaio conforme a Equação (17):

$$LL = \frac{1}{5} * \sum_1^5 LL_p \quad \text{Eq. (17)}$$

Onde:

LL_p – Limite de liquidez de cada ponto de ensaio da amostra que corresponde à umidade retida pela amostra após 25 golpes, em kg/kg;

LL – Limite de liquidez da amostra que corresponde à umidade retida pela amostra após 25 golpes, em kg/kg.

4.6.8 Limite de Pegajosidade

Este ensaio visa determinar a umidade de um solo por pesagem da massa da água no momento em que a pasta saturada com água apresenta aderência máxima a uma superfície metálica após ser trabalhado úmido indicando que o solo se encontra no estado plástico.

Os materiais utilizados nesta avaliação foram espátula de aço inoxidável, estufa, peneira de malhas quadradas nº 40 (# 0,42 mm) da ABNT, latas de alumínio de 5 cm de diâmetro com tampa, cápsula de porcelana, balança analítica com precisão de 0,001 g.

Para a realização do ensaio foi colocado em cápsula de porcelana uma parte da massa de solo proveniente da determinação do limite de liquidez, adicionado água pouco a pouco e, com o auxílio de espátula, formou-se uma massa uniforme. Com a espátula limpa e bem seca, comprimiu-se a sua face sobre a massa de solo, para testar a aderência, se essa aderência não fosse conseguida então repetia-se a operação, adicionando mais água até que se notasse esse efeito.

Uma vez atingido esse ponto, retirou-se uma pequena porção da massa de solo colocando-a em uma lata de alumínio numerada e de massa conhecida, posteriormente pesando e determinando o teor de água conforme descrito no item 4.6.3. Esta operação foi repetida por três vezes e somente foi considerada concluída a análise quando os valores dos teores de água obtidos

não diferiram de 2%. Desta forma o limite de pegajosidade é representado pela média aritmética de três ou mais determinações conforme apresento na Equação (18):

$$L_p = \frac{1}{n} * \sum_1^n L_{p(n)} \quad \text{Eq. (18)}$$

Onde:

L_p – Limite de pegajosidade médio, em kg/kg;

$L_{p(n)}$ – Limite de pegajosidade que corresponde ao conteúdo de água no solo obtido em cada determinação, em kg/kg;

n – número de repetições.

4.6.9 Diagnóstico rápido de estrutura do solo (DRES)

Para a realização deste diagnóstico, conforme metodologia abordada por (RALISCH et.al., 2017), foram utilizados enxadão, pá de corte reta, bandeja plástica de 25 cm de largura x 50 cm de comprimento x 15 cm de altura, canivete, régua de 30 cm, três separadores de camadas com dimensões do comprimento da bandeja, prancheta, lápis e borracha, máquina fotográfica e receptor GPS para marcação dos locais de amostragem (EMBRAPA, 2017).

Antes de se iniciar as análises para o diagnóstico alguns critérios foram pré-estabelecidos. Para a escolha dos pontos de coleta por exemplo, foi observado no campo regiões homogêneas dentro das áreas que representassem fielmente o manejo ali empregado, ou seja, longe de encostas, rios, rotas de tráfego de máquinas ou animais, depósitos, cercas ou nas bordas da área em questão.

Foi assegurado que quaisquer das áreas analisadas não tivesse mais de que 100 ha de extensão territorial e que seu histórico de manejo fosse conhecido pelo tempo mínimo de 3 anos. Foram anotadas previamente também informações como estágio de desenvolvimento das culturas existentes no local, variabilidades na textura do solo, classe do solo e textura da camada superficial.

Como todas as áreas analisadas possuem menos de que 10 ha de extensão territorial o número de pontos escolhidos para se analisar foi de três

em cada área de estudo. Nas áreas onde são desenvolvidas culturas anuais a análise foi realizada logo após a colheita da cultura observando para essa e as outras áreas que o solo apresentasse consistência próxima da friabilidade no momento da execução do diagnóstico.

Desta forma com o auxílio do enxadão e da pá de corte reta, em cada sistema de manejo foi aberta uma minitrincheira de 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de profundidade, no sentido transversal às linhas das culturas, foi extraído o bloco de solo de uma das paredes de maior comprimento, a cerca de 5 cm da linha da cultura, com uma pá de corte reta conforme apresentado na Figura 17. As amostras tiveram espessura de 10 cm, largura de 20 cm e profundidade de 25 cm (Figura 18).

Figura 17: Extração do bloco de solo para análise de índice de qualidade estrutural da amostra - IQEA.



Fonte: Autor (2020)

O bloco então foi colocado cuidadosamente na bandeja plástica para ser fragmentado em suas superfícies de fraqueza gerando assim agregados de menor tamanho sempre de maneira a manipular cuidadosamente a amostra, aplicando leve pressão com os dedos, e mantendo o material trabalhado sempre na profundidade original, distribuindo-o ao longo do maior comprimento da bandeja.

As camadas da amostra do solo foram avaliadas e identificadas a partir das características da estrutura como tamanho, grumosidade e coesão entre agregados, orientação das faces de ruptura, porosidade, cor, presença e aparência morfológica de raízes e outros organismos vivos. Foram também delimitadas no sentido da profundidade utilizando uma régua de 30 cm como separador.

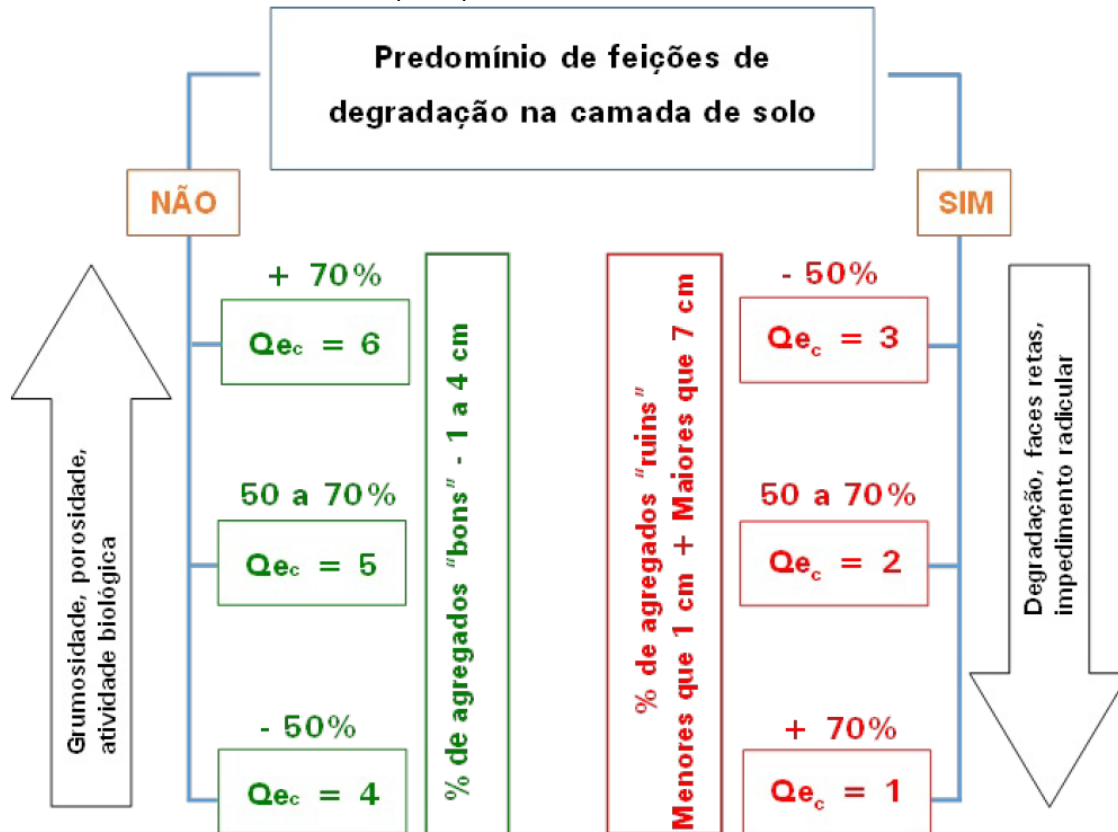
Figura 18: Dimensões do bloco de solo para análise de do índice de qualidade estrutural da amostra - IQEA.



Fonte: Autor (2020)

Para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada (Q_{ec}), foi utilizada a chave de classificação apresentada na Figura 19 que se baseia numa escala de pontuação detalhada na Quadro 2 (ANEXO II). As notas de Q_{ec} são atribuídas a partir da observação de evidências de feições de degradação ou conservação/recuperação do solo.

Figura 19: Chave de classificação para atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada (Q_{ec}).



Fonte: Adaptado de Ralisch et al. (2017)

O cálculo do índice de qualidade estrutural de cada amostra (IQEA) é feito através da Equação (19):

$$IQEA = \frac{(E_{c1} * Q_{ec1}) + (E_{c2} * Q_{ec2}) + (E_{c3} * Q_{ec3})}{E_{Total}} \quad \text{Eq. (19)}$$

Onde:

IQEA – Índice de qualidade estrutural de amostra de solo;

E_c – Espessura de cada camada, em cm podendo variar de 1 a 3;

Q_{ec} – Nota de qualidade estrutural atribuída a cada camada;

E_{Total} – Espessura/profundidade total da amostra (padronizada em 25 cm).

O cálculo do índice de qualidade estrutural do solo (IQES) é dado pela média dos índices de qualidade estrutural de cada amostra (IQEA) conforme apresentado na Equação (20).

$$IQES = \frac{IQEA_1 + IQEA_2 + IQEA_n}{n} \quad \text{Eq. (20)}$$

Onde:

IQES – Índice de qualidade estrutural do solo na área/gleba avaliada;

IQEA – Nota de qualidade estrutural atribuída às amostras, de 1 até n;

n – Número total de amostras definidas previamente.

A partir do IQES calculado para uma determinada gleba, foi possível propor adequações nos manejos empregados, visando a recuperação, manutenção e/ou melhoria da qualidade estrutural do solo a partir das interpretações e recomendações simplificadas para cada classe de IQES apresentadas no Quadro 3 (ANEXOS III).

4.7 ANÁLISES QUÍMICAS

Depois de coletadas as amostras foram submetidas a peneiramento com malha de 2 mm de onde foram retiradas 20 gramas de solo de cada amostra, dispostas em sacos plásticos livres de contaminação previamente identificados e posteriormente encaminhados ao Laboratório de Solos da UTFPR campus Pato Branco – PR.

A extração de P, K, Cu, Fe, Zn, e Mn foram feitas através da solução de Mehlich, pH em CaCl 1:2,5, Ca, Mg e Al^{+3} (alumínio trocável) foram extraídos com KCl a 1 mol/L e a matéria orgânica por digestão úmida. Então as amostras foram individualmente encaminhadas ao espectrofotômetro de emissão ótica em plasma induzido para a dosagem dos elementos.

O índice SMP ou pH-SMP foi realizado através da medição do pH das amostras por pHmetro previamente calibrado com a solução tamponada SMP a pH 7,5 e observada a redução deste valor quando entra em contato o solo. Esta redução por sua vez é proporcional a acidez potencial do solo, fator determinante para a aplicação de corretivos de pH (PAVAN, 1996).

Extração da acidez potencial do solo ($H^+ + Al^{3+}$) foi realizada utilizando acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e sua determinação volumétrica feita com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador. Para isso foram pesadas 5 g de solo (TFSA), colocada em Erlenmeyer de 125 mL e juntado 75 mL de solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0. Esta solução foi agitada durante 10 minutos em agitador horizontal circular e depois deixada em repouso durante uma noite. Após isso foram pipetadas 25,00 mL da solução sobrenadante obtida com acetato de cálcio, transferida para o Erlenmeyer de 125 mL evitando o arraste de partículas de solo e então foram adicionadas três gotas da solução de fenolftaleína, posteriormente foi feita a titulação com solução padronizada de $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ de NaOH até o desenvolvimento da cor rósea persistente.

A acidez potencial foi então calculada pela Equação (21):

$$(H^+ + Al^{3+}) = (V_a - V_b) \cdot 1,65 \cdot f \quad \text{Eq. (21)}$$

Onde:

$(H^+ + Al^{3+})$ – Acidez potencial do solo, em cmol_c/kg ;

V_a – Volume da solução padronizada de NaOH $0,025 \text{ mol/L}$ gasto na titulação da amostra, em mL;

V_b – Volume da solução padronizada de NaOH $0,025 \text{ mol/L}$ gasto na titulação da prova em branco, em mL.

Valor 1,65 – Fator de correção, decorrente das alíquotas tomadas e da extração de apenas 90% da acidez por este método;

f – Fator de correção considerando a padronização da solução de NaOH, em que $f = 0,025 / [NaOH_{pad}]$;

$[NaOH_{pad}]$ – Concentração da solução padronizada de NaOH.

A soma de bases trocáveis do solo (SB) foi calculada pela soma dos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e de potássio (K) previamente obtidos espectrofotometria ótica.

A CTC do solo foi calculada pela soma da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) com a soma de bases trocáveis (SB).

A percentagem de saturação por bases (V%) indica a proporção da CTC do solo que é preenchida pelas bases trocáveis e foi calculada particularmente para cada amostra pela divisão do seu valor de SB pelo valor de CTC e este produto então multiplicado por 100, obtendo assim um valor em percentagem.

A percentagem de saturação por alumínio (Sat. Al) indica a proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo. Esta foi calculada pela Equação (22):

$$Sat. Al = \frac{Al^{3+} \cdot 100}{(SB + Al^{3+})} \quad Eq. (22)$$

Onde:

Sat.Al – Percentagem de saturação por alumínio;

SB – Soma de bases trocáveis, em $cmol_c/kg$;

Al^{3+} – Concentração de alumínio trocável no solo, em $cmol_c/kg$.

4.8 DELINEAMENTO E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Primeiramente com o intuito de verificar a normalidade dos dados, fator predeterminante para que seja efetivo o teste de Tukey, foi aplicado o método Shapiro Wilk com 5% de significância.

A homocedasticidade dos dados também deve ser verificada para que o teste de Tukey tenha sua devida representatividade e para isso então foi aplicado o teste de Bartlett com 5% de significância.

Como todos os dados atenderam aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade então foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e esta ao indicar diferença do parâmetro analisado entre as áreas predeterminou

a aplicação do teste de Tukey a 5% de significância para a comparação das médias do determinado parâmetro.

As análises foram realizadas com o auxílio dos softwares Microsoft Office Excel (2010) com o suplemento Action (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as observações de campo constatou-se que na área PA não haviam quaisquer tipos de sistema de drenagem pluvial, porém visualmente também não foram constatados sinais de erosão severa o que se dá pelo fato de se tratar de uma área relativamente pequena (1 ha) e esta apresentar baixa declividade. No solo foram constatados alguns sinais de atividade biológica como larvas de inseto, porém não de forma intensa.

Na área PP também não foram constatados quaisquer tipos de sistema de drenagem pluvial. Porém, nesta, visualmente foram percebidos alguns sinais de erosão como ravinas e pequenos locais de deposição de material provavelmente em decorrência de erosão hídrica associada ao pisoteio dos animais de grande porte sobretudo em dias chuvosos o que facilita a desestruturação do solo e assim o deslocamento de partículas. Também foram percebidos sinais de atividade biológica intensa como formigas, larvas e minhocas.

Não foram constatados na área MF quaisquer tipos de sistema de drenagem pluvial e nesta também são visíveis os sinais de erosão hídrica tais como ravinas e sulcos mais profundos, porém não chegando a ser considerado como voçoroca. A atividade biológica nesta área foi raramente observada com a presença de algumas larvas.

Pode ser observado na Figura 4 do item 4.4.2 que a área RE se localiza em uma cota menor em relação a área PA e por não existirem sistemas de drenagem entre estas, a RE acaba por receber cargas de água de origem pluviométrica quando excedida a capacidade de retenção da PA. Isto faz com que leves sinais de erosão hídrica como ravinas possam ser observados nesta área podendo estes serem resolvidos com a construção de curvas de nível para a retenção da água pluvial. Nesta também se constatou uma intensa atividade biológica, com a presença de formigas, larvas de inseto, cupins, minhocas e outros macro invertebrados.

Na área SJ há a presença de sistema de drenagem do tipo curva de nível, porém sem manutenção e, portanto, além de ineficientes ainda faz com que se agravem ainda mais os processos de erosão hídrica, tornando visíveis seus sinais como ravinas e até sulcos mais profundos. Nesta foi também

observada a baixa intensidade de atividade biológica com raras aparições de minhocas e larvas de insetos.

Não foram constatados na área CO quaisquer tipos de sistema de drenagem pluvial, porém visualmente também não foram encontrados sinais de erosão. Isso pode se dar pelo fato de se tratar de uma área relativamente pequena (1 ha) e ser pastejada por animais de pequeno porte que são menos agressivos no pisoteio do solo principalmente em dias chuvosos ou quando o solo estiver excessivamente úmido. No solo desta área foram percebidos sinais de atividade biológica intensa como formigas, larvas e minhocas.

5.1 FÍSICA DO SOLO

5.1.1 Umidade atual e fator “f”

A Tabela 1 apresenta os valores de umidade atual obtidos pela média de três repetições para os diferentes sistemas de manejo do solo analisados.

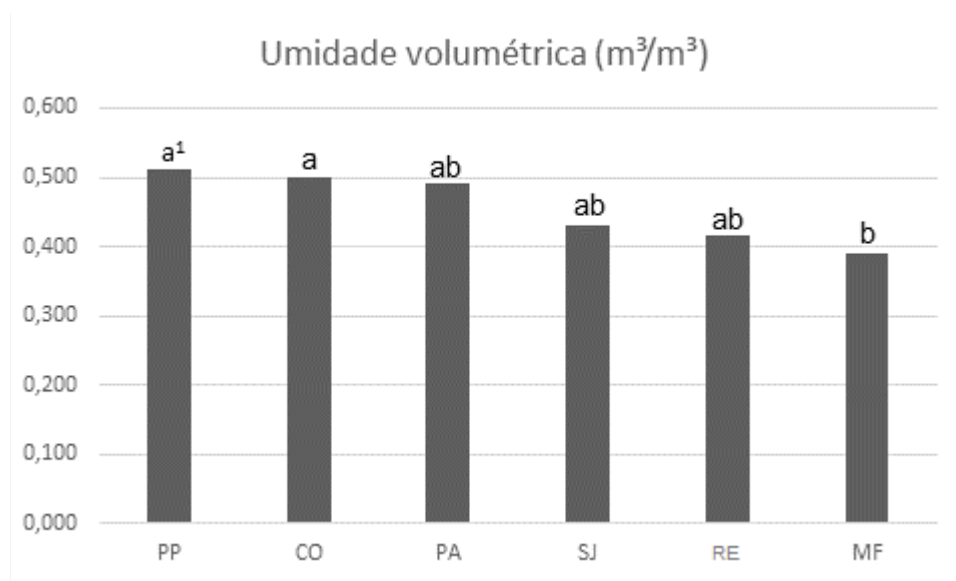
Tabela 1: Umidade atual média das áreas amostradas em base gravimétrica e volumétrica

Sistema de manejo	Umidade volumétrica (m ³ /m ³)	Umidade gravimétrica (kg/kg)	Fator f
PP	0,512 a ¹	0,437 a	1,436 a
CO	0,500 a	0,457 ab	1,456 a
PA	0,491 ab	0,385 abc	1,384 a
SJ	0,430 ab	0,346 bc	1,346 a
RE	0,416 ab	0,353 bc	1,352 a
MF	0,390 b	0,362 c	1,361 a

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Observando a Tabela 1 é possível verificar que o sistema de manejo PP apresentou maior teor de umidade de base volumétrica, seguido do sistema CO e da PA, como pode ser observado no gráfico da Figura 20.

Figura 20: Gráfico de umidade atual do solo em base volumétrica



PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula sob a barra, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autor, 2020. Fonte: Autor.

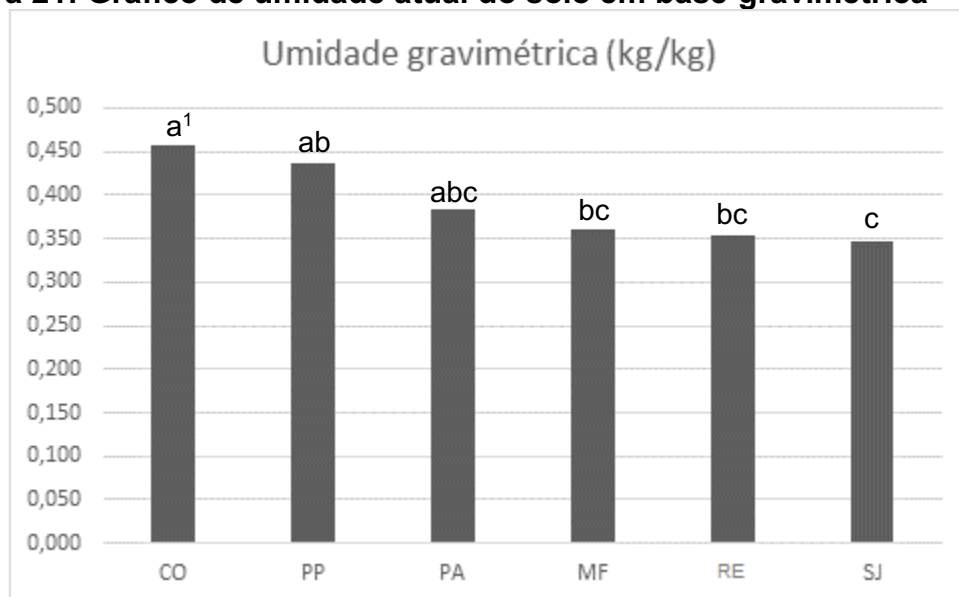
Desta forma pode-se afirmar que as áreas de pastagem sobre este tipo de solo têm maior volume de água em proporção ao volume de solo quando comparado aos outros tipos de uso, porém essa diferença é significativa somente quando comparada a área MF.

Isso pode-se atribuir ao fato de que na área MF durante a colheita do milho para silagem existe tráfego intenso com maquinário pesado sobre a área. Em seguida para se realizar o plantio do feijão sem que haja prejuízos futuros a penetração de suas raízes no solo devido a compactação ocasionada pelo trânsito das máquinas na colheita do milho, há a necessidade de intervenção mecânica neste solo de maneira a desfazer essa compactação (DE MORAES, 2016).

Também durante o plantio da aveia para cobertura do solo no período do inverno, há intervenção mecânica através do uso de grade aradora para cobrimento das sementes. De acordo com Oliveira (2016) isso pode desestruturar e expor parte ou totalmente a camada arável do solo, o que acaba facilitando a perda de água para a atmosfera razões pelas quais as áreas onde são desenvolvidas estas práticas apresentaram teor de umidade menor do que as outras áreas com exceção da RE.

Da mesma forma isso reflete nos valores do volume de água presente no solo como pode ser observado no gráfico da Figura 21, as áreas de pastagem apresentaram os maiores valores de umidade gravimétrica sendo considerados iguais estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 21: Gráfico de umidade atual do solo em base gravimétrica



PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula sob a barra, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autor, 2020. Fonte: Autor.

Mesmo estando em igualdade estatística com as áreas de PA, MF e RE, o solo do manejo de soja (SJ) foi o que expressou menor valor de umidade gravimétrica, porém este apresenta umidade volumétrica maior de que as áreas RE e MF. Isso indica que este solo possui maior densidade que os outros, devendo-se ao fato de o plantio direto ser menos agressivo mecanicamente a estrutura do solo no sentido de revolvimento do mesmo, porém este manejo implica no trânsito intenso de máquinas pesadas o que afeta diretamente a sua densidade de maneira a aumentá-la (BARROS, 2017; MOURA, 2019).

Os valores de fator f obtidos não diferiram estatisticamente para o solo de nem uma das áreas analisadas, isto indica que estes têm, a 5% de significância, a mesma capacidade de perder água para o ambiente quando exposto.

5.1.2 Densidade do solo

A Tabela 2 apresenta os resultados de densidade do solo obtidos nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm para os diferentes tipos de usos da terra.

Tabela 2: Comparação estatística entre as médias de densidade do solo em diferentes profundidades nas áreas com diferentes sistemas de manejo.

Profundidade (cm)	Área de amostragem	Densidade do solo (g/dm ³)
0 a 5	SJ	1,235 a ¹
	MF	1,223 a
	PA	1,187 a
	RE	1,148 a
	CO	1,087 a
	PP	1,071 a
5 a 10	SJ	1,224 a
	PA	1,207 a
	PP	1,181 a
	MF	1,177 a
	CO	1,095 a
	RE	1,072 a
10 a 15	SJ	1,269 a
	CO	1,188 a
	MF	1,168 a
	RE	1,166 a
	PP	1,165 a
	PA	1,159 a
15 a 20	SJ	1,230 a
	CO	1,204 a
	PP	1,177 a
	MF	1,153 a
	RE	1,123 a
	PA	1,102 a

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Observando a Tabela 2 é possível verificar que os dados não apresentaram diferença estatística nas médias de densidade do solo para todas as profundidades analisadas.

Isto se deve ao fato de o sistema de plantio ser feito com plantadeira de plantio direto a mais de dez anos que interfere menos na estrutura do solo comparado ao plantio convencional. Porém este manejo implica na utilização de máquinas pesadas durante a colheita, pulverização e plantio da cultura oferecendo forças de compactação ao solo que aliado ao alto teor de argila proporciona o aumento de sua densidade na camada arável (OLIVEIRA, 2016) (DOS SANTOS, 2012).

Foram também analisadas estatisticamente ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey as médias de densidade do solo entre as profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm dentro de cada área estudada. Os resultados desta análise podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Comparação estatística das médias de densidade do solo entre diferentes profundidades das áreas com usos distintos.

Área	Profundidade	Densidade g/dm ³
CO	15-20	1,204 a ¹
	10-15	1,188 a
	5-10	1,095 a
	0-5	1,087 a
MF	0-5	1,223 a
	5-10	1,177 a
	10-15	1,168 a
	15-20	1,153 a
SJ	10-15	1,269 a
	0-5	1,235 a
	15-20	1,230 a
	5-10	1,224 a
PA	5-10	1,207 a
	0-5	1,187 a
	10-15	1,159 a
	15-20	1,102 a

RE	10-15	1,166 a
	0-5	1,148 a
	15-20	1,123 a
	5-10	1,072 a
PP	5-10	1,181 a
	15-20	1,176 a
	10-15	1,165 a
	0-5	1,070 a

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autor, 2020.

Analisando a Tabela 3 percebe-se que em todas as áreas não houve diferença significativa de densidade do solo entre as profundidades amostradas dos diferentes sistemas de manejo adotados nas áreas. Resultados similares foram obtidos por Marasca (2013) trabalhando com um Nitossolo Vermelho distroférico no município de Botucatu-SP. Ainda de acordo com o mesmo isto pode ocorrer devido aos fatores que alteram a densidade do solo serem similares em todos os manejos.

Neste caso, embora ocorram de maneiras diferentes, temos a presença de fatores compactadores do solo em todos os manejos. Nas áreas de pastagem a compactação ocorre pelo pisoteio animal, nas áreas de SJ e MF a compactação se dá pelo trânsito de máquinas pesadas.

No caso de SJ isto também se dá por haver a ausência de revolvimento similarmente como na área RE, porém nesta não há o trânsito de máquinas e nem de animais, porém como o plantio dos eucaliptos foi feito sem critérios de distanciamentos fazendo com que se encontrem muito adensados o próprio crescimento de suas raízes podem gerar força de compactação do solo especialmente por se tratar de uma espécie de crescimento muito rápido e com pouca formação de serapilheira.

O desenvolvimento de culturas leguminosas como o feijão no período de safrinha e plantio de aveia no inverno para cobertura do solo com utilização de grade aradora, de acordo com Bavoso, (2010) e Torres (1998) pode contribuir para se obter valores menores de densidade em sistemas intensivos

de produção pois, ao se fazer a incorporação dos restos da cultura de feijão esta acaba por ajudar na estruturação do solo favorecendo a penetração das raízes fasciculadas da aveia que fazem a manutenção dessa estrutura após a descompactação proporcionada pela aragem.

Porém, este procedimento deve ser executado com cautela e em casos específicos em que a compactação passe a se tornar um fator limitante a produção e associado a técnicas de contenção da água pluvial pois especialmente no caso dos Nitossolos há o risco de danos por erosão hídrica dada sua predisposição a mesma (TOIGO, 2015).

5.1.3 Densidade de partículas

A densidade das partículas do solo corresponde apenas à sua fração sólida, desconsiderando então sua porosidade e umidade. Este parâmetro por definição diz respeito a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado por esta fração sólida. Os valores de densidade de partículas identificados para os solos analisados encontram-se relacionados na Tabela 4:

Tabela 4: Comparação estatística das médias de densidade de partículas do solo entre os diferentes usos.

Área	Densidade de Partículas g/cm ³
RE	1,973 a ¹
CO	1,960 a
MF	1,954 a
SJ	1,942 a
PA	1,936 a
PP	1,917 a

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Analisando a Tabela 4 pode-se observar que não houve diferença estatisticamente significativa entre a densidade de partículas do solo das áreas analisadas mesmo nelas sendo desempenhados usos e/ou manejos distintos.

Este fato já era esperado pois, a afetação do fator densidade de partículas pelos usos ou manejos agropecuários adotados é mínimo indo de acordo com o encontrado por Perin, 2015. Desta forma pelo fato das áreas analisadas possuírem a mesma rocha de origem e terem o mesmo tipo de solo (Nitossolo Vermelho distroférico - NVdf), pode-se concluir que os manejos desempenhados nestas não alteram a densidade das partículas do seu solo.

5.1.4 Limite de liquidez

A transição do solo do estado sólido para o estado líquido acontece de maneira gradual e, portanto, há sempre um valor de limite a ser arbitrado. A este se dá o nome de limite de liquidez que é então um fator de medição em kg/kg da quantidade de água presente em um solo acima do qual este passe a comportar-se da mesma maneira de que um líquido. Os valores de limite de liquidez identificados para os solos analisados encontram-se relacionados na Tabela 5:

Tabela 5: Comparação estatística das médias de limite de liquidez do solo entre os diferentes usos.

Área	Limite de Liquidez kg/kg
PP	0,597 a ¹
PA	0,559 a
SJ	0,535 a
CO	0,530 a
RE	0,522 a
MF	0,497 a

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Observando a Tabela 5 pode-se notar que não se identificou diferenças estatisticamente significativas na quantidade de água que os solos das áreas analisadas conseguem absorver até começarem a comportar-se de forma a ser um líquido.

Isto pode ser atribuído ao fato de que a matéria compositora dos solos analisados é basicamente a mesma por serem oriundos da mesma rocha mãe fazendo com que se comportem de maneira similar no que diz respeito ao limite de liquidez e, portanto, comprovando que os usos e manejos agropecuários tem interferência estatisticamente insignificantes para este parâmetro (PINTO, 2006).

5.1.5 Limite de pegajosidade

O limite de pegajosidade é um parâmetro criado para medir o limite da quantidade de água contida em uma porção de solo até que o mesmo apresente capacidade de aderência a objetos e é expressa em kg de água/kg de solo. Os valores de limite de pegajosidade identificados para os solos analisados encontram-se relacionados na Tabela 6:

Tabela 6: Comparação estatística das médias de limite de liquidez do solo entre os diferentes usos.

Área	Limite de Pegajosidade kg/kg
PA	21,576 a ¹
RE	20,833 a
MF	19,846 a
CO	19,693 a
PP	18,416 a
SJ	17,136 a

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Da mesma forma como nas análises de densidade de partículas e limite de liquidez o limite de pegajosidade não teve variação estatisticamente significativa entre os diferentes tratamentos o que também pode ser atribuído ao fato de se tratarem de áreas com o solo da mesma gênese geológica, assim, neste caso pode-se constatar que a quantidade de água absorvida até que o solo se comporte de forma pegajosa não é influenciada significativamente pelos manejos agropecuários desempenhados nas áreas estudadas.

5.1.6 Granulometria

A granulometria do solo representa a distribuição das partículas de diferentes naturezas em classes de tamanho, onde determina as dimensões das partículas e suas porcentagens. Esta pode contribuir para diversos projetos, como o de manejo de irrigação, recuperação de áreas degradadas e em diversas obras de engenharia (COELHO, 2017; BARBOZA, 2020). Desta forma, a Tabela 7 apresenta as porcentagens das frações granulométricas contidas em cada área analisada:

Tabela 7: Comparação estatística das médias de granulometria do solo entre os diferentes usos.

Área	Areia Fina %	Areia Grossa %	Silte %	Argila %
PA	15,06 a ¹	10,42 a	33,71 a	40,81 a
CO	14,26 a	8,02 a	37,43 a	40,29 a
PP	12,07 a	6,30 a	34,86 a	46,77 a
RE	11,39 ab	13,78 a	35,67 a	39,17 a
SJ	10,76 ab	10,02 a	33,48 a	45,74 a
MF	7,08 b	8,00 a	39,91 a	45,00 a

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autor, 2020.

Para as frações de areia grossa, silte e argila não foram observadas diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Já para a fração de areia fina pode-se perceber que houve diferença significativa entre as áreas de pastagem (PA, CO e PP) e a área MF a qual, porém não diferiu significativamente das áreas RE e SJ.

É perfeitamente normal que áreas submetidas a diferentes tipos de usos e manejos mantidos sob o mesmo tipo de solo apresentarem granulometria semelhante pois esta é fortemente relacionada ao seu material de origem (RAUBER, 2017). No entanto as frações de areia fina, silte e argila por se tratarem de partículas de menor tamanho podem ser mais facilmente alteradas

por fatores erosivos (MOMOLI, 2016), os quais são visivelmente presentes nas áreas SJ, MF e RE conforme citado anteriormente.

Um fator agravante ao processo de erosão hídrica é a compactação do solo. Embora todos as áreas analisadas neste estudo não apresentem diferenças significativas estatisticamente a respeito da densidade do solo pode-se observar pela Tabela 2 do item 5.1.2 que as áreas com maior valor de densidade do solo especialmente nas partes superficiais foram justamente as SJ, MF e RE.

5.1.7 Frações granulométricas de terra fina, cascalho e calhaus

A quantificação das frações de solo nesses moldes, embora muitas vezes ignorados, devem ser relevados especialmente em estudos de correção do solo e recuperação de áreas degradadas pois as frações mais grosseiras eventualmente recorrentes no solo tem alta demanda de espaço podendo assim afetar os cálculos de demanda de insumos como fertilizantes e calcário (MARTINS, 2019). Portanto na Tabela 8 são apresentados os valores de terra fina, cascalho e de calhaus para o solo das áreas estudadas bem como sua comparação estatística.

Tabela 8: Comparação estatística das médias de granulometria do solo entre os diferentes usos.

ÁREA	TERRA FINA %	CASCALHO %	CALHAUS %
RE	43,70 a ¹	56,29 a	0
MF	38,74 a	61,25 a	0
CO	38,27 a	61,72 a	0
PP	37,71 a	62,28 a	0
SJ	36,78 a	63,21 a	0
PA	36,33 a	63,66 a	0

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Não foi observada a presença de calhaus nas amostras de solo de quaisquer das áreas estudadas. Os valores de terra fina e cascalho não diferiram

significativamente entre as áreas analisadas aquiescendo com o disposto por Lepsch, 2016, onde atribui a baixa variação granulométrica dos Nitossolos Vermelhos mesmo em tratamentos distintos a sua alta concentração de argila e silte e aos seus característicos perfis longos o que faz com que seja aumentada sua homogeneidade granulométrica na camada arável.

5.1.8 Diagnóstico rápido de estrutura do solo - DRES

A avaliação estrutural do solo permite monitorar os efeitos dos manejos utilizados nos arranjos estruturais do solo pois reflete a natureza de seus componentes primários e expressa como estes estão agregados determinando assim a distribuição do tamanho de poros, a estabilidade de agregados, como o escoamento da água é afetado pelo uso bem como seu potencial de erosão, a idiosincrasia da fauna microbiana e a dinâmica da matéria orgânica (MELLONI, 2008).

Isto posto, o método DRES permite uma avaliação rápida e prática da qualidade estrutural dos solos podendo ser facilmente aplicada pelos próprios produtores rurais, portanto, são apresentados na Tabela 9 os índices de qualidade estrutural do solo das áreas analisadas:

Tabela 9: Comparação estatística das médias de granulometria do solo entre os diferentes usos.

AREA	IQES	QUALIDADE ESTRUTURAL
PA	5	Muito boa
RE	4,8	Boa
MF	5,33	Muito boa
SJ	5,25	Muito boa
PP	5.5	Muito boa
CO	5,83	Muito boa

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. Fonte: Autor, 2020.

No geral a qualidade estrutural do solo de todas as áreas apresenta-se como boa ou muito boa. Resultado este que entra em concordância

com o encontrado por Rech (2017) em seu estudo dos atributos físicos do Nitossolo Vermelho onde destaca que este tipo de solo possui grande estabilidade estrutural e resiliência a alterações providas de usos ou manejos agropecuários.

5.2 ANÁLISES QUÍMICAS

5.2.1 Matéria orgânica (MO), Fósforo (P) e Potássio (K)

Dada a importância dos macros nutrientes e da matéria orgânica presente no solo para o bom desenvolvimento das cultivares foram analisados e encontram-se destacados na Tabela 10 os teores matéria orgânica (MO), fósforo (P) e potássio (K) do solo nos diferentes usos.

Tabela 10: Comparação estatística das médias de matéria orgânica (MO), fósforo (P) e potássio (K) do solo entre os diferentes usos.

Área	MO (g/dm ³)		P (mg/dm ³)		K (cmol _c /dm ³)	
MF	35,74 a	MÉDIO	1,64 ab	BAIXO	0,13 c	BAIXO
CO	34,85 a	MÉDIO	0,86 bc	BAIXO	0,48 b	ALTO
RE	29,93 ab	MÉDIO	2,2 a	BAIXO	0,08 c	BAIXO
PP	28,14 ab	MÉDIO	0,43 c	BAIXO	1,21 a	ALTO
PA	22,78 b	BAIXO	1,19 bc	BAIXO	0,09 c	BAIXO
SJ	21,44 b	BAIXO	1,08 bc	BAIXO	0,1 c	BAIXO

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Os teores de K no solo foram considerados altos somente nas áreas CO e PP nas quais seu manejo do solo é praticamente idêntico, porém PP apresentou teor estatisticamente maior de que CO, isso pode ocorrer devido a diferença de porte dos animais que pastejam as áreas bem como a intensidade de pastejo e tempo de permanência dos animais na área, pois, estes eliminam K em sua urina, porém em diferentes volumes, de maneira que animais maiores tem maior volume de excreção de urina e isso acaba refletindo nos teores de K no solo (CLARK, 2019).

Na área CO o tempo de permanência dos animais é integral, porém trata-se de animais de pequeno porte, com menor intensidade de pastejo e, portanto, com baixo volume de urina excretada para o solo. Já na área PP os animais permanecem por menos tempo, porém com uma pressão de pastejo muito alta e por se tratar de animais de grande porte com grande volume de excreções sendo despejadas no solo os teores de K neste podem ser aumentados (ARAÚJO, 2008).

A ordem dos Nitossolos Vermelhos distroférico naturalmente apresentam baixos teores de P disponível, pois a maior parte fica imobilizada pelo Fe. Isto pode ser comprovado pelos dados constantes da Tabela 10 e a presente análise. Todas as áreas apresentaram baixos teores deste elemento mesmo nas que são aplicados fertilizantes químicos fosforados como MF e SJ, sendo a maior concentração encontrada na área RE e a menor na PP (PRESTES, 2017).

Todas as áreas apresentaram teor médio de MO com exceção de PA e SJ que apresentaram teor baixo e estatisticamente igual. Os maiores teores foram encontrados para as áreas MF e CO o que pode ser explicado pelo fato da área CO apresentar baixa pressão de pastejo e a área MF por sofrer grande intensidade de cultivos: milho, feijão e adubação verde com aveia no inverno deixando assim grande residual orgânico que é incorporado anualmente ao solo por aração acelerando assim ainda mais seu processo de decomposição e conseqüentemente de agregação ao solo (SANTOS, 2019).

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto, 2005 a quantidade de matéria orgânica do solo é um agente aglutinador existindo então uma correlação significativamente positiva entre matéria orgânica e a agregação do solo. Já em relação a densidade do solo esta correlação é inversa o que faz com que os efeitos dos agentes hídricos erosivos sejam intensificados.

Isto pode ser observado analisando a Tabela 2 onde apresenta a área SJ como a possuidora do solo com maior densidade e a Tabela 10 onde este tem a menor quantidade de matéria orgânica entre todas as áreas analisadas. Em se tratando de NVdf os problemas relacionados a erosão hídrica podem ser agravados devido a predisposição natural destes solos a esta, oriunda de seu horizonte nítico menos permeável que seus horizontes superficiais (DE SOUZA, 2017).

5.2.2 Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn)

Dada a relevância destes elementos ao bom desenvolvimento das cultivares, seguem relacionados na Tabela 11 os teores de Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn) encontrados para este solo em seus diferentes usos e manejos.

Tabela 11: Comparação estatística das médias de Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Manganês (Mn) do solo entre os diferentes usos.

Área	Cu (mg/dm ³)		Fe (mg/dm ³)		Zn (mg/dm ³)		Mn (mg/dm ³)	
MF	7,26 b	ALTO	27,56 c	MÉDIO	3,00 b	ALTO	187,48 ab	ALTO
CO	8,16 ab	ALTO	62,94 b	ALTO	4,35 a	ALTO	166,00 b	ALTO
RE	5,55 c	ALTO	27,68 c	MÉDIO	2,98 b	ALTO	197,94 a	ALTO
PP	8,4 ab	ALTO	99,55 a	ALTO	3,47 b	ALTO	103,64 c	ALTO
PA	5,06 c	ALTO	27,90 c	MÉDIO	1,89 c	MÉDIO	100,93 c	ALTO
SJ	8,84 a	ALTO	32,69 c	MÉDIO	1,84 c	MÉDIO	79,72 c	ALTO

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

O teor de Cu é considerado alto em todas as áreas analisadas com destaque para a área SJ onde foi encontrado a maior quantidade mesmo tratando-se de uma área com baixo pH e pobre em matéria orgânica os quais dão suporte a disposição deste elemento no solo. Isto pode ser atribuído ao fato de serem aplicados fungicidas a base de Cu na cultura da soja e este elemento por sua vez por possuir baixa mobilidade especialmente em solos argilosos fica retido em sua fase sólida (DE ARAÚJO SILVA, 2017).

As demais áreas com exceção de PA também apresentam concentrações de Cu consideradas altas, porém, neste caso isto pode ser atribuído ao fato destas terem apresentado quantidades consideradas médias de MO. Já PA por sua vez manifestou baixo teor de MO e alto teor de Cu, mas, no entanto, foi o menor entre todos os tratamentos.

Os NVdf contém naturalmente altos teores de Fe provindos de sua rocha mãe, porém, de todas as áreas analisadas as maiores quantidades de Fe

foram obtidas nas áreas de pastagem permanente (PP e CO) que também apresentam valores de umidade relativamente mais altos, em tese poderiam favorecer a oxidação do solo (ERDMANN, 2016).

No entanto, este fenômeno provavelmente ocorre devido a presença de animais de médio e grande porte que neste depositam suas excreções ricas em Fe e também a forma como ele é manejado, ou seja, o seu não revolvimento, o que faz com que haja uma conservação de suas estruturas e assim dificulte a oxidação do Fe^{+2} o que o converteria para óxido de ferro forma a qual não é absorvível pelas plantas (ERDMANN, 2016).

Pode-se observar também que mesmo ambas as áreas (PP e CO) apresentarem valores considerados altos de Fe a uma diferença estatisticamente significativa entre elas destacando-se a área PP com maior teor do elemento. Da mesma maneira como ocorrido para o elemento K, esta discrepância pode ser oriunda dos diferentes volumes de excreções animais dispostas ao solo que no caso de PP é maior do que em CO devido ao porte dos animais e ao regime de pastejo (ERDMANN, 2016).

Com exceção de PA, as demais áreas, por não ocorrerem aportes de dejetos contendo Fe obtiveram níveis considerados médios e estatisticamente iguais deste elemento, porém é interessante observar que a área PA pela característica do manejo do seu solo em incluir sucessivos revolvimentos anuais acaba por tornar o Fe menos disponível na forma Fe^{+2} transformando-o em óxidos de ferro (Fe_2O_3 e Fe_3O_4) e por vezes, em pHs mais alcalinos até em $FeOH_2$ e $FeOH_3$.

Na área SJ este procedimento é contrário, dado que nesta não há o aporte de excrementos animais, porém, devido ao fato de que a interferência oferecida a estrutura do solo pelo plantio direto é mínima e que o pH do seu solo é considerado baixo (Tabela 13) há uma compensação de fatores que fazem com que os teores de Fe de ambas as áreas (SJ e PA) apresentem igualdade estatística a 5% de significância.

Os teores de zinco foram considerados altos nas áreas CO, PP, MF e RE com destaque para CO que obteve o maior índice deste elemento diferindo estatisticamente dos demais a 5% de significância pelo teste de Tukey. As áreas SJ e PA também diferiram das demais, porém, estas igualaram-se entre si

apresentando os menores índices de Zn entre as áreas analisadas, sendo considerados de valor médio (DE OLIVEIRA, 2019).

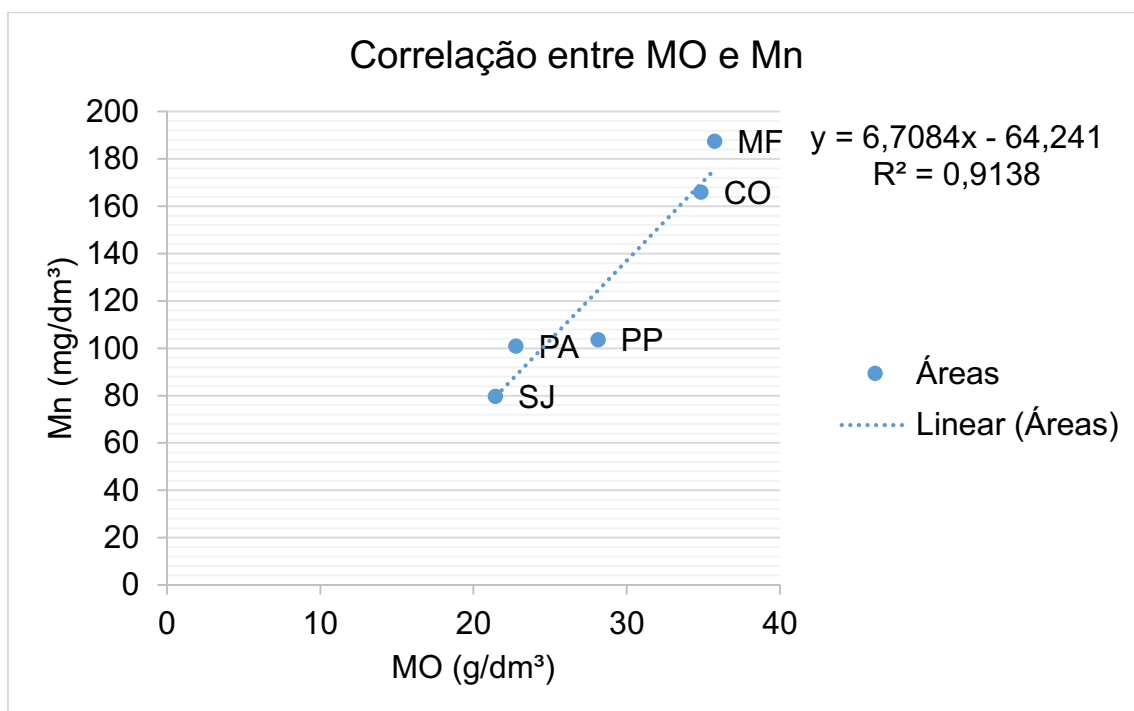
Sabe-se que Zn possui alta mobilidade no solo, porém alguns fatores podem agir de forma a aumentar ou diminuir os teores deste elemento, tais como erosão, compactação, altos níveis de P e Mn e pH alcalino. Portanto comparando as observações de campo e os índices de Zn nos solos verificou-se que nas áreas com maiores problemas de erosão foram verificados os menores índices deste elemento como é o caso das áreas SJ e PA conforme descrito anteriormente (DE OLIVEIRA, 2019).

Foram encontrados valores altos de Mn para todas as áreas analisadas destacando-se a área RE com um índice significativamente maior do que as demais. Isto se deve ao fato de que este elemento se concentra em maior quantidade nas folhas das plantas e menor nos caules, portando devido suas raízes longas, seu grande dossel foliar e seu plantio de maneira adensada o *Eucalyptus* cultivado nesta área faz a retirada do Mn em uma grande amplitude no solo, realiza a translocação deste para suas folhas e estas por sua vez, transcorrendo seu ciclo natural de abscisão foliar, são depositadas ao solo e então decompostas na serapilheira aumentando assim os níveis deste elemento nas camadas superficiais do solo (CORRÊA, 2016).

De acordo com Do Brasil Sobrinho (2020), há uma correlação positiva entre os níveis de matéria orgânica no solo e os níveis de Mn. Com exceção da área RE este efeito pode ser claramente observado em todas as áreas analisadas já que quanto menor forem os níveis de MO menor também serão os níveis de Mn como apresentado no gráfico da Figura 22.

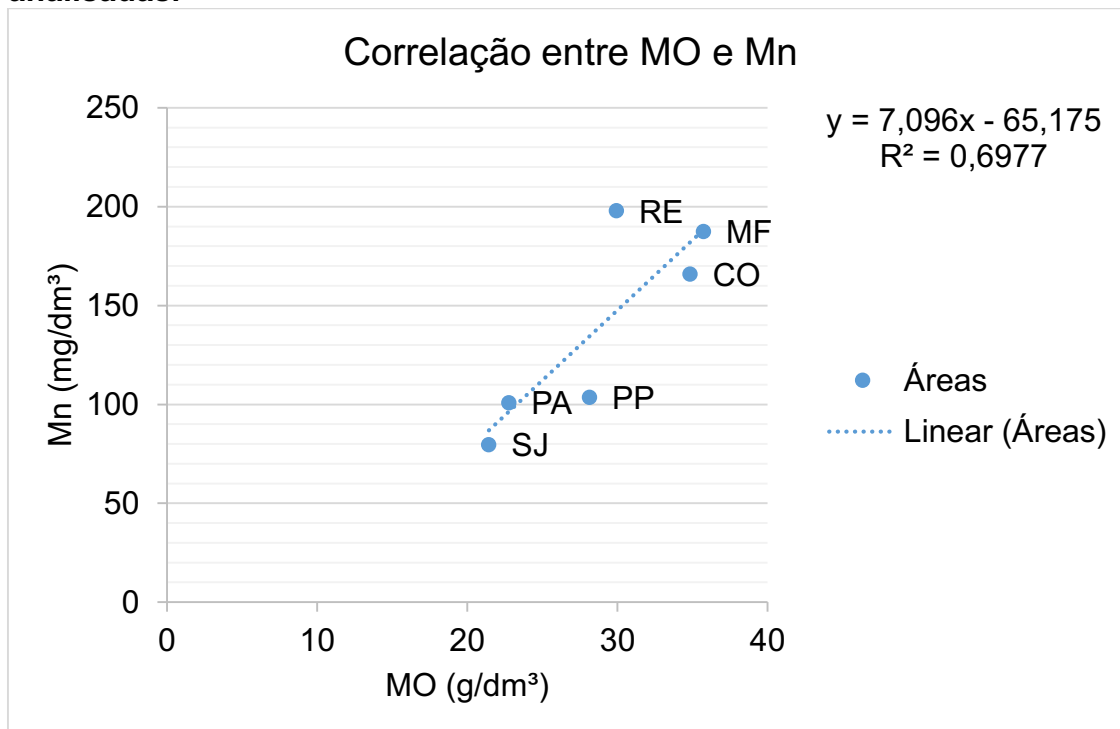
Estas dinâmicas são comuns em áreas de reflorestamento onde não existe diversidade de espécies arbóreas pois, ao realizarem a ciclagem de nutrientes do solo cada espécie tem sua particularidade em relação a absorção, bioacumulação e conseqüentemente a biomagnificação de determinados elementos e então sua emissão ao solo através do aporte de serapilheira fazendo com que nestas áreas não seja presente o equilíbrio como em uma floresta nativa (BANDEIRA, 2019).

Figura 22: Gráfico de correlação entre MO e Mn entre as áreas excetuando RE.



PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. Fonte: Autor, 2020.Fonte: Autor.

Figura 23: Gráfico de correlação entre MO e Mn entre todas as áreas analisadas.



PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. Fonte: Autor, 2020.Fonte: Autor.

A Figura 23 por sua vez apresenta um gráfico que correlaciona os valores de MO no solo de todas as áreas analisadas com seus respectivos índices de Mn. Já o gráfico da Figura 22 apresenta o mesmo teste de correlação para os dados, porém, desta vez excluindo os valores de MO e Mn obtidos para a área RE que, como citado anteriormente, possui uma particularidade em seu ciclo de Mn em relação as demais que faz com que seja aumentado o nível deste elemento em seu solo.

Desta forma é possível observar que o fator de correlação “R²” é significativamente maior quando excluídos os valores MO e Mn do teste, de forma que 0,9138 > 0,6977 e, portanto, o modelo linear passa a representar 91,38% da variância da variável Mn em relação à MO representando assim uma forte correlação entre elas.

5.2.3 Acidez trocável (Al⁺³), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e soma de bases (SB)

O conhecimento dos níveis destes indicadores pode auxiliar no melhoramento das formas de produção, portanto seguem relacionados na Tabela 12 os valores de Al⁺³, H+Al, cálcio Ca, Mg e SB nas áreas analisadas.

Tabela 12: Comparação estatística das médias de acidez trocável (Al⁺³), acidez potencial (H+Al), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e soma de bases (SB) do solo entre os diferentes usos.

Área	Al ⁺³ H+Al Ca Mg SB									
	(cmol _c /dm ³)									
MF	0d	BAIXO	3,68bc	MÉDIO	6,46a	ALTO	3,46b	ALTO	10,06b	ALTO
CO	0,40b	BAIXO	4,5ab	MÉDIO	5,1cd	ALTO	2,76bc	ALTO	8,35d	ALTO
RE	0d	BAIXO	3,85b	MÉDIO	6,63a	ALTO	4,56a	ALTO	11,28a	ALTO
PP	0,28c	BAIXO	4,07b	MÉDIO	5,53bc	ALTO	2,3c	ALTO	9,04c	ALTO
PA	0d	BAIXO	2,54c	MÉDIO	6,3ab	ALTO	4,73a	ALTO	11,13a	ALTO
SJ	1,83a	ALTO	5,63a	ALTO	4,6d	ALTO	3,3b	ALTO	8,00d	ALTO

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

A acidez trocável (Al^{+3}) foi considerada baixa para todas as áreas analisadas exceto para SJ onde foi encontrado um alto teor deste elemento. Isto também pode ser atribuído ao fato de nesta área existirem baixos teores de matéria orgânica como pode ser observado na Tabela 10, aliado aos fenômenos erosivos também presentes. As áreas MF, RE e PA tiveram total ausência deste elemento, já as áreas de pastagem permanente CO e PP apresentaram valores baixos, porém CO com valor pouco mais elevado de que PP diferindo estatisticamente um do outro (DE PASSOS, 2016).

Com relação a acidez potencial ($H+Al$), mesmo algumas diferindo estatisticamente, as áreas apresentaram valores considerados médios novamente com exceção de SJ que apresentou valor alto devido a sua também alta saturação por Al^{+3} . Assim, exceto SJ as demais áreas restringiram seus valores de acidez potencial quase que somente a acidez não trocável (H) (DE PASSOS, 2016).

Nos parâmetros Ca, Mg e SB todas as áreas apresentaram teores considerados altos destacando-se RE com maiores valores nos três e SJ com os menores valores em Ca e SB. As áreas de pastagem permanente CO e PP apresentaram valores abaixo das demais com exceção de em SJ, sendo assim um indicador de qualidade deste manejo.

5.2.4 Potencial hidrogeniônico (pH), índice SMP, V%, saturação por alumínio e CTC

É necessário analisar e compreender a interação destes componentes do solo a fim de desenvolver as atividades de cultivo sem que haja o desequilíbrio da sustentabilidade do solo à produção. Portanto, estes dados encontrados para as áreas analisadas são observados na Tabela 13.

Os valores de pH foram considerados médios para todas as áreas com exceção de SJ que apresentou valor considerado baixo, porém, com SMP e V% considerados médios. Isto se deve ao fato de que mesmo nas condições de degradação erosiva em que se encontra este solo este ainda assim, consegue manter valores altos de Ca e Mg (DE PASSOS, 2016).

Tabela 13: Comparação estatística das médias de potencial hidrogeniônico (Ph), índice SMP, V%, saturação por alumínio e CTC do solo entre os diferentes usos.

Área	pH (CaCl ₂)	SMP	V%	Sat. Al (%)	CTC					
MF	5,1 c	Médio	6,4 a	Médio	73,22 bc	Alto	0 d	Baixo	13,75 ab	Alto
CO	4,7 d	Médio	6,13 bc	Médio	64,99 d	Médio	4,6 b	Baixo	12,85 b	Alto
RE	5,46 b	Médio	6,36 b	Médio	74,77 b	Alto	0 d	Baixo	15,14 a	Alto
PP	4,7 d	Médio	6,26 b	Médio	68,95 cd	Médio	2,96 c	Baixo	13,12 b	Alto
PA	6 a	Médio	6,9 a	Alto	81,41 a	Alto	0 d	Baixo	13,59 ab	Alto
SJ	4,4 e	Baixo	5,83 c	Médio	58,72 e	Médio	18,6 a	Médio	13,64 ab	Alto

PA=pastagem anual; PP=pastagem permanente; MF=silagem de milho e feijão; RE=reflorestamento com eucalipto SJ=soja; CO=caprinocultura e ovinocultura. ¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Autor, 2020.

Dentre as demais áreas a que obteve maior valor de pH diferindo das restantes foi PA que conseqüentemente teve maior valor de SMP e V% e assim como RE e MF obtiveram nulidade na saturação por Al. Todas as áreas apresentaram valores de CTC considerados altos, porém em SJ o valor de saturação por Al foi superior ao valor da CTC significando, portanto que nesta há a presença de toxicidade por Al às plantas o que torna urgente a aplicação de corretivos como calcário dolomítico visando manter a sustentabilidade produtiva.

6 CONCLUSÃO

Os parâmetros físicos do solo sofreram pouca alteração em decorrência dos diferentes sistemas de manejo sendo que as únicas diferenças estatisticamente significativas ocorreram em relação a umidade.

Em relação aos parâmetros químicos, a área que apresentou as maiores alterações em decorrência do sistema de manejo foi SJ, com fortes indicadores de degradação sobretudo acarretados por problemas relacionados a má gestão da água pluvial.

As áreas PP e CO apresentaram similaridade na maioria dos parâmetros físicos e químicos diferenciando-se somente naqueles que podem sofrer maior influência devido ao porte dos animais criados na área. Já PA acabou diferindo das demais áreas especialmente em relação aos parâmetros que são maiormente influenciados por duas características específicas de seu sistema de manejo que são o plantio convencional da pastagem anual a qual é submetido e ao regime de pastejo em que o tempo de permanência dos animais na área é limitado.

Mesmo submetida a exploração agrícola intensa a área MF no geral apresentou os melhores resultados de química e física demonstrando assim que a mescla entre plantio convencional e direto nestes moldes podem gerar resultados satisfatórios em NVdf, porém demonstrando alguns sinais de problemas erosivos a serem sanados.

Em RE pode-se evidenciar que mesmo se tratando de um agro ecossistema florestal o plantio de Eucaliptos neste tipo de solo pode alterar suas características físicas de umidade e estrutura do solo especialmente pelo fato de ter sido plantado de forma desordenada e excessivamente adensado. Da mesma forma exerceu influência nos teores de Manganês o qual é o elemento químicos mais suscetível a alterações decorrentes de sistemas de manejo desta natureza.

Portanto, pode-se sugerir algumas melhorias nos manejos das áreas como a construção de sistemas de drenagem pluvial eficientes, aplicação de calcário para correção de pH em SJ e para manutenção do mesmo no restante das áreas, aplicação ou adequação na adubação com NPK em MF, PA e SJ, produção de adubação verde em PA e SJ e o raleamento arbóreo na área RE.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W.G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 11, 2012.

APARECIDO, L. E. D. O., Rolim, G. D. S., RICHETTI, J., SOUZA, P. S. D., & JOHANN, J. A. **Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.

ARAÚJO, L.C., SANTOS, A.C., FERREIRA, E.M., CUNHA, O.F.R. **Fontes de matéria orgânica como alternativa na melhoria das características químicas do solo e produtividade do capim-mombaça**. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 6, n. 1, p. 65-72, 2008.

BANDEIRA L. B., DE MEDEIROS B. C.; DO SOCORRO R., M. **Aporte de serrapilheira e nutrientes no solo em áreas com mata nativa e reflorestadas**. *Habitats Urbanos e Rurais*, p. 97 - 109, 2019.

BARBIERI, Rosa Lía; STUMPF, Elisabeth Regina Tempel. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008., 2008.

BARBOZA, Eliezio Nascimento, et al. **Análise granulométrica de uma amostra de solo de uma instituição de ensino superior (ies) em Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil**. *Acta de Estudos Interdisciplinares*, v. 2.1, p. 1-7, 2020.

BARROS, Leonardo Rodrigues, et al. **Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto**. Universidade Federal de Goiás, 62 f., 2017.

BAVOSO, Marina Araújo et al. **Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 1, 2010.

BERTONI, José; NETO, Francisco, L. **Conservação do solo.** São Paulo:Ícone, 2008.

BERTOLLO, Altamir Mateus; LEVIEN, Renato. **Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v.25, n. 3, p. 208-218, 2019.

BITAR, Omar Y. **Meio ambiente & geologia.** Senac, 2017.

BRIZZI, Raphael Rodrigues, et al. **Avaliação macro e microestrutural de solos sob diferentes usos a partir de análises físicas, microscopia eletrônica e espectroscopia por energia dispersiva.** Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v.46, n. 1, p. 41-57, 2019.

CASTILHO, K. B. et al. **Análise multivariada da qualidade química de um Latossolo sob sistemas de manejo do solo.** Embrapa Semiárido, v. 10, n. 36, p. 162-169, 2017.

CASTRO, César Nunes de. **Pesquisa agropecuária pública brasileira: histórico e perspectivas.** IPEA: Boletim Regional, Urbano e Ambiental, V. 15, p. 45-52, 2016.

CAVALCANTE, Eloiza Gomes Silva et al. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos.** Ilha Solteira – SP, Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 1329-1339, 2007.

CLARK, Fabrício C. B. et al. **Desenvolvimento de cultivares de alfaca submetidas a diferentes doses de urina de vaca.** Universidade federal de alagoas – UFAL, p. 34, 2019.

COELHO, Rebeca Durço, et al. **Distribuição granulométrica dos solos e o desenvolvimento dos escorregamentos rasos na Serra do Mar (SP)**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. v. 1: p. 4119-4128, 2017.

CORREA, E. A. et al. **Resistência à penetração e densidade do solo como indicadores na análise da susceptibilidade a erosão hídrica dos solos**. Revista Geonorte, v. 5, n. 21, p. 141-146, 2014.

CORRÊA, R. S. SCHUMACHER, M. V. MOMOLLI, D. R. **Deposição de serapilheira e micronutrientes ao longo das estações do ano em um plantio de eucalipto estabelecido sobre pastagem natural degradada no bioma pampa**. Scientia Forestalis, v. 44, n. 110, p. 435-442, 2016.

COSTA, R. V. et al. **Minerais ferruginosos e fertilidade natural de solos magnéticos do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária), v. 13, n. 2, p. 5517, 2018.

CRUSOÉ ROCHA, G. **Qualidade física do solo em sistemas de manejo do Plantio Direto**. Safra News, www.safranews.com.br, 14 mar. 2008.

CURCIO, G. R. **Processos erosivos no Subplanalto de Cascavel**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Pronasolos – PR. Disponível em: < [Http://www.pronasolos.pr.gov.br/galeria/18/87](http://www.pronasolos.pr.gov.br/galeria/18/87) >. Acesso em: 03 fev. 2020.

CURCIO, G. R., BONNET, A., BRUSTOLON, R. **Nitossolo Vermelho do subplanalto de cascavel – Características e potencial de uso**. Nota Técnica - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Pronasolos – PR. p. 15, 2016.

CURI, Nilton. **Vocabulário de ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M.S.; GIONGO, V. **Matéria orgânica do solo.** Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico - ALICE, p. 273-293, 2015.

DA CUNHA, N. G., SILVEIRA, R. D. C., KOESTER, E., de OLIVEIRA, L. D., FILIPPINI ALBA, J. M., TERRES, V., & LOPES, R. **Estudo de Solos do Município de Erval Seco, RS.** Embrapa Clima Temperado - Circular Técnica, 111. v. 1, p. 1516-8832, 2011.

DE ARAÚJO SILVA, B., SCORIZA, R. N. CORREIA, M. E. F. **Ecotoxicological potential of copper-based organic fungicide in non-target soil organisms** Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária), v. 11, n. 4, p. 304-309, 2017.

DE FREITAS, Ludmila, OLIVEIRA, Ivanildo, A., et al. **Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Unimar Ciências V. 26, p. 8-25, 2017.

DE MORAES, M. T., Debiasi, H., FRANCHIN, J. C., & DA SILVA, V. R. **Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 186, 2016.

DENARDIN, José Eloir. **Fatos e mitos em ciência do solo: Física, manejo e conservação do solo.** Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, v. 40, p. 18-21, 2015.

DE OLIVEIRA, D. A. **Valores orientadores de prevenção para cobre e zinco em solos do estado de Santa Catarina.** Tese de doutorado - Pós-Graduação em Ciência do Solo – UDESC, p. 205, 2019.

DE PASSOS, M. et al. **Influência de atributos químicos na erodibilidade e tolerância de perda de solo na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados.** Geociências (São Paulo), v. 35, n. 1, p. 63-76, 2016.

DE SÁ SOUZA, Marcondes et al. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais.** Serra Talhada – PE, PUBVET, v. 12, p. 172, 2018.

DE SOUZA, B. B. et al. **Efeito da erosão do horizonte superficial do solo na produtividade da cana-de-açúcar.** XI AGROENERGIA – Matérias Primas, 2017.

DO BRASIL SOBRINHO, M. C., FREIRE, O., ABRAHÃO, I. O., & MARCONI, A. (2020). **Zinco no solo e na planta.** BRAZILIAN JOURNAL OF AGRICULTURE-Revista de Agricultura, v. 54, n. 3, p. 139-148, 2020.

DORTZBACH, D. et al. **Avaliação de áreas produtoras de vinhos finos de altitude de acordo com a sua aptidão ou potencial agrícola das terras.** Agropecuária Catarinense, v. 30, n. 3, p. 67-71, 2017.

DOS SANTOS, Diego, et al. **Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja.** Rev. Bras. Engenh. Agr. Amb, v. 16, n.8, p. 843-848, 2012.

DUTRA, Rodrigo Marciel Soares; DE SOUZA, Murilo Mendonça Oliveira. **Cerrado, revolução verde e evolução do consumo de agrotóxicos.** Sociedade & Natureza, v. 29, n. 3, p. 473-488, 2017.

EMBRAPA. **Agrobiologia.** Parque estação Biológica, Brasília – DF, 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrobiologia/pesquisa-e-desenvolvimento/pastagens>> Acesso em 10/05/2019.

ERDMANN, L. F. **Eficiência do dejetos líquido suíno na fertilização do milho em aplicação superficial injetado no solo,** Dissertação de Mestrado – UDESC, p. 97, 2016.

ERTHAL, E. S.; BERTICILLI, R. **Sustentabilidade: agricultura irrigada e seus impactos ambientais.** CIÊNCIA & TECNOLOGIA, v. 2, n. 1, p. 64-74, 2018.

FACTOR, T. L. et al. **Correção do solo e adubação**. Cebola do plantio a colheita, v. 1, p. 58-77, 2018.

FAVARATO, L. F. et al. **Manejo da fertilidade do solo para uma produção agropecuária mais sustentável**. Incaper em revista, v. 10, p. 42, 2019.

FELDENS, Leopoldo. **O homem, a agricultura e a história**. UNIVATES, 1ª Edição, p. 171, 2018.

GERHARDT, Marcos. **Uma história ambiental da modernização da agricultura: o norte do Rio Grande do Sul**. Revista História: Debates e Tendências, v. 16, n. 1, p. 166-180, 2016.

GUSMÃO FILHO, Jaime De A. **Solos-Da Formação Geológica ao Uso na Engenharia**. Editora Universitária UFPE, ed. 2, p. 198, 2016.

HALISKI, A. et al. **Acidez do solo e toxicidade do alumínio em sistema plantio direto de longa duração**. Tese – UEPG, p. 144, 2018.

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L. **Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil**. Informações Agronômicas, n. 153, 2016.

Instituto de Terras Cartografia e Geociências – ITCG. **Mapa das Formações Fitogeográficas do Estado do Paraná (2009)**. Disponível em:<
http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fitogeografico_A3.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2019.

Instituto de Terras Cartografia e Geociências – ITCG. **Solos - Estado do Paraná (2008)**. Disponível em:<
http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Solos.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.

JUNIOR, A. B. et al. **A importância do Plantio Direto e do Plantio Convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo.** Revista Conexão eletrônica. Três Lagoas, MS, v. 12, n. 1, 2015.

JÚNIOR, L. B. B. et al. **Avaliação da cultura da mandioca em diferentes sistemas de manejo do solo.** Global Science and Technology, v. 12, n. 2, 2019.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de textos, 2016.

LIMA, v.c., de LIMA, M.R., Melo, V. de F. **Conhecendo os principais solos do paraná.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 18, 2012.

LOPES, A. S. GUILHERME, L. R. G. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola.** Fertilidade do solo, p. 2-64, 2007.

MACHADO, Pedro L.O. de A.; BERNARDI, Alberto C. de C.; SILVA, Carlos A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

MACEDO, Manuel Cláudio Mota et al. **Degrada o de pastagens, alternativas de recupera o e renova o, e formas de mitiga o.** In: Embrapa Gado de Corte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO DE ADUBA O DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA-TEC-FÉRTIL, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. Anais Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181., 2013.

MARASCA, Indiamara, et.al. **Propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em fun o dos sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.11, p.1160–1166, 2013.

MARTINS, Emanuel Lima, et al. **Effects of soil bulk density and coarse fraction spatial variability on nutrient stocks estimation in degraded soil.** Brazilian Journal of Development, v. 5, n.12, p. 29434-29449, 2019.

MATEUS, Antônio. **Solo a pele da Terra: Solo – recurso natural a preservar.** Lisboa, Departamento de Geologia da FCUL, p. 45, 2008.

MELLONI, Rogério, E. G. P. Melloni, M. I. N. Alvarenga. **Indicadores da qualidade do solo.** Informe agropecuário v.29, n. 244, p. 17-29, 2008.

MENDONÇA, E. de S. et al. **Sistemas de manejo de pastagens no Brasil: análise crítica.** Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE), c. 28, p. 585-612, 2015.

MINEROPAR–MINERAIS, DO PARANÁ. **Atlas Comentado da Geologia e dos Recursos Minerais do Estado do Paraná.** Secretaria da Indústria, do Comércio e do Turismo/MINEROPAR, Curitiba, 2001.

MOMOLI, Renata Santos; COOPER, Miguel. **Erosão hídrica em solos cultivados e sob mata ciliar.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n.9, p. 1295-1305, 2016.

MOURA, Jean Carlos; BARBOSA, BORGES, Márcia Aparecida; CARDOSO, Saulo Strazeio. **Interferência da compactação do solo no manejo de altas produtividades na cultura da soja.** Nucleus, v. 16.1, p. 205-214, 2019.

MUGGLER, Cristine C.; SOBRINHO, Araújo P.; ARAÚJO, Fábio de; AZEVEDO, Vinícius M. **Educação em solos: princípios, teoria e métodos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 4, 2006.

NETTO, Cirilo de Freitas et al. **Projeções da perda de solo no estado do paraná ao longo do século xxi, por meio da simulação da erosividade em cenários de mudanças climáticas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia

Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. f. 87, 2017.

OLIVEIRA, Ismênia Ribeiro de, et. al. **Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto**. *Pesq. agropec. bras*, v.51, n.9, p.1699-1702, 2016.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Estadual Paraná, p. 418, 2017.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.; MIYAZAWA, M. **Determinação indireta da acidez extraível do solo (H + Al) por potenciometria com a solução-tampão SMP**. *Arq. Biol. Tecnol.*, v. 39, p.307-312, 1996.

PÉREZ, D. V.; BREFIN, M. de L. M.; POLIDORO, J. C. **Solo, da origem da vida ao alicerce das civilizações: uso, manejo e gestão**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1678-3921, 2016.

PERIN, L. D. **Atributos físicos de um Nitossolo Vermelho sob diferentes usos em Dois Vizinhos-PR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bachelor's thesis, 2015.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos e 16 aulas– 3ª Edição**. Oficina de textos, p.65-342, 2006.

PORTUGAL, Arley Figueiredo et. al. **Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Haplico Tb distrófico sob diferentes usos na zona da mata mineira**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v. 32, n. 1, 2008.

PRADO, Rachel B.; TURETTA, Ana P. D.; DE ANDRADE, Aluísio G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

PRESTES J. V. J. **Formas de fósforo no solo sob utilização de estimulador microbiológico.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, P. 31, 2017.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** São Paulo: Nobel, 2002.

PUGA, A. P. et al. **Leaching and fractionation of heavy metals in mining soils amended with biochar.** Soil and Tillage Research, v. 164, p. 25-33, 2016.

RALISCH, R. et.al. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES.** Embrapa Solos-Capítulo em livro técnico INFOTECA-E, p. 63, 2017.

RATZEL, Friedrich. **O solo, a sociedade e o Estado.** Revista do Departamento de Geografia, v. 2, p. 93-101, 2011.

RAUBER, Luiz Paulo; ANDRADE, Andréia Patrícia; MAFRA, Álvaro Luiz. **Soil organic carbon stocks in granulometric fractions under use and management systems with swine and poultry manure.** Brazilian Journal of Agriculture-Revista de Agricultura, v. 92.2, p. 101-114, 2017.

RAVELLI, M. B. **Rotação e técnicas de manejo de biomassa em sistema plantio direto no cultivo de soja e milho.** Tese (doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, p. 96, 2016.

REICHERT, J. M., REINERT D. J., BRAIDA, J. A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas.** Ci. Amb v. 27, p. 29-48, 2003.

Reinert, D. J., & Reichert, J. M. **Propriedades físicas do solo.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. p. 18, 2006.

RODRIGUES, M. A. & ARROBAS, Margarida. **Manutenção do solo.** Amendoeira: Estado da Produção, p. 185-231, 2017.

ROSSA, Uberson B. **Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, v. 137, 2006.

SANTANA, J. S. et al. **Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional**. Enciclopédia biosfera, v. 15, n. 27, p. 22-42, 2018.

SANTOS, A. V. dos. **Adubação com manganês e seu efeito no solo e na planta**. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, 2017.

SANTOS, Laura Carvalho. **Disponibilização de nutrientes de composto de peixe e maravalha (madeira) em função do tempo de incorporação no solo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – UNESP, p. 37, 2019.

SANTOS, Raphael, et.al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMPRAPA. 5º edição, 2005.

SCHROEDER, D. GETHING, P. A. LOPES, A. S. **Solo – Fatos e conceito**. Copyright da edição em português, International Potash Institute. p. 178, 2017.

SERRA, Letícia, S.; MENDES, Marcela, R. F.; SOARES, Maria, V. de A.; MONTEIRO, Isabella, P. **Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos**. Maranhão, Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB, n. 4, 2016.

SIQUEIRA, P. R. E.; SIQUEIRA, P. R. B.. **Disponibilidade de Micronutrientes nas Lavouras de Soja da Região da Campanha**. Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp, v.13, p. 403-411, 2016.

SOARES FILHO, Adelsom. **Análise de processos de transformações da paisagem com base em espectroscopia de reflectância e sensoriamento**

remoto multiespectral: estudo de caso no Núcleo de Gilbués, Piauí-Brasil.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP. p.135, 2015.

STEFANOSKI, Diane C., et al. **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física.** Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, vol. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.

TAIZ, Lincoln, et.al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** Ed. 6, p. 858, 2017.

TOIGO, S. et al. **Atributos físicos de um Nitossolo Vermelho cultivado com trigo, em sistema plantio direto, submetido à compactação e escarificação.** Revista engenharia na agricultura-reveng, v. 23, n. 1, p. 19-28, 2015.

TORRES, E. et al. **Compactação do solo.** Embrapa Pecuária Sudeste- Capítulo em livro científico (ALICE), 1998.

VEIGA, Milton da et al. **Propriedade de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. p. 126, 2005.

VEZZANI, Fabiane Machado. **Solos e os serviços ecossistêmicos.** Rev Bras Geog Fís, v. 8, p. 673-684, 2015.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. **Uma visão sobre qualidade do solo.** Revista brasileira de ciência do solo. Viçosa - MG. v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VIEIRA FILHO, J. E. R. et al. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade.** p. 391, 2016.

VILELA, E. F. et al. **Soil genesis, mineralogy and chemical composition in a steatite-serpentinite outcrop under tropical humid climate in Bom Sucesso, Brazil.** Tese de doutorado – UFLA, 2019.

WREGGE, M. S., STEINMETZ, S., Reisser Júnior, C., & de ALMEIDA, I. R., et. al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

ANEXOS

ANEXO I

QUADRO 1. Tempo de sedimentação calculado para a fração silte ($0,002 \text{ mm} < \varnothing < 0,05 \text{ mm}$) em função da temperatura da suspensão para a profundidade de 5 cm e para solos com densidade de partículas média de $2,65 \text{ kg/dm}^3$, em determinação efetuada ao nível do mar.

Temperatura	Tempo de Sedimentação	
	horas	minutos
°C		
15	4	23
16	4	16
17	4	10
18	4	4
19	3	58
20	3	52
21	3	46
22	3	41
23	3	36
24	3	31
25	3	16
26	3	21
27	3	17
28	3	13
29	3	9
30	3	5

Fonte: Almeida et al. (2012)

ANEXO II

QUADRO 2. Atribuição das notas de qualidade estrutural de cada camada da amostra de solo (Qec).

Condição inicial	Amostra com evidências de conservação/recuperação			Amostra com evidências de degradação		
	Notas	6	5	4	3	2
Tamanho do agregado	Mais de 70% de agregados com 1 a 4 cm	50% a 70% agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	50% a 70% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	Mais de 70% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm
Características da estrutura	Estrutura friável, agregados muito grumosos e porosos, com atividade biológica alta. Raízes abundantes e bem distribuídas na camada avaliada, sem deformações ocasionadas por impedimentos físicos, crescendo através dos agregados	Estrutura friável, agregados grumosos e porosos, com mediana atividade biológica. Raízes bem distribuídas na camada avaliada, podendo apresentar poucos sinais de restrição ao crescimento. As raízes crescem predominantemente através dos agregados	Estrutura friável, pouco grumosa, poucos poros e fraca atividade biológica. Raízes podem apresentar algum impedimento ao desenvolvimento	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com poucos poros e atividade biológica. Pode apresentar raízes achatadas com dificuldade para desenvolvimento pleno na camada avaliada	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com alguns poros e pouca atividade biológica. Desenvolvimento radicular limitado, com predomínio de raízes achatadas com dificuldade para penetração no interior dos agregados	Estrutura coesa nos agregados grandes e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, sem poros visíveis e atividade biológica. Forte restrição ao desenvolvimento radicular, com predomínio de raízes achatadas, crescendo preferencialmente nas fissuras entre os agregados
Gradiente	Grumosidade, atividade biológica, porosidade, raízes bem desenvolvidas			Superfícies planas, raízes achatadas, solos desagregados ou compactados		
	←-----			-----→		

Fonte: Adaptado de Ralisch et al. (2017)

ANEXO III

QUADRO 3. Recomendações de melhoria no manejo com base no IQES.

IQES	Qualidade estrutural	Recomendação de melhorias
6,0-5,0	Muito boa	Manter o sistema de manejo utilizado, atentando para a possibilidade de adoção de novas tecnologias conservacionistas
4,0-4,9	Boa	Intensificar o uso de sistemas diversificados de produção com alta capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes (ex.: gramíneas). Verificar se não há necessidade de interferir na estratégia de rotação e consorciação de culturas adotada no sistema de produção
3,0-3,9	Regular	Aprimorar o sistema de produção ampliando a diversificação de espécies vegetais com alta capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes (ex.: gramíneas) e evitar/eliminar operações mecanizadas no preparo do solo. Gerenciar as operações mecanizadas visando redução de tráfego
2,0-2,9	Ruim	Realizar um diagnóstico da área, incluindo as condições químicas e físicas no perfil, revisando as práticas conservacionistas do solo (ex.: terraceamento, alocação de estradas e operações em nível). Rever e aprimorar o sistema de produção utilizado, aumentando a diversidade de espécies vegetais e priorizando culturas com alta capacidade de aporte de biomassa aérea do solo e raízes (ex.: gramíneas). Na recuperação do solo, preferir o uso de plantas recuperadoras do solo, em relação ao emprego de práticas mecânicas. Evitar operações de preparo de solo mesmo as realizadas esporadicamente. Racionalizar o tráfego de máquinas agrícolas
1,0-1,9	Muito ruim	Realizar um diagnóstico aprofundado da área, incluindo as condições químicas e físicas no perfil; adotar e/ou readequar as práticas conservacionistas mecânicas (ex.: terraceamento, alocação de estradas, operações em nível) e vegetativas (cultivo em nível, faixas de retenção, consorciação e rotação de culturas) do solo. Repensar o sistema de produção utilizado. Adotar estratégias integradas de recuperação que envolvam sistemas diversificados de produção com alta capacidade de aporte de fitomassa aérea e raízes, podendo requerer intervenções mecânicas de recuperação física do solo, desde que adotadas criteriosamente, considerando a umidade do solo, as condições do equipamento e a velocidade adequada, entre outras. Inclusão de gramíneas no sistema, de preferência com pastejo, com correto manejo da pastagem e ajuste de lotação, visando intensificar a recuperação da estrutura do solo. Uso de adubação orgânica de forma criteriosa pode ajudar

Fonte: Manual de Métodos de Análise de Solo. EMBRAPA (2017)

ANEXO III

QUADRO 4. Relação da quantidade de calcário com base no índice SMP.

Índice SMP	pH desejado	
	5,5	6
	toneladas / hectare (t.ha ⁻¹)	
>/= 4,4	15	21
4,5	12,5	17,3
4,6	10,9	15,1
4,7	9,6	13,3
4,8	8,5	11,9
4,9	7,7	10,7
5	6,6	9,9
5,1	6	9,1
5,2	5,3	8,3
5,3	4,8	7,5
5,4	4,2	6,8
5,5	3,7	6,1
5,6	3,2	5,4
5,7	2,8	4,8
5,8	2,3	4,2
5,9	2	3,7
6	1,6	3,2
6,1	1,3	2,7
6,2	1	2,2
6,3	0,8	1,8
6,4	0,6	1,4
6,5	0,4	1,1
6,6	0,2	0,8
6,7	0	0,5
6,8	0	0,3
6,9	0	0,2
7	0	0

Fonte: Rossa (2006).