

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

PAULA ARRIERO PELOZATO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS NA ANÁLISE DE
ATRIBUTOS DO SOLO**

Ilha Solteira
2024

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PAULA ARRIERO PELOZATO

ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS NA ANÁLISE DE ATRIBUTOS DO SOLO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof^a. Dr. Glaucia Amorim Faria
Orientador

Dr. Lucas Menezes Felizardo
Prof^a. Dr. Thais Soto Boni
Coorientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P392a Pelozato, Paula Arriero.
Análise comparativa de técnicas estatísticas na análise de atributos do solo /
Paula Arriero Pelozato. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
59 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2024

Orientador: Glaucia Amorim Faria
Co-orientador: Lucas Menezes Felizardo
Co-orientador: Thais Soto Boni

Inclui bibliografia

1. Análise de componentes principais. 2. Análise de variância. 3. Cerrado. 4.
Pastagem. 5. Eucalipto.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

Impacto potencial desta pesquisa

A pesquisa fornece evidências de como diferentes usos da terra afetam os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, beneficiando a comunidade científica com os dados e modelos utilizados e proporcionando informações que influenciam na tomada de decisões sobre adoção de manejos e os impactos ambientais causados.

Potential impact of this research

The research provides evidence of how different land uses affect the chemical, physical, and biological attributes of the soil, benefiting the scientific community with the data and models used and offering information that influences decision-making regarding management practices and the environmental impacts caused.

Impacto potencial de esta investigación

La investigación proporciona evidencia de cómo los diferentes usos del suelo afectan los atributos químicos, físicos y biológicos del suelo, beneficiando a la comunidad científica con los datos y modelos utilizados y ofreciendo información que influye en la toma de decisiones sobre las prácticas de manejo y los impactos ambientales causados.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS NA ANÁLISE DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

AUTORA: PAULA ARRIERO PELOZATO

ORIENTADORA: GLAUCIA AMORIM FARIA

COORIENTADOR: LUCAS MENEZES FELIZARDO

COORIENTADORA: THAÍS SOTO BONI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUCAS MENEZES FELIZARDO (Participação Virtual)
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **LUCAS MENEZES FELIZARDO**
Data: 18/11/2024 16:27:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. RODOLFO DE NIRO GAZOLA (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **RODOLFO DE NIRO GAZOLA**
Data: 18/11/2024 16:57:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. ANA PATRICIA BASTOS PEIXOTO DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Estatística / Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

Documento assinado digitalmente
 **ANA PATRICIA BASTOS PEIXOTO**
Data: 18/11/2024 16:51:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ilha Solteira, 18 de novembro de 2024

Aos meus pais, que
enfrentaram o calor do sol para
que eu pudesse alcançar a
sombra, e ao meu sobrinho,
com desejo de que nunca perca
a paixão por aprender,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

À minha família, por tornar essa conquista possível e doce.

Aos meus amigos que acompanharam de perto o trajeto.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Glaucia Amorim Faria, pela amizade, carinho e direcionamento.

Aos meus coorientadores, Prof^a. Dr^a. Thais Soto Boni e Dr. Lucas Menezes Felizardo, por todo o suporte.

À UNESP, campus de Ilha Solteira e aos seus professores e funcionários que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, à CAPES, que permitiu que o presente trabalho fosse realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

A conversão de solos com cobertura vegetal natural em áreas agrícolas provoca mudanças que podem afetar suas características e qualidade. Os atributos são indicadores importantes dessas alterações e ajudam a avaliar o impacto das práticas de manejo. Para entender como a condução afeta o solo, é fundamental estudar e compreender as mudanças em seus atributos químicos, físicos e biológicos. A estatística multivariada é uma ferramenta valiosa para analisar grandes volumes de dados e obter respostas mais detalhadas sobre o comportamento do solo, em comparação com análises univariadas. O objetivo do trabalho foi aplicar as técnicas de análise de variância (ANOVA) e de componentes principais (PCA) para analisar dados de variáveis de solos em regiões do cerrado e comparar as informações fornecidas por cada uma, bem como sua devida aplicação. Foram coletadas amostras de solos em áreas de plantio de eucalipto com cinco idades diferentes: 3, 5, 7, 10 e 14 anos, em áreas de pastagem e áreas de cerrado nativo, em três profundidades: 0-10 cm, 10-30 cm e 30-60 cm. As variáveis avaliadas foram: teor de carbono, teor de matéria orgânica, teor de umidade, resistência à penetração, teor de argila, teor de areia e teor de silte. Os dados foram submetidos à duas análises diferentes: análise de componentes principais e análise de variância com delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 7x3, com sete áreas de coleta e três profundidades, e quatro repetições, utilizando-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade como comparação de médias. Os maiores teores de carbono, matéria orgânica e argila foram observados para área de plantio de eucalipto com sete anos. O cerrado nativo apresentou o maior teor de umidade entre as áreas estudadas e, a pastagem, o maior valor de resistência à penetração. A partir da PCA, observou-se que as áreas de plantio de eucalipto com 3 e 5 anos possuem características semelhantes, assim como as áreas com 10 e 14 anos de plantio. Áreas de pastagem não se assemelham às demais áreas estudadas, evidenciando os efeitos do manejo inadequado.

Palavras-chave: análise de componentes principais; análise de variância; cerrado; pastagem; eucalipto.

ABSTRACT

The conversion of soils with natural vegetation cover into agricultural areas causes changes that may affect their characteristics and quality. The attributes are important indicators of these changes and help assess the impact of management practices. To understand how management affects the soil, it is essential to study and comprehend the changes in its chemical, physical, and biological attributes. Multivariate statistics is a valuable tool for analyzing large volumes of data and obtaining more detailed answers about soil behavior, compared to univariate analyses. The objective of the study was to apply the techniques of analysis of variance (ANOVA) and principal component analysis (PCA) to analyze soil variable data in Cerrado regions and compare the information provided by each, as well as their proper application. Soil samples were collected in eucalyptus planting areas of five different ages: 3, 5, 7, 10, and 14 years, in pasture areas and native Cerrado areas, at three depths: 0-10 cm, 10-30 cm, and 30-60 cm. The evaluated variables were: carbon content, organic matter content, moisture content, penetration resistance, clay content, sand content, and silt content. The data were subjected to two different analyses: principal component analysis and analysis of variance with a completely randomized design in a 7x3 factorial scheme, with seven collection areas and three depths, and four replications, using the Scott-Knott test at 5% probability as a comparison of means. The highest carbon, organic matter, and clay contents were observed in the eucalyptus planting area with seven years. The native Cerrado showed the highest moisture content among the studied areas, and the pasture had the highest penetration resistance value. From the PCA, it was observed that the eucalyptus planting areas with 3 and 5 years had similar characteristics, as did the areas with 10 and 14 years of planting. Pasture areas were dissimilar to the other areas studied, highlighting the effects of improper management.

Keywords: principal component analysis; analysis of variance; cerrado; pasture; eucalyptus.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	TIPOS DE CULTIVO E MANEJO DO SOLO	12
2.2	QUALIDADE E ATRIBUTOS DO SOLO	14
2.3	ANÁLISE MULTIVARIADA	18
2.4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	19
3	AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NO CERRADO BRASILEIRO	21
3.1	INTRODUÇÃO	22
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.4	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34
4	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DOS ATRIBUTOS DO SOLO	38
4.1	INTRODUÇÃO	39
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	40
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.4	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	50
5	CONCLUSÕES GERAIS	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO GERAL

O interesse da sociedade por modelos mais sustentáveis de agricultura estimula a criação de novas tecnologias que sejam economicamente viáveis, ecologicamente corretas e socialmente justas, e é um desafio para a ciência da produção de alimentos (Pezarico, 2009). O elevado índice de degradação dos solos nas últimas décadas tem induzido a adoção de manejos mais sustentáveis de produção, que tornem possível a garantia de produtividade de formas cada vez menos nocivas ao meio ambiente e que viabilizem a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (Sales; Veloso; Silva 2015).

Quando convertido em áreas agricultáveis, o solo, que antes estava sob cobertura vegetal natural, passa por severas mudanças que podem interferir em suas características naturais e em sua qualidade (Sena, 2016). Considerados como indicadores da qualidade, os atributos de um solo refletem diretamente os impactos causados pelo seu uso e manejo, e são ferramentas essenciais para conhecer as alterações causadas pela interferência humana (Pezarico, 2009).

Neste sentido, evidencia-se a necessidade e a importância de estudos sobre o comportamento dos solos sob diferentes manejos. Compreender as mudanças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo decorrentes do cultivo contínuo pode fornecer informações valiosas para a adoção de práticas de manejo que aumentem a produtividade das culturas, assegurando a sustentabilidade e a conservação dos ecossistemas a longo prazo (Freitas *et al.*, 2013).

O uso da estatística facilita o entendimento do comportamento dos atributos do solo, contribuindo para uma tomada de decisão baseada nas práticas de manejo. Quando analisado simultaneamente um grande volume de informações, a estatística multivariada se destaca como a ferramenta mais eficaz, pois permite obter informações e interpretações que poderiam passar despercebidos com a análise estatística univariada (Martins *et al.*, 2003). Por essa razão, diversos estudos têm utilizado técnicas multivariadas para avaliar variáveis do solo, obtendo resultados satisfatórios, compreendendo o comportamento dos atributos e estabelecendo práticas de manejo adequadas.

Diante deste contexto, a hipótese é de que a análise multivariada fornece informações mais robustas sobre um determinado conjunto de dados, do que a análise univariada. O objetivo do trabalho foi a aplicar a técnica de análise de variância

(ANOVA) e de componentes principais (PCA) para analisar dados de variáveis de solos em regiões do cerrado e comparar as informações fornecidas por cada uma, bem como sua devida aplicação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TIPOS DE CULTIVO E MANEJO DO SOLO

A tendência global e as previsões mundiais para os próximos 50 anos apontam para um cenário desafiador quando o assunto é alimento, energia, água e sustentabilidade. Frente a isso, em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), visando mitigar os impactos previstos ao planeta nas próximas décadas. Dentre elas, a ODS 2, de fome zero e agricultura sustentável, objetiva elevar a produção sem aumentar as áreas agrícolas. Tal conjunto de fatores é responsável pelas mudanças nos métodos de cultivo tradicionais e na busca de manejos cada vez mais respeitosos e eficientes (Massruhá, 2020).

No Brasil, a caracterização dos sistemas de uso da terra (SUT) começa a surgir em meados do século XX, com a criação de instituições que começam a desenvolver pesquisas sobre o assunto (Cavararo, 2013). Do ponto de vista técnico, os sistemas de manejo agrícola devem contribuir para a melhoria e manutenção da qualidade dos solos a longo prazo, além de objetivar a produtividade e segurança ambiental (Silva, 2007). O uso, manejo e tempo de utilização tendem a ocasionar a perda da estrutura original do solo, isso porque são realizadas mobilizações que desencadeiam reações integradas nos processos do complexo sistema solo, podendo promover alterações indesejadas às características biológicas, químicas e físicas originais (Cortez *et al.*, 2011).

Os ecossistemas naturais mantêm uma estreita e harmoniosa integração entre cobertura vegetal e atributos do solo, através de processos essenciais de manutenção, como a ciclagem de nutrientes, degradação e acúmulo de matéria orgânica. Sob vegetação nativa, a matéria orgânica permanece estável. No entanto, essa harmonia e estabilidade é quebrada quando entra neste sistema a ação antrópica. Os métodos de preparo, com utilização de mecanização agrícola, intenso revolvimento e incorporação de insumos ao solo causam o desequilíbrio do sistema e alteração no ciclo dos processos citados acima (Resck, 1996; Rufino, 2009; Guidolini, 2015).

No Brasil, o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) tem ganhado cada vez mais destaque em plantios de reflorestamento e comerciais. No entanto, muito se questiona sobre as

mudanças que ele provoca ao ecossistema, isso porque, a substituição da vegetação nativa por plantios florestais, atividade muito comum no centro-oeste brasileiro, pode provocar variações na qualidade física, química e microbiológica do solo (Aburjaile, 2011). Alguns estudos referem-se também, sobre as mudanças na dinâmica do solo causadas pelo plantio de eucalipto, devido ao aporte de serrapilheira e eficiente consumo de água e nutrientes da cultura (Rosa, 2010; Brun, 2008).

Quando bem manejadas, as atividades silviculturais conseguem aumentar a deposição de material vegetal. As boas práticas de manejo neste sistema são importantes, já que possuem a capacidade de incrementar o teor de matéria orgânica e de carbono, atributos que beneficiam a qualidade física dos solos (Rosa, 2010). Ainda neste sentido, a deposição de restos florestais protege a superfície do solo contra erosões e estimula a atividade microbiana, melhorando aeração, estruturação e a capacidade de armazenamento e infiltração de água, além de promover benefícios às propriedades químicas também, já que a matéria orgânica contribui para a retenção de cátions, vantagem particularmente importante para os solos do cerrado, que são caracterizados pela baixa CTC (Sena, 2016).

Os solos ocupados por pastagens geralmente possuem uma qualidade física inferior aos solos utilizados na agricultura de grãos. Aproximadamente 80% das áreas de pastagem no Brasil são caracterizadas com algum grau de degradação, devido a vários fatores que atuam isolados ou em conjuntos, como: normalmente são solos que apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez, preparo incorreto do solo, escolha errônea da espécie forrageira, má formação inicial e, principalmente, manejo inadequado (Costa; Pereira; Costa, 2018). Os solos de melhor aptidão agrícola são destinados às culturas anuais de grãos ou às de alto valor industrial, como para produção de óleo, fibras, açúcar etc. Assim, é esperado que as áreas destinadas à criação de bovinos enfrentem problemas de produtividade e sustentabilidade (Guidolini, 2015).

Em grande parte dos biomas brasileiros a expansão da atividade agropecuária vem ocasionando significativos processos de degradação (Batista, 2017), que está relacionado à utilização de maquinários agrícolas e o uso demasiado do monocultivo e do sistema convencional (Costa *et al.*, 2018). Quanto maior o revolvimento em área total do sistema, maior a degradação física causada ao solo, isso porque afeta diretamente a matéria orgânica, que é responsável pela estruturação e estabilização de agregados (Oliveira *et al.*, 2010).

2.2 QUALIDADE E ATRIBUTOS DO SOLO

Segundo Santana e Bahia Filho (1998), a qualidade do solo pode ser avaliada pelo acompanhamento de suas características físicas, químicas e biológicas. Para Islam e Weill (2000), os indicadores da qualidade do solo são divididos em três categorias: i) os efêmeros, que reagem rapidamente ao manejo aplicado, como a acidez, a disponibilidade de nutrientes e a compactação do solo; ii) os intermediários, que são em função da influência de processos químicos e microbiológicos, tais como teor de carbono, agregação e biomassa microbiana; iii) e os permanentes, que são inerentes às características naturais do solo, como textura, profundidade e mineralogia. Os mesmos autores indicam que a determinação da qualidade de um solo não deve ser somente por atributos permanentes, ao ponto de serem insensíveis ao manejo, e nem somente efêmeros, ao ponto de indicarem grandes alterações em curto prazo.

De acordo com Reynolds *et al.* (2002) um solo agrícola considerado com boa qualidade física precisa ser “forte” para manter a estruturação e ser resistente a erosões e compactação, mas também precisa ser “fraco” o suficiente para permitir o desenvolvimento radicular e a multiplicação da flora e fauna do solo. Reichert, Reinert e Braida (2003) explicam que do ponto de vista físico, um solo com boa qualidade é aquele que permite a infiltração, retenção e disponibilidade de água para plantas, possibilita o crescimento radicular, permitindo trocas gasosas e de calor com a atmosfera e responde ao manejo.

As características físicas de um solo influenciam na tomada de decisão sobre qual o melhor manejo a ser conduzido. Os atributos físicos são considerados sensíveis ao manejo, pois promovem alterações que podem afetar as mais diversas características, já que o solo é um sistema dinâmico e influenciável (Conceição *et al.*, 2005; Freitas *et al.*, 2013). E, segundo Bertol *et al.* (2001), a degradação das características físicas de um solo é um dos principais fatores para a perda de qualidade do mesmo. Para Silva, Silva e Ferreira (2005), o monitoramento da qualidade do solo mediante à avaliação de suas características físicas é imprescindível para a produção sustentável de sistemas agrícolas.

A textura do solo é a proporção relativa de areia, silte e argila em uma determinada massa e é uma das características físicas mais estáveis (Sanchez,

2012). Ou seja, é o atributo que menos sofre alteração ao longo dos anos por influência de manejo. Na classificação de um determinado solo, a textura dos horizontes, muitas vezes é a propriedade mais importante a ser determinada, pois, a partir dela é possível tirar conclusões e entender outros atributos (Freitas *et al.*, 2013).

Através da textura, é possível determinar a área de contato entre partículas sólidas e moléculas de água por exemplo, característica que possui influência sobre a aeração, taxa de infiltração e capacidade de retenção de água deste solo (Grigolon, 2013). De acordo com Guidolini (2015), a textura influencia e permite entender também, sobre o comportamento dos solos sob pressões externas, pois é a responsável pela determinação do atrito entre partículas e as ligações entre elas. De modo geral, quanto menor as partículas de um solo, maior será a sua força de compressão e agregação (Macedo; Silva; Cabeda., 2010). Solos mais arenosos apresentam uma drenagem mais eficiente, o que, no entanto, lhe confere baixa capacidade de retenção de água, ao contrário de solos com maiores teores de argila, que possuem uma drenagem mais lenta e elevada capacidade de retenção (Gonçalves; Stape, 2002).

Neste contexto, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes sob o ponto de vista agrícola por desempenhar um papel significativo nas relações solo-planta, sendo influenciada pelo clima, atividade biológica e práticas de manejo, sendo vulnerável às forças mecânicas e físico-químicas (Cruz *et al.*, 2003).

Com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração (RP) decorrente da maior coesão entre partículas (Beutler *et al.*, 2001). A RP aumenta com a compactação do solo, e está diretamente relacionada ao crescimento das plantas (Letey, 1985). O crescimento radicular gera uma deformação no solo, isso porque as raízes precisam exercer uma pressão contra as partículas e agregados para que haja o alongamento radicular (Tormena *et al.*, 2002). Canarache (1990) sugere que áreas com valores de RP acima de 2,5 MPa começam a ser restritiva ao crescimento das plantas, notando-se diminuição no tamanho e no diâmetro das raízes (Masle; Passioura, 1987).

A densidade do solo é um atributo que mensura a massa sólida por volume de solo, e pode ser alterada pelos sistemas de cultivo (Klein, 2008). Por ser um indicador que reflete as condições de porosidade, permeabilidade e resistência à penetração, é considerada um atributo avaliador da qualidade estrutural do solo (Souza, 2000).

O teor de matéria orgânica no solo (MOS) também é considerado um dos principais indicadores da qualidade do solo, por relacionar características físicas, químicas e biológicas (Reichert; Reinert; Braida, 2003). Alguns autores a consideram como um indicador eficiente, pois a dinâmica da MOS é totalmente sensível ao manejo de sistemas de cultivo e à adição de fertilizantes e materiais orgânicos que influenciam nos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica (Leite *et al.*, 2003; Conceição *et al.*, 2005). Uma das funções mais importantes da MOS é a formação de agregados do solo. Após a aproximação dos minerais, a MOS atua nas ligações entre as partículas, sendo determinantes para a formação e estabilização de agregados (Bayer; Mielniczuk, 1999). Desempenha papel importante também no desenvolvimento de plantas, por influenciar direta e indiretamente nos processos físicos, químicos e biológicos do solo (Guidolini, 2015).

O teor MOS oscila muito entre os diferentes tipos de solo, variando entre 1% em solos desérticos, até altos teores em solos orgânicos (Oliveira *et al.*, 2001). Em solos tropicais muito intemperizados, como os Latossolos e Argissolos, as propriedades da matéria orgânica são essenciais para a manutenção da saúde do ecossistema, pois a sua mineralização libera nutrientes, aumenta e regula a capacidade de troca catiônica (CTC), aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo e evita erosões (Silva, 1999).

De acordo com Paladini e Mielniczuk (1991), sistemas agrícolas que adotam o menor revolvimento do solo e a deposição de resíduos orgânicos, mantêm a qualidade estrutural dos solos cultivados e são capazes de recuperar a qualidade de solos já degradados. Deste modo, sistemas de preparo convencionais, caracterizados pelo intenso revolvimento da camada superficial do solo, favorecem a exposição e decomposição da matéria orgânica, prejudicando a qualidade estrutural (Bertol *et al.*, 2001).

Perin, Ceretta e Klamt (2003) verificou que o tempo de cultivo em sistema convencional diminui o teor de matéria orgânica no solo, quando comparado às áreas de florestas. Machado, Paula Souza e Brum (1981) verificaram que a partir do quarto ano de cultivo, em sistema de cultivo convencional, é possível observar uma redução significativa no teor de matéria orgânica no solo. Entretanto, segundo Rosset *et al.* (2016), em sistema de plantio direto, o teor de matéria orgânica e de carbono aumentam em função do tempo de cultivo.

O solo é um importante representante do ciclo do carbono (C) na Terra, isso porque detêm mais C do que o total contido na vegetação e na atmosfera. É considerado um reservatório importante e estabilizador eficiente deste elemento no planeta (Schmidt *et al.*, 2011). Se encontra no solo de três formas, segundo Caldeira *et al.* (2002): i) muito condensadas, de decomposição semelhante ao C elementar, como o carvão vegetal e mineral e o grafite; ii) os húmus e humatos, que são resíduos vegetais, animais e microbianos muito resistentes à decomposição; e iii) resíduos pouco alterados, que sofrem decomposição rápida.

O carbono orgânico (CO) é o maior componente da matéria orgânica em quantidade. Durante o processo de fotossíntese, o dióxido de carbono (CO₂) é assimilado pelas plantas e convertido em biomassa. Dessa biomassa, em média 58% é carbono que constitui os tecidos vegetais que, posteriormente serão precursores da MOS, junto com resíduos animais (Rufino, 2009; Sato, 2013). O estoque de carbono no solo é em função das interações entre clima, vegetação, umidade e manejo, bem como material parental (Resck *et al.*, 2008).

O calor e a umidade do solo favorecem a decomposição e a mineralização de compostos orgânicos do solo e controlam a quantidade de carbono fixado pela fotossíntese (Baddeley, 2004; Brandão, 2012). Vale citar que, nem todo o carbono orgânico do solo (COS) é facilmente mineralizado; uma parte do CO é reconhecida por degradar-se lentamente, chegando a permanecer por milhares de anos no ambiente. A estabilização do COS também é dependente de fatores como clima, quantidade e qualidade do material vegetal e atributos que modificam a atividade microbiana (Santos *et al.*, 2011).

O acúmulo de CO é afetado pela textura porque a MOS é retida em função da superfície específica de contato das partículas, dependendo, então, do teor de argila dos solos para sua estabilização. Ou seja, solos com textura mais argilosos apresentam maiores teores de C do que solos arenosos (Baddeley, 2004; Montero, 2008).

A vegetação é um dos principais fatores que determinam o teor de COS, tanto pela forma e distribuição dos sistemas radiculares quanto pela composição do material orgânico incorporado ao solo, que influencia diretamente o processo de decomposição (Siqueira, Soares e Silva, 2008). O desmatamento e a queima de vegetação nativa são práticas que ocasionam a perda de COS, pois reduzem energeticamente a

deposição de resíduos, mas não altera, proporcionalmente, a decomposição MOS (Baddeley, 2004).

2.3 ANÁLISE MULTIVARIADA

A estatística univariada tem a finalidade de encontrar diferenças entre os tratamentos aplicados sobre as variáveis estudadas. No entanto, são métodos que não consideram o efeito conjunto dos tratamentos e suas interdependências, analisando, de maneira isolada, uma única variável do conjunto de dados por vez (Pascoto, 2020; Amarante, Chaves e Ernani, 2006). A análise multivariada é uma segmentação da estatística que evolve a análise simultânea de mais de uma variável em um mesmo elemento amostral (Pascoto, 2020), buscando explicar e mensurar as relações de inter e intradependência entre as variáveis (Brancaglioni, 2017).

Para Hair Jr. *et al.* (2009), pode-se definir a análise multivariada como o conjunto de técnicas estatísticas que analisam ao mesmo tempo múltiplas medidas de um mesmo indivíduo ou objeto. Em uma definição muito similar, Morrison (1967) afirma que a análise multivariada é voltada para a análise de dados coletados em diversas dimensões de um mesmo indivíduo. Tabachnick e Fidell (2007), definem a estatística multivariada como um conjunto de técnicas de análises, cada vez mais populares, utilizadas para complexos conjuntos de dados com variáveis independentes entre si, mas, correlacionadas umas com as outras em algum grau.

Por se tratar de métodos mais complexos, a análise multivariada necessita de softwares para seu desenvolvimento, diferente da estatística convencional, que utiliza de cálculos relativamente mais simples. Segundo Mingoti (2005), isso fez com que o avanço dos softwares estatísticos e da tecnologia alavancassem a expansão do uso da análise multivariada. Antigamente, era uma técnica muito utilizada nas áreas de Psicologia, Ciências Sociais e Biologia e, hoje se expandiu para diversas áreas, como Geologia, Física, Química e Engenharia.

Várias técnicas de análise multivariada de dados de solos têm sido utilizadas com frequência, pois são ambientes complexos, onde os processos de formação combinam-se também de maneira complexa (Silva, 2014). Miqueloni e Bueno (2011) utilizaram da estatística multivariada para calcularem a erodibilidade em função da textura do solo e analisarem a variabilidade espacial das variáveis granulométricas ao longo do relevo através das técnicas de análise de agrupamento e componentes

principais. Freddi, Ferraudo e Centurion (2008), com o objetivo de avaliar os efeitos do tráfego de máquinas sobre a compactação do solo, também utilizaram as técnicas de análise de agrupamento e componentes principais para identificação. Oliveira Júnior *et al.* (2019) utilizaram as técnicas de análise fatorial e agrupamentos hierárquicos para estudarem as características de solos no semiárido brasileiro e, concluíram que as análises multivariadas apresentaram maior sensibilidade para distinguir os solos estudados.

2.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Desenvolvida inicialmente por Karl Pearson (1901), a teoria foi reformulada e nomeada de Análise de Componentes Principais (PCA) por Hotteling, em 1933, em um estudo sobre a capacidade mental de alguns alunos resolverem problemas de aritmética e lerem textos. Rao contribuiu notavelmente para sua construção com ideia de aplicações, interpretações e extensões da metodologia. Gower (1966) estudou sobre a relação entre PCA e outras técnicas de análise estatística e, finalmente, em 1967, Jeffers a impulsionou de forma prática através da discussão da aplicação de componentes principais.

A análise consiste em uma técnica de modelagem da estrutura de covariância, e é conhecida por reduzir a dimensão dos dados mantendo suas informações importantes (Hongyu, Sandanielo, Junior, 2016; Liu, Zhang, Feng; Tian, 2020). A PCA transforma linearmente um conjunto de variáveis, que são correlacionadas entre si, em um outro conjunto de variáveis não correlacionadas e as ordena em um gráfico, onde os eixos são chamados de componentes principais (PC) e varia de acordo com os dados analisados (Lima *et al.*, 2022).

O objetivo de PCA não é interpretar as correlações existentes entre as variáveis, e sim identificar funções matemáticas que expliquem o máximo possível da variação observada nas variáveis iniciais e que permita uma redução no espaço paramétrico, facilitando a interpretação dos resultados (Messetti, 2007).

O primeiro passo da metodologia envolve a identificação do primeiro componente, aquele que explica a maior parte da variabilidade global das variáveis. É uma solução algébrica e consiste na extração dos autovalores de uma matriz, os quais representam a variância associada a cada um dos componentes. Os autovetores orientam os componentes no espaço das características, sendo que as

coordenadas dos autovetores são interpretadas como coeficientes das variáveis originais na formação do componente principal (Johnson; Wichern, 1992).

A importância dos componentes é calculada em ordem decrescente, ou seja, o primeiro componente principal é o que explica a maior parte da variabilidade entre os dados, correspondendo ao maior autovalor da matriz de correlação; o segundo explica a maior parte da variabilidade restante e, assim por diante. A significância de cada componente é dada pela porcentagem de variância que ele representa (Messetti, 2007). Para Cruz e Carneiro (2003) os primeiros componentes principais são utilizados quando eles representam 80% da variação total, em estudos genéticos. Campos *et al.* (2013) consideram, para estudos em solos, os componentes principais que representem pelo menos 70% da variação total.

Para Barroso e Artes (2003), a técnica de PCA possui três objetivos principais, sendo eles: a redução da dimensionalidade dos dados, obtenção de combinações interpretáveis das variáveis e descrição da correlação das variáveis. Sendo, o principal objetivo e o mais comum, a redução da dimensionalidade das variáveis envolvidas sem a perda substancial das informações, facilitando a interpretação. Além das novas variáveis poderem ser interpretadas independente, já que não mais correlacionadas.

Na agricultura, a análise de componentes principais tem sido bastante empregada em estudos sobre genotipagem, análise de solos e caracterização ambiental. Novak *et al.* (2021) utilizaram PCA para analisar a composição química do solo em condições ambientais distintas e, conseguiu verificar a similaridade entre os solos estudados e suas relações com alguns atributos químicos estudados.

Coscione *et al.* (2014) utilizando PCA para analisar áreas com diferentes fertilizações, observou que foi possível, através da técnica, distinguir quais áreas foram aplicadas adubação mineral e quais foram tratadas com lodo do esgoto. Tobar-Tosse (2015) afirma que ACP permitiu identificar as variáveis importantes na caracterização de genótipos para consumo como soja-hortaliça.

3 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NO CERRADO BRASILEIRO

RESUMO

A implantação de sistemas de manejo e remoção da vegetação nativa vem sendo apontadas como agentes redutores do teor de matéria orgânica do solo. O objetivo deste trabalho foi comparar os teores de carbono total, matéria orgânica e teor de umidade do solo em áreas de cerrado nativo, pastagem e áreas de plantios de eucalipto. O estudo foi realizado no Mato Grosso do Sul em sete áreas distintas de manejo de solo: área de pastagem, área de cerrado nativo e áreas de plantio de eucalipto (com 3, 5, 7, 10 e 14 anos de plantio). O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 7x3, com sete áreas de manejo e três profundidades de análise (0-10cm, 10-30cm e 30-60cm). As variáveis analisadas por tratamentos foram: teor de carbono, teor de matéria orgânica, teor de umidade, resistência à penetração e análise textural. A área de eucalipto com sete anos de plantio apresentou os maiores teores para teor de matéria orgânica e carbono do solo. Pastagem apresentou o maior valor de resistência à penetração e menor teor de umidade entre as áreas estudadas.

Palavras-chave: pastagem; eucalipto; matéria orgânica; carbono.

ABSTRACT

The implementation of management systems and removal of native vegetation has been pointed out as factors that reduce the organic matter content in the soil. The objective of this study was to compare the total carbon content, organic matter, and soil moisture content in areas of native cerrado, pasture, and eucalyptus plantations. The study was conducted in Mato Grosso do Sul in seven distinct soil management areas: pasture area, native cerrado area, and eucalyptus plantation areas (with 3, 5, 7, 10, and 14 years of planting). The experimental design was completely randomized in a 7x3 factorial scheme, with seven management areas and three analysis depths (0-10 cm, 10-30 cm, and 30-60 cm). The variables analyzed by treatment were: carbon content, organic matter content, moisture content, penetration resistance, and texture analysis. The eucalyptus area with seven years of planting showed the highest values for organic matter and soil carbon content. The pasture showed the highest penetration resistance and the lowest moisture content among the studied areas.

Keywords: pasture; eucalyptus; organic matter; carbon.

3.1 INTRODUÇÃO

O bioma cerrado, diante de sua grande biodiversidade em espécies animais, é considerado um grande representante do ciclo do carbono no planeta (Mosca, 2018). No entanto, a ação antrópica, cada vez mais presente nos biomas brasileiros, é apontada como a principal causa de distúrbios no cerrado (Aduan; Vilela; Klink, 2003). Em 2022, somente 53% de todo território do cerrado ainda estava coberto por vegetação nativa e, a área ocupada por lavouras comerciais chegou a mais de 37% da extensão do território original (MapBiomas, 2022). O Estado do Mato Grosso do Sul, terceiro maior Estado do bioma cerrado, perdeu cerca de 40% do seu território para áreas de cultivo de eucalipto e pastagem (IBGE, 2020).

A expressiva expansão da fronteira agrícola, acarreta a remoção da vegetação nativa através da mecanização intensiva e do uso de práticas de manejo, muitas vezes inadequadas, resultando em alterações nos atributos edáficos. Isso pode ocasionar a degradação do solo, devido a um conjunto de fatores que causam a diminuição do conteúdo de nutrientes e matéria orgânica (Gazolla, 2015).

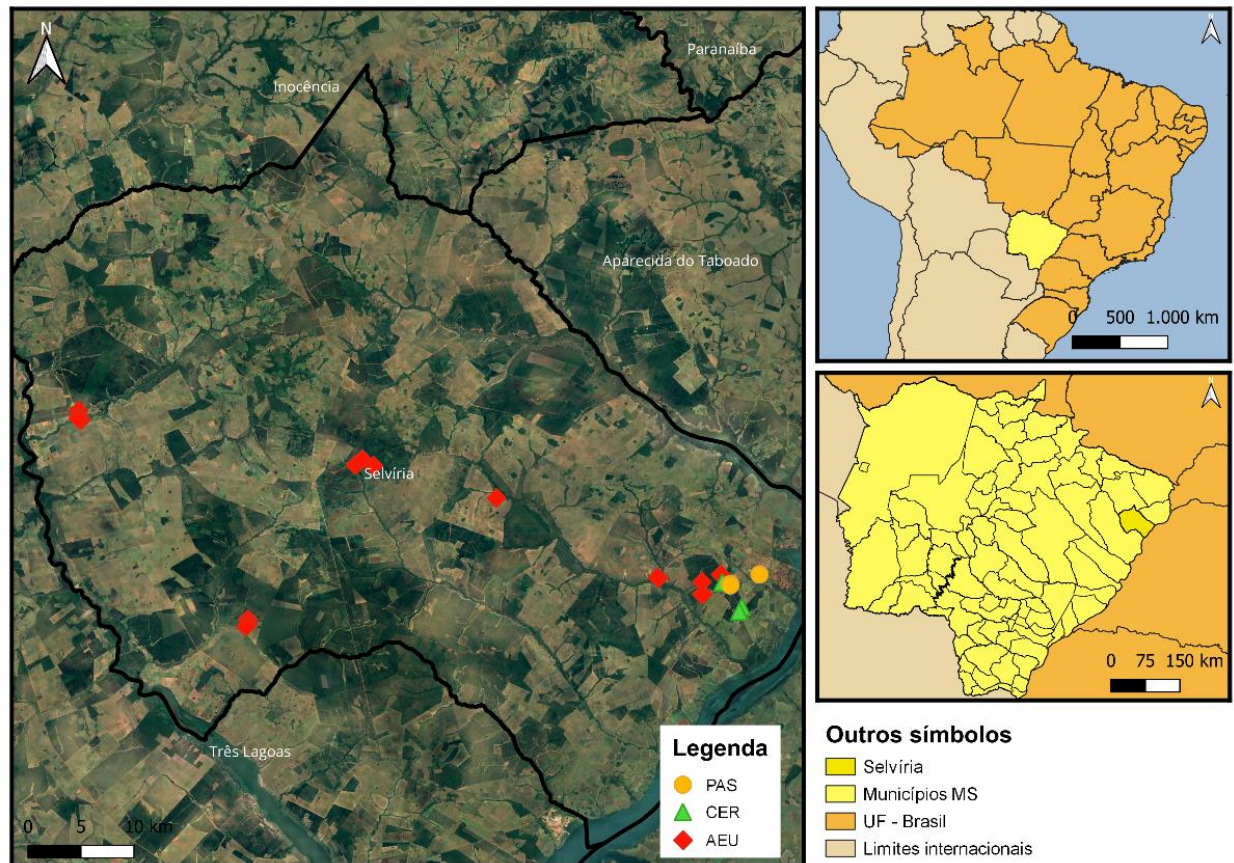
A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um dos principais indicadores da qualidade do solo (Rheinheimer *et al.*, 2008), isso porque ela exerce forte influência sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo (Mielniczuk, 2008). O carbono (COS) representa 58% da MOS e é utilizado para estimar a quantidade e a qualidade da MOS em um solo. A perda de COS pode resultar na degradação do solo, sendo notoriamente difícil de reversão em um curto espaço de tempo (Almeida; Sanches, 2014).

A qualidade do solo é essencial na busca pela sustentabilidade de sistemas produtivos. As polêmicas que giram em torno do monocultivo do eucalipto, desde esgotamento nutricional até secamento do solo mostram a necessidade de se estudar os efeitos dos diferentes usos, manejos e utilização do solo sobre seus atributos. Assim, a hipótese deste trabalho é de que o cultivo de eucalipto não diminui a qualidade física e biológica do solo. Objetivou-se com este trabalho comparar os teores de carbono total, matéria orgânica, teor de umidade e resistência à penetração do solo em áreas de cultivo de eucalipto, cerrado nativo e de pastagem.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na região sudeste do Estado do Mato Grosso do Sul, no município de Selvíria (20°22'11"S 51°25'9"O) (Figura 1).

Figura 1 – Áreas abordadas no estudo



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nota: AEU3= área sob cultivo de eucalipto de três anos; AEU5= área sob cultivo de eucalipto de cinco anos; AEU7= área sob cultivo de eucalipto de sete anos; AEU10= área sob cultivo de eucalipto de dez anos; AEU14= área sob cultivo de eucalipto de quatorze anos; CER= área de cerrado nativo; PAS= área de pastagem.

O clima da região é caracterizado, segundo Köppen, como Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa durante o verão e seca durante o inverno. A concentração pluviométrica entre os meses de setembro a abril e médias anuais de precipitação e temperatura de, aproximadamente 1600 mm e 23°C, respectivamente. O relevo predominante na região, é plano a suave ondulado, com solos de textura média e arenosa, geralmente ácidos e de baixa fertilidade natural.

As coletas foram realizadas em áreas de cerrado nativo (CER), áreas de pastagem de *Paspalum notatum* (PAS), que anteriormente eram áreas nativas, e em

cinco áreas de *Eucalyptus grandis* (com espaçamento de 3,0 m X 2,5 m) com idades diferentes: áreas de primeiro corte, com três, cinco e sete anos de plantio (AEU3, AEU5 e AEU7, respectivamente) e áreas de segundo corte, com dez e quatorze anos de plantio (AEU10 e AEU14), onde, foi realizado o replantio do eucalipto após o primeiro corte.

Em cada área, as amostras foram coletadas em quatro pontos que apresentavam as mesmas características de solos arenoso, possuindo cerca de 60% de partículas de areia, nas profundidades de 0-10, 10-30, 30-60 centímetros. Foram coletadas amostra deformadas, para determinação do carbono orgânico pelo método da perda de massa por ignição (BEN-DOR ; BANIN, 1989), análise granulométrica e teor de umidade, e amostras indeformadas, para determinação da resistência à penetração, com cilindros volumétricos de 100 cm³.

Como análise inicial dos dados realizou-se a estatística descritiva e verificação de outliers no conjunto de dados, os quais foram retirados e substituídos pela média, evitando a alteração da amplitude dos dados e a exatidão dos resultados. Em seguida, procedeu-se com a análise de variância, seguindo o modelo de delineamento inteiramente casuzalizado (DIC) em esquema fatorial 7x3, sendo sete tipos de manejo (AEU3, AEU5, AEU7, AEU10, AEU14, CER e PAS) e três profundidades (0-10, 10-30 e 30-60cm), com quatro repetições. O teste F foi utilizado para detectar as diferenças entre os tratamentos, e uma vez encontradas diferenças significativas, o teste de Scott-Knott foi utilizado para comparação das médias. Todos os testes estatísticos foram realizados a 5% de probabilidade e a análise dos dados foi conduzida no software R (R CORE TEAM, 2019) versão 4.3.0. As variáveis analisadas foram: teor de carbono total do solo (CT), teor de matéria orgânica (MO), teor de umidade (TU), resistência à penetração (RP) e análise granulométrica, com teor de areia (Areia), teor de argila (Argila) e teor de silte (Silte).

O teor de carbono total do solo foi determinado pelo método da perda de massa por ignição (PMI), utilizando-se cápsulas de alumínio de volume 24 cm³, pesadas em balança analítica de precisão com quatro dígitos decimais. As cápsulas foram aquecidas em estufa a 105°C ± 2, por 24 horas e resfriadas em dessecador para posterior pesagem. Na sequência, foram utilizados cadinhos de porcelana, pesados previamente e junto com o solo (TFSA) para determinação de massas. Após então, as amostras foram calcinadas em mufla a 400°C ± 2, por 24 horas, resfriadas em dessecador e pesadas novamente. O CT foi determinado pela equação 1.

$$CT = \frac{(P1 - P2) \times 1000}{P1} \quad (1)$$

Em que:

CT = teor de carbono total (g kg⁻¹);

P1 = peso (g) amostra seca em estufa a 105 °C;

P2 = peso (g) amostra após ignição à 400°C.

O teor de matéria orgânica foi estimado com base no teor de carbono total, como na equação 2.

$$MO = 1,724 \times CT \quad (2)$$

Em que:

MO = matéria orgânica do solo;

CT = teor de C orgânico total (g kg⁻¹).

O teor de umidade foi determinado pelo método da estufa, determinando a massa da amostra no seu estado natural e a massa após completa secagem em estufa a 105°C por 16 horas. O TU foi obtido pela relação apresentada na Equação 3.

$$TU(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

Mu: massa da amostra úmida (g);

Ms: massa da amostra seca (g).

Para determinar a resistência do solo à penetração, as amostras indeformadas passaram por uma mesa de tensão a 60cm e 100cm de coluna d'água, ambas por 24 horas e submetidas a um penetrômetro estatístico de bancada (PEB) e, os dados obtidos foram lançados em uma planilha e corrigidos de Kgf para MPa. A análise

granulométrica foi realizada pelo Laboratório de Física do Solo da UNESP, Campus de Ilha Solteira.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas de cerrado nativo (CER) não sofreram ação antrópica e permanecem com a vegetação nativa. As áreas de pastagem (PAS) anteriormente eram áreas de vegetação nativa. E as áreas de eucalipto (AEU), antes da implantação das florestas eram áreas de pastagem e, anteriormente à pastagem, também eram áreas de vegetação nativa. Esse ciclo de área de cerrado nativo, seguido de pastagem, seguido de plantação de eucalipto é um ciclo bastante comum em fazendas da região.

Os resultados referentes à análise descritiva e comparação de médias para os teores de carbono (CT), matéria orgânica (MO), umidade (TU), resistência à penetração (RP) e de componentes texturais (argila, areia e silte) para as sete áreas estudadas são apresentados na Tabela 1. De acordo com Salton *et al.* (2013), a região do bolsão sul matogrossense, região sob estudo, é caracterizada por solos predominantemente classificados como Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho, com baixa fertilidade e alta acidez natural, confirmando os resultados obtidos pelas análises deste trabalho. A média para teor de areia ($865,48 \text{ g kg}^{-1}$) e de argila ($100,16 \text{ g kg}^{-1}$), indicam que as áreas estudadas são de textura arenosa e, de acordo com Spera *et al.* (1999), classificam-se como Neossolo Quartzarênico, pois são áreas que apresentam mais de 85% de fração areia.

Tabela 1 – Análise descritiva dos atributos analisados nos solos coletados nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,30 m e 0,30-0,60 m sob as áreas de estudo

	<i>CT</i>	<i>MO</i>	<i>TU</i>	<i>RP</i>	<i>Argila</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>
Média	12,98	22,37	20,87	0,26	100,16	865,48	34,36
Erro padrão	0,69	1,18	0,68	0,03	6,54	8,38	3,78
Mediana	11,49	19,81	20,09	0,18	91,12	868,41	35,88
Desvio padrão	5,67	9,77	5,57	0,22	34,59	44,33	20,01
Assimetria	0,37	0,37	0,00	1,96	0,31	-0,17	1,09
Mínimo	3,67	6,33	8,10	0,05	29,39	775,95	5,65
Máximo	25,65	44,23	30,86	0,91	175,87	943,94	98,03
CV (%)	43,66	43,66	26,71	86,79	34,53	5,12	58,24

Fonte: elaboração do próprio autor.

Nota: CT= teor de carbono total; MO= teor de matéria orgânica; TU= teor de umidade; RP= resistência à penetração; Argila= teor de argila; Areia= teor de areia; Silte= teor de silte.

O coeficiente de assimetria é utilizado para indicar quanto a distribuição de frequência os dados se afastam da simetria, se o coeficiente encontrado for zero, a distribuição é simétrica; se for positivo, a distribuição é assimétrica à direita; e se for negativo, é assimétrica à esquerda (Zanão Junior *et al.*, 2010). Para CT, MO, TU, Argila e Areia, os coeficientes indicam a simetria dos dados, pois estão próximos a zero. Já para RP e Silte, os coeficientes são positivos e altos (1,96 e 1,09, respectivamente), indicando assimetria à direita entre os dados analisados. Entretanto, os valores das médias e das medianas para estes atributos estão próximos, indicando que a assimetria observada não é acentuada (Tabela 1).

O maior coeficiente de variação observado foi para RP (86,79%), seguido de silte (58,24%), CT (43,66%), MO (43,66%), Argila (34,53%), TU (26,71%) e Areia (5,12%) (Tabela 1). Segundo a classificação de Pimentel Gomes (2000), os coeficientes de variação (CV) para os atributos CT, MO, RP e silte são classificados como muito altos (>30%), TU e areia como altos (>20%) e somente o CV de Areia é classificado como baixo (<10%). Comparando com outras literaturas, os CV encontrados também se mostram muito acima do encontrado. Souza, Marques Júnior e Pereira (2004) analisando solos sob diferentes relevos encontraram um CV de 10,37% para teor de matéria orgânica no solo. Para variáveis texturais, Aquino *et al.* (2014), encontraram CV de 13,55%, 16,52% e 35,01% para argila, silte e areia, respectivamente, em solos que já presenciaram algum tipo de ação antrópica.

O alto coeficiente de variação encontrado para o teor de silte (58,24 %), pode ser explicado pelo alto valor do erro padrão da média (SEM) encontrado em PAS

(18,09) (Tabela 2). O mesmo acontece para CT e MO, onde os valores de SEM em CER também foram altos. Quanto maior o erro padrão da média (SEM), menor será a precisão da estimativa da amostra analisada, indicando uma maior variabilidade dos dados, ou seja, dados mais dispersos em relação à média da amostra e refletindo em maior coeficiente de variação. Apesar dessa tendência, não existe uma correlação fixa. Para RP observou-se um CV muito alto (86,79%), mas os valores de SEM para este atributo estão próximos a zero, podendo ser explicado, então, pela presença de observações com valores muito discrepantes entre si, onde o maior valor observado na amostra foi de 98,03 MPa e o mínimo de 5,65 MPa (Tabela 1).

Na análise de variância (tabela 2) é possível observar que quando comparadas apenas as áreas com plantio de eucalipto, o menor valor de carbono total foi encontrado na área AEU14, com $7,17 \text{ g kg}^{-1}$. Nas áreas de primeiro corte, foi observado um acréscimo do teor de CT ao longo da idade dos plantios (AEU7 > AEU5 > AEU3), já nas áreas de segundo corte, houve decréscimo conforme o aumento da idade dos plantios (AEU10 > AEU14). Leite *et al.* (2003) e Bayer (2006) relatam que apesar das florestas de eucalipto apresentarem alto aporte de material vegetal através da serrapilheira e de seu sistema radicular, as operações de plantio e colheita de eucalipto provocam a movimentação do solo, expondo as frações orgânicas à atividade microbiana e acelerando sua decomposição, explicando o padrão de COT encontrado neste trabalho.

Segundo Severo (2015), a diminuição do estoque de carbono em florestas de eucalipto recém-plantadas é devido à mudança drástica do uso do solo. Alcântara Neto *et al.* (2011) também observaram o mesmo padrão comparando teores de carbono total em áreas de eucalipto de três, seis e sete anos de plantio e, indicam que a médio e longo prazo, florestas de eucalipto possuem a capacidade de aumentar o estoque de carbono do solo. Costa *et al.* (2020) ressaltam ainda que, até mesmo em áreas com uma mesma cultura, o teor de carbono orgânico do solo pode ter variações, isso porque está atrelado à qualidade do aporte do material vegetal depositado e aos fatores da microbiota do solo.

Tabela 2 – Análise de variância e comparação de médias com base no teste de Scott Knott a 5% de probabilidade dos atributos analisados nos solos coletados nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,30 m e 0,30-0,60 m sob as áreas de estudo

FONTES DE VARIAÇÃO	CT (g kg⁻¹)	MO (g kg⁻¹)	TU (%)	RP (Mpa)	Argila	Areia	Silte
	pr>Fc						
COBERTURA (C)	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0000**
PROFUNDIDADE (P)	0,44207 ^{ns}	0,44207 ^{ns}	0,03454 *	0,60605 ^{ns}	0,64733 ^{ns}	0,6607 ^{ns}	0,70742 ^{ns}
CXP	0,988 ^{ns}	0,988 ^{ns}	0,064605 ^{ns}	0,20269 ^{ns}	0,97674 ^{ns}	0,99202 ^{ns}	0,92276 ^{ns}
Média geral	12,98	22,37	20,87	0,28	100,81	864,79	42,70
CV(%)	34,57	34,57	11,63	64,61	17,97	2,44	59,92
COBERTURAS	Médias						
AEU3	15,1340 b ±1,14	26,0911 b ±1,97	19,3949 c ±0,43	0,1509 b ±0,01	71,6876 b ±4,76	920,0283 a ±3,16	8,284 ±1,69
AEU5	15,4400 b ±0,50	26,6198 b ±0,87	19,2197 c ±0,68	0,1593 b ±0,00	77,6014 b ±8,22	893,729 a ±10,39	28,6696 ±6,91
AEU7	22,1137 a ±0,72	38,1230 a ±1,24	24,0307 b ±1,35	0,1354 b ±0,01	128,6792 a ±18,62	829,8946 b ±18,94	41,4261 ±6,67
AEU10	10,8784 c ±0,97	18,7545 c ±1,68	18,102 c ±0,47	0,1556 b ±0,02	72,5365 b ±14,81	889,7884 a ±18,22	37,675 ±3,83
AEU14	7,1729 d ±0,44	12,3661 d ±0,76	25,7380 a ±1,07	0,1503 b ±0,02	114,9356 a ±22,85	853,3481 b ±22,81	31,7162 ±5,22
CER	14,4646 b ±2,15	24,9370 b ±3,72	26,6884 a ±0,95	0,2354 b ±0,02	111,4432 a ±12,23	841,1568 b ±6,38	47,3999 ±8,89
PAS	11,0964 c ±1,14	19,1302 c ±1,97	12,8556 d ±0,73	0,6716 a ±0,12	124,2209 a ±9,46	830,4251 b ±22,78	45,3539 ±18,09
PROFUNDIDADE (P)	Médias						
0,0-0,10	13,92499 ±1,15	24,00668 ±1,99	21,78991 a ±1,4	0,245454 ±0,01	97,5386 ±4,69	868,7664 ±8,47	38,60875 ±4,39
0,10-0,30	12,23875 ±1,21	21,09961 ±2,09	20,8671 ab ±1,10	0,2571 ±0,01	101,5134 ±7,38	864,6611 ±7,85	43,64952 ±10,37
0,30-0,60	12,76122 ±1,22	22,00035 ±2,11	19,91087 b ±0,96	0,2524246 ±0,09	103,5025 ±3,2	860,7779 ±5,58	45,99106 ±3,35

Fonte: elaboração do próprio autor.

Nota: Média seguida de mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo Teste Scott-Knott para 5% de probabilidade. *=Significativo a 5% pelo Teste F; **= Significativo a 1% pelo Teste F; ^{ns}= não significativo pelo Teste F; CT= teor de carbono total; MO= teor de matéria orgânica; TU= teor de umidade; RP= resistência à penetração; Argila= teor de argila; Areia= teor de areia; Silte= teor de silte; AEU3= área sob cultivo de eucalipto de três anos; AEU5= área sob cultivo de eucalipto de cinco anos; AEU7= área sob cultivo de eucalipto de sete anos; AEU10= área sob cultivo de eucalipto de dez anos; AEU14= área sob cultivo de eucalipto de quatorze anos; CER= área de cerrado nativo; PAS= área de pastagem.

O maior teor de CT foi encontrado em AEU7 (22,11 g Kg⁻¹), seguido de CER (14,46g Kg⁻¹), que não diferiu das demais áreas de cultivo de eucalipto em primeiro corte (Tabela 2). Na literatura, teores de CT em área de vegetação nativa costumam ser os maiores quando comparados com áreas antropizadas. Nanzer *et al.* (2019) estudando o estoque de carbono orgânico total em diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Sul Matogrossense observaram o maior teor em área de vegetação nativa. Os autores explicam que isso acontece devido à falta de revolvimento do solo e ao sistema radicular das espécies no cenário. Resultados semelhantes foram encontrados por Gazolla *et al.* (2015) que, estudando a dinâmica da matéria orgânica em solos de cerrado nativo, pastagem e sistemas de plantio, também observaram maior teor de carbono total em área de cerrado nativo, e explicam que isso ocorre devido à ausência de ação antrópica em áreas nativas e ao aporte de resíduo vegetal depositado na superfície do solo.

Corroborando o maior teor de CT encontrado em AEU7 neste trabalho, Santos *et al.* (2013), estudaram o fracionamento da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso (eucalipto, sistema agrossilvipastoril e campo nativo), apontaram que o cultivo de eucalipto promoveu maior estoque de carbono orgânico total (até a profundidade de 7,5 cm), do que os outros dois sistemas, o que promoveu uma diferença significativa entre eles, isso devido ao grande aporte de material vegetal na camada superficial. Comportamento semelhante foi observado por Pulrolnik *et al.* (2009), que observaram aumento no estoque de COT em um Latossolo sob eucalipto, onde o aporte de resíduos culturais e de matéria seca da serrapilheira foi 46% superior ao encontrado no cerrado. Segundo Myers *et al.* (1994), materiais com relação C/N maiores que 25 e com altos teores de lignina e polifenóis demoram mais tempo para se decomporem, favorecendo a manutenção das substâncias orgânicas no solo. No caso do eucalipto, sua serrapilheira apresenta relação C/N alta, de 30 a 100, variando conforme a parte estudada da planta (Skorupa, 2001).

A matéria orgânica do solo (MOS), exerce um papel fundamental sobre a qualidade do solo, possibilitando melhoria na estruturação e aeração, incorporação de nutrientes, retenção da umidade e o tamponamento do solo, além de dispor do maior reservatório de carbono terrestre. No entanto, a maior concentração de MOS é encontrada na superfície, justamente, onde acontece maior ação antrópica (Barros, 2013).

As coberturas de solo estudadas impactaram o teor de MO (Tabela 2). O maior teor de matéria orgânica foi observado para o AEU7 (38,12 g kg⁻¹) e o menor para AEU14 (12,36 g kg⁻¹). Assim como o CT, foi notado o acréscimo da MO ao longo da idade de plantios de primeiro corte (AEU7 > AEU5 > AEU3), e decréscimo nos de segundo corte (AEU10 > AEU14). O baixo teor em AEU14 é causado, possivelmente, pela ação mecânica na área e pela idade do plantio.

Resultados similares foram encontrados por Barreto, Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2014) estudando o carbono das frações da matéria orgânica do solo sob plantios de eucalipto de um, três, cinco e treze anos. Os autores observaram que o maior teor de C na fração lábil da matéria orgânica do solo foi em plantio de três anos e o menor teor, em plantios de treze anos, pois, devido ao aumento da idade, maiores são os teores de compostos que influenciam na decomposição dos resíduos vegetais, gerando maior resistência da serrapilheira.

Martins (2018) conduziu um estudo sobre os diferentes manejos dos resíduos de colheita do eucalipto em relação ao teor de matéria orgânica do solo (MOS) em Neossolo Quartzarênico. De acordo com a autora, a remoção total dos resíduos de pós-colheita apresenta um decréscimo no teor de MOS de forma insignificante para apenas um ciclo, mas a diminuição considerável do teor de COT indica que ao longo de três ou mais ciclos, haverá impacto significativo.

O CER não diferiu das áreas de eucalipto com três e cinco anos (Tabela 2). Serpa *et al.* (2020) pesquisando o efeito dos diferentes sistemas de cultivo (eucalipto, cerrado sensu stricto, cerrado em regeneração e cana-de-açúcar) nos atributos físicos do solo em cerrado sul matogrossense, também encontraram resultados semelhantes aos deste trabalho, onde o teor de MOS encontrado em área nativa, não diferiu do teor de MOS encontrado em área de plantio de eucalipto.

Apesar de tanto o cerrado como as florestas de eucalipto serem áreas onde ocorre a deposição de material vegetal e serrapilheira, os valores distintos são possivelmente, devido à diversificação de espécies vegetais encontradas no cerrado, influenciando diretamente, na qualidade e quantidade do resíduo vegetal (Brady; Weill, 2013). A ausência de serrapilheira e acúmulo de material vegetal, como em florestas de eucalipto (AEU) e em área de cerrado (CER) explicam os baixos teores de MOS observados em PAS (12,85 g kg⁻¹), comparado às demais áreas.

A resistência à penetração é uma característica do solo que está diretamente ligada ao crescimento das plantas, podendo impactar seu desenvolvimento. Em solos

mais compactados, a resistência à penetração é maior, prejudicando o crescimento das raízes. Além disso, a compactação do solo pode resultar na redução dos espaços porosos e influenciar negativamente na capacidade de infiltração de água no solo (Reichert *et al.*, 2007). PAS apresentou a maior resistência à penetração observada (0,67 MPa), possivelmente resultado do manejo inadequado, alto pisoteio animal e à utilização de maquinários agrícolas nas pastagens. Já os menores valores de RP foram observados para as áreas de eucalipto, em todas as idades (AEU), podendo ser explicado pelo crescimento radicular agressivo da cultura, tornando o solo mais poroso.

Wendling *et al.* (2009) observaram que em um latossolo, áreas sob plantio de *Pinus caribae* apresentaram menor resistência à penetração, seguido de áreas de cerrado nativo e áreas de pastagem. Moreira *et al.* (2005) afirmam que a condução de pastagem degradada resulta no aumento da densidade do solo e, consequentemente aumento da resistência à penetração, isso devido ao excesso de carga animal causado por grandes lotações nas pastagens.

A análise revela que a camada superficial (0-10cm) apresenta maior teor médio de umidade (21,78%) do que as camadas mais profundas (20-30cm e 30-60cm) e que área de cerrado nativo apresentou maior teor médio de umidade (26,68%), seguido das áreas de eucalipto e de pastagem degradada (12,85%), respectivamente (CER > AEU14 > AEU7 > AEU5 > AEU3 > AEU10 > PAS) (Tabela 2).

A cobertura do solo impacta diretamente em sua capacidade de retenção e infiltração de água, interferindo na disponibilidade para as plantas (Zhang *et al.*, 2016; Melo Neto *et al.*, 2017). A área nativa possui condições adequadas para sua manutenção e sobrevivência (Dias, 2018) além da presença de serrapilheira que mantém a umidade no solo e reduz a quantidade de água perdida por escoamento.

Do mesmo modo, em um estudo sobre as propriedades de um solo sódico com plantio de *Eucalipto tereticornis* de 3, 6 e 9 anos de idade, Mishra, Sharma e Khan (2003), verificaram que a retenção da umidade do solo aumentou conforme a idade de plantio. Segundo os autores, após nove anos de cultivo, houve o aumento de microporos, matéria orgânica e teor de húmus, sendo atributos que contribuem para a retenção de umidade do solo.

Barbosa *et al.* (2019) em um estudo sobre a variação temporal da umidade do solo sob vegetação nativa, floresta de eucalipto e pastagem verificou que floresta de eucalipto reteve maior umidade, comparada às áreas de vegetação nativa e

pastagem, respectivamente. Segundo os mesmos autores, o baixo teor de umidade em PAS é devido ao manejo e à degradação do solo em áreas de pastagem. A compactação, comum em áreas de pastejo animal, faz com que a água demore muito tempo para infiltrar no solo e acabe sendo perdida (Silva Filho, 2016; Furquim *et al.*, 2020). Lanzasova (2005) explica que, apesar da compactação causada pelo pisoteio animal ser maior na camada superficial do solo (0-10cm), ela afeta a taxa de infiltração e a lâmina de água infiltrada.

Apesar das florestas de eucalipto também possuírem serrapilheira, sua eficiência média de retenção de umidade pode ser explicada pela interceptação das chuvas pelas copas das árvores, alterando a dinâmica da água até o solo (Barbosa *et al.*, 2019). Sun *et al.* (2018) em um estudo sobre a influência do tipo e da idade do plantio de eucalipto na retenção de água e na erosão do solo, notaram que em áreas de plantios mais velhos houve maior controle da erosão e redução do escoamento, e que plantas mais velhas possuem menor consumo de água, aumentando assim o teor de umidade no solo. Corroborando, em partes, com os dados obtidos por este estudo. De acordo com Richards *et al.* (2015), quanto melhor manejada a cobertura, maior o teor de umidade do solo que será retida.

3.4 CONCLUSÃO

As áreas de plantio de eucalipto de primeiro ciclo (3, 5 e 7 anos) apresentaram os maiores teores de carbono total e matéria orgânica do solo comparados aos teores encontrados em áreas de segundo ciclo de plantio de eucalipto, cerrado nativo e pastagem degradada. A menor resistência à penetração do solo também foi observada para áreas de plantio de eucalipto com 7 anos. O aumento do tempo de cultivo do primeiro ciclo do eucalipto gera o aporte do teor de carbono no solo, indicando que os plantios a longo prazo são capazes de promover incrementos na biomassa acumulada e a atributos físicos, como o teor de matéria orgânica.

Áreas de cerrado nativo e a camada superficial do solo apresentaram o maior teor de umidade do solo. As áreas de pastagem apresentam valores inferiores em todos os atributos analisados, evidenciando os efeitos da degradação e do manejo inadequado de seu cultivo ao solo.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados; 2003. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/569012>. Acesso em: 02 set. 2023.
- ALCÂNTARA NETO, F.; LEITE, L. F. C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G. A.; CARNEIRO, R. F. V. Compartimentos de carbono em Latossolo Vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. **Ciência do Solo**, Piracicaba, v. 35; p. 849-856, 2011.
- ALMEIDA, R. F.; SANCHES, B. C. Disponibilidade de carbono orgânico dos solos no cerrado Brasileiro. **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, v. 13, p. 259-264, 2014.
- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SILVA, D. M. P.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. **Biosciencie Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 988-997, 2014.
- BARBOSA, R. A.; FARIA, R. S.; SILVEIRA, L. J.; DIAS, H. C. T.; PIMENTA, L. V. A.; SOUZA, C. M.; FERREIRA, A. C. S. Variação temporal da umidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. **IFES Ciência**, Vitória, v. 5, p. 11-23, 2019.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, p. 581-590, 2014.
- BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar a.s emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **POLÊMICA**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 341-351, 2013.
- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Till Research**, Madison, v. 91, p. 217-226, 2006.
- BEN-DOR, E.; BANIN, A. Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple “loss-on-ignition” method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 20, n. 15-16, p. 1675-1695, 1989.
- BRADY N. C, WEIL R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- FURQUIM, L. C.; SOUZA, E. J.; SILVA, N. F.; NUÑEZ, D. N. C.; CABRAL, J. R. S.; SANTINI, J. M. K.; LEÃO, B. C. S.; STONE, L. F. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 16, p. 82-95, 2020.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, p. 693-704, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/tabelas/brasil/2020>. Acesso em: 09 mar. 2024.

LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, south-eastern Brazil. **Soil Research**, Clayton South, v. 41, p. 717-730, 2003.

MAPBIOMAS. Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no cerrado. [S. /], 2022. Coleção 7. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/MapBiomias_CERRADO_2022_09092022__1_.pdf. Acesso em: 09 mar. 2024.

MARTINS, J. G. **Matéria orgânica em neossolo quartzarênico sob diferentes manejos dos resíduos de colheita do eucalipto**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

MELO NETO, J. O.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; YANAGI, S. N. M. Temporal stability of soil moisture under effect of three spacings in a eucalyptus stand. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 39, p. 393-400, 2017.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A. *et al.* **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 1-5.

MISHRA, A.; SHARMA, S. D.; KHAN, G. H. Improvement in physical and chemical properties of sodic soil by 3, 6 and 9 years old plantation of *Eucalyptus tereticornis*: biorejuvenation of sodic soil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 184, p. 115-124, 2003.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 155-161, 2005.

MOSCA, A. A. O. **Avaliação dos impactos ambientais de plantações de eucalipto no Cerrado com base na análise comparativa do ciclo hidrológico e**

da sustentabilidade da paisagem em duas bacias de segunda ordem. 2018. 256 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MYERS, R. J. K.; PALM, C. A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I. U. N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (ed.). **The biological management of tropical soil fertility.** New York: Wiley-Sayce Publications, 1994. p. 81-112.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P. de; SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, p. 136-145, 2019.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2023.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. V.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2023. *Software*. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 04 mar. 2024.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: SOUZA FILHO, L. F.; SILVA, R. C.; FONTES, F. R. C.; SOUZA, C. M. M. **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa, 2007. p. 49-134.

RHEINHEIMER D. S.; CAMPOS B. H. C.; GIACOMINI S. J.; CONCEIÇÃO P. C.; BORTOLUZZI E. C. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Ciência do Solo**. Piracicaba, v. 32, p. 435-440, 2008.

RICHARDS, R. C.; REROLLE, J.; ARONSON, J.; PEREIRA, P. H.; GONÇALVES, H.; BRANCALION, P. H. S. Governing a pioneer program on payment for watershed services: Stakeholder involvement, legal frameworks and early lessons from the Atlantic Forest of Brazil. **Ecosystem Services**, Amsterdã, v. 23, p. 23-32, 2023.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N.; ARANTES, M.; KRUKER, J. M.; ZIMMER, A. H.; MERCANTE, F. M.; DE ALMEIDA, R. G. **Sistema São Mateus – Sistema de Integração Lavoura-Pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato Grossense.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013.

SANTOS, D. C.; FARIASI, M. O.; LIMA, C. L. R.; KUNDEII, R. J.; PILLON, C. N.; FLORES, C. A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, p. 838-844, 2013.

SERPA, K. M.; MONTEIRO, F. N.; FALCÃO, K. S.; MENEZES, R. S.; FERREIRA, R. S.; PANACHUKI, E. Atributos físicos e teor de matéria orgânica em área de Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, 2020.

SEVERO, F.F. **Carbono total e abundância natural de ^{13}C em perfis de solo sob plantio de eucalipto**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SILVA FILHO, E. P. Velocidade de infiltração em área de pastagem degradada e floresta natural no município de Porto Velho (RO). **Confins**, São Paulo, v. 29, 2016.

SKORUPA, A. L. A. **Acumulação e decomposição de serapilheira em povoamento de eucalipto, na Região do Baixo do Rio Doce-MG**. 2001. 64 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 491-499, 2004.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. **Solos areno-quartzosos no cerrado**: características, problemas e limitações ao uso. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/555305/1/doc07.pdf>. Acesso em: 12 set. 2024.

SUN, D.; ZHANG, W.; LIN, Y.; LIU, Z.; SHEN, W.; ZHOU, L.; RAO, X.; LIU, S.; CAI, XI-AN.; HE, D.; FU, S. Soil erosion and water retention varies with plantation types and age. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 422, p. 1-10, 2018.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. de; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 256-265, 2012.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; GUIMARÃES, E. D. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.3, p.429-438, 2010.

ZHANG, D. H.; LI, X. R.; ZHANG, F.; ZHANG, Z. S.; CHEN, Y. L. Effects of rainfall intensity and intermittency on woody vegetation cover and deep soil moisture in dryland ecosystems. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 543, p. 270-282, 2016.

4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DOS ATRIBUTOS DO SOLO RESUMO

A qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é crucial para o desenvolvimento das plantas e a biodiversidade do solo. Práticas inadequadas de manejo podem comprometer essa qualidade, afetando a sustentabilidade agrícola e ambiental. A análise de componentes principais foi utilizada para avaliar a influência das variáveis físicas do solo em áreas com diferentes manejos, destacando a textura, matéria orgânica e resistência à penetração como os principais fatores que impactam a qualidade do solo. O objetivo foi verificar as similaridades e diferenças de amostras de solos de áreas sob diferentes manejos, com base nos atributos físicos avaliados por meio da análise de componentes principais. Os resultados mostraram que solos sob plantios de eucalipto (primeiro e segundo corte) têm características físicas semelhantes e que áreas de pastagem têm piores condições devido ao manejo inadequado. Além disso, a matéria orgânica e o carbono total foram os principais fatores que diferenciaram as áreas estudadas, com maior concentração em solos com maior teor de argila. A resistência à penetração foi mais influente em áreas de pastagem.

Palavras-chave: multivariada; matéria orgânica; carbono; resistência à penetração.

ABSTRACT

The quality of the physical, chemical, and biological attributes of soil is crucial for plant development and soil biodiversity. Inadequate management practices can compromise this quality, affecting agricultural and environmental sustainability. Principal component analysis (PCA) was used to evaluate the influence of soil physical variables in areas with different management practices, highlighting texture, organic matter, and penetration resistance as the main factors impacting soil quality. The objective was to evaluate the similarities and differences of soil samples from areas under different management practices, based on the physical attributes evaluated through PCA. The results showed that soils under eucalyptus plantations (first and second cuts) have similar physical characteristics, while pasture areas (PAS) exhibit poorer conditions due to inadequate management. Additionally, organic matter and total carbon were the main factors that differentiated the studied areas, with higher concentrations in soils with higher clay content. Penetration resistance was more influential in pasture areas.

Key words: multivariate; organic matter; carbon; penetration resistance

4.1 INTRODUÇÃO

Com solos que se restringem, basicamente, a Neossolos Quartzarênicos e Latossolos, as superfícies geomórficas do Cerrado representam cenários de grande relevância dentro da produção agropecuária brasileira (Gomes *et al.*, 2004) ocupando mais de 25% do território nacional (Sauer; Cabral, 2022). Com isso, as práticas de manejo do solo adotadas pelos sistemas de produção geram alterações em seus atributos físicos, químicos e biológicos, podendo resultar em perdas na qualidade e afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (Niero *et al.*, 2010). Em contrapartida, a boa qualidade desses atributos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, além de favorecer a diversidade de organismos que habitam o solo (Doran; Parkin, 1994).

Qualquer alteração no solo pode modificar diretamente sua estrutura, atividade biológica e sua fertilidade, refletindo diretamente na produtividade das culturas (Carneiro *et al.*, 2009). O detalhamento deste universo é essencial para compreender e quantificar os impactos da utilização e manejo dos solos no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (Bavoso *et al.*, 2010), evitando a degradação de terras produtivas e avançando em aspectos de qualidade.

Nesse contexto, a análise do solo por meio de estatística multivariada, tem ganhado destaque por contribuir no melhor entendimento dos ambientes (Boruvka; Kozak, 2001). Para analisar a estrutura física do solo, é necessária a avaliação de diversos atributos que a afetam diretamente, e, por muitas vezes, é realizada por métodos estatísticos univariados, o que pode acabar sobrecarregando o processo e modificando a dimensão do real problema, devido à perda de algumas informações e às interpretações equivocadas (Silva *et al.*, 2010).

A análise de componentes principais (PCA) é uma análise que tem como vantagem simplificar a complexidade de um problema e facilitar sua interpretação (Bueno, 2001). O objetivo da PCA é reduzir o número de variáveis analisadas, mantendo a carga de informações original (Golobočanin; Škrbić; Miljević, 2004).

Este trabalho teve como objetivo verificar as similaridades e diferenças de amostras de solos de áreas sob diferentes manejos, com base nos atributos físicos avaliados por meio da análise de componentes principais.

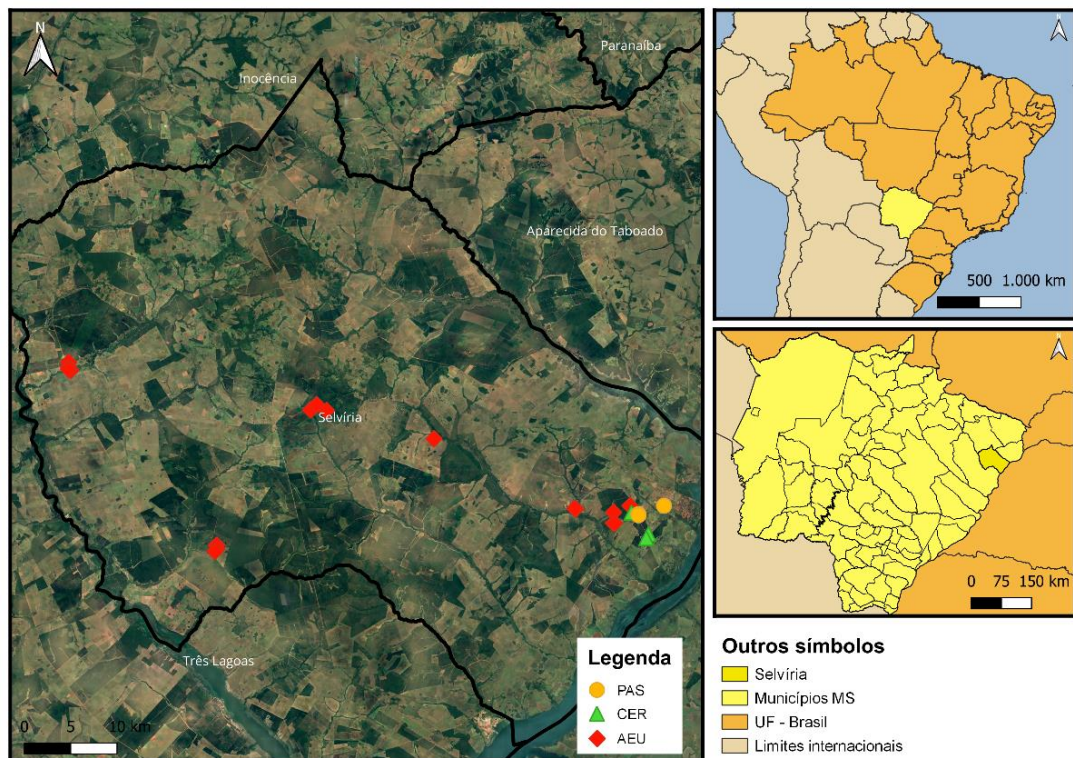
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas selecionadas para desenvolvimento deste trabalho localizam-se na região sudeste do Estado do Mato Grosso do Sul, no município de Selvíria (Figura 2). O clima na região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Aw (tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco), com concentração pluviométrica entre os meses de setembro a abril e médias anuais de precipitação e temperatura de, aproximadamente 1600 mm e 23°C, respectivamente. Na região, predomina relevo plano a suave ondulado e solos de textura média e arenosa, geralmente ácidos e de baixa fertilidade natural.

As áreas selecionadas para avaliação foram: áreas de plantio de *Eucalyptus grandis*, com espaçamento 3,0 x 2,5 m, em cinco idades diferentes: áreas de primeiro ciclo, com 3, 5 e 7 anos de plantio (AEU3, AEU5 e AEU7, respectivamente) e áreas de segundo ciclo, com 10 e 14 anos de plantio (AEU10 e AEU14, respectivamente), nas quais após o primeiro corte, procedeu-se o replantio de eucalipto na área; áreas de cerrado nativo (CER) e áreas de pastagem (PAS), com pastos de *Paspalum notatum*, em condições de degradação.

Em cada área foram escolhidos quatro pontos que apresentavam as mesmas características de solos arenoso possuindo cerca de 60% de partículas de areia, onde foram coletadas, nas profundidades de 0-10, 10-30, 30-60 centímetros. Amostra deformada, para determinação do carbono orgânico pelo método da perda de massa por ignição (BEN-DOR e; BANIN, 1989), análise granulométrica e teor de umidade, e indeformada, para determinação da resistência à penetração, com cilindros volumétricos (de 100 cm³).

Figura 2 – Áreas abordadas no estudo



Fonte: elaboração do próprio autor.

Nota: AEU3= área sob cultivo de eucalipto de três anos; AEU5= área sob cultivo de eucalipto de cinco anos; AEU7= área sob cultivo de eucalipto de sete anos; AEU10= área sob cultivo de eucalipto de dez anos; AEU14= área sob cultivo de eucalipto de quatorze anos; CER= área de cerrado nativo; PAS= área de pastagem.

O teor de carbono total do solo (CT) foi determinado pelo método da perda de massa por ignição (PMI), utilizando-se cápsulas de alumínio de volume 24 cm³, pesadas em balança analítica de precisão com quatro casas decimais. As cápsulas foram aquecidas em estufa a 105°C ± 2, por 24 horas e resfriadas em dessecador para posterior pesagem. Na sequência, foram utilizados cadinhos de porcelana, pesados previamente e junto com o solo (TFSA) para determinação de massas. Após, as amostras foram calcinadas em mufla a 400°C ± 2, por 24 horas, resfriadas em dessecador e pesadas novamente. O CT foi obtido através equação 4, em que, *P1* refere-se ao peso, em gramas, da amostra seca em estufa a 105 °C e *P2*, ao peso, em gramas, da amostra após ignição à 400°C.

$$CT = \frac{(P1 - P2) \times 1000}{P1} \quad (4)$$

O teor de matéria orgânica (MO) foi estimado com base no teor de carbono total, pela Equação 5, em que, CT refere-se ao teor de carbono total do solo, em gramas por quilograma:

$$MO = 1,724 \times CT \quad (5)$$

O teor de umidade (TU) foi determinado pelo método da estufa, determinando a massa da amostra no seu estado natural e a massa após completa secagem em estufa a 105°C por 16 horas. O TU foi obtido pela relação apresentada na Equação 6, em que Mu refere-se ao peso, em gramas, da amostra úmida e Ms ao peso, em gramas, da amostra seca em estufa.

$$TU(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (6)$$

Para determinar a resistência do solo à penetração (RP), as amostras indeformadas passaram por uma mesa de tensão a 60cm e 100cm de coluna d'água, ambas por 24 horas e submetidas a um penetrômetro estatístico de bancada (PEB) e, os dados obtidos foram lançados em uma planilha e corrigidos de Kgf para MPa. A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Física do Solo da UNESP, Campus de Ilha Solteira.

Os componentes principais são obtidos por meio da diagonalização de matrizes simétricas semi-definidas positivas. Seja $X_{n \times p}$ uma matriz de p variáveis com médias μ_p e variâncias σ_p^2 com n observações dependentes entre si, ou seja, que possuam covariância, representadas na matriz $\Sigma_{p \times p}$ (HONGYU *et al.*, 2016).

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \cdots & \sigma_{1p}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1}^2 & \cdots & \sigma_{pp}^2 \end{bmatrix}$$

Através da matriz de covariância são encontrados os pares de autovalores e autovetores $(\lambda_1, e_1), (\lambda_2, e_2), \dots, (\lambda_p, e_p)$, onde $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ e, as componentes principais Z_i são obtidas através da combinação linear do i -ésimo autovetor com as p variáveis (Equação 7):

$$Z_i = e_{i1}X_1 + e_{i2}X_2 + \dots + e_{ip}X_p \quad (7)$$

Os dados foram submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP), e foram analisadas pela programação R (R CORE TEAM, 2019) versão 4.3.0, com objetivo de sintetizar a variação multidimensional dos dados. As amostras (coberturas dos solos) e as variáveis (características físicas) foram transformadas em coordenadas (escores). Essas coordenadas correspondem à projeção das amostras nos eixos de ordenação, ou autovalores, que representam o peso de cada variável sobre o eixo. Esses pesos podem ser interpretados como o grau de correlação das variáveis com o eixo em questão. Os componentes principais utilizados foram escolhidos de forma a reterem mais de 70% da variabilidade total dos dados.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de componentes principais das variáveis respostas do solo demonstrou uma boa correlação com as duas primeiras componentes principais, os quais, em conjunto, explicam 75,20% da variância dos dados originais (Tabela 3), os demais contribuíram de forma irrisória e não foram considerados na análise. Conforme afirmado por Campos *et al.* (2013), em estudos relacionados à área de solos, valores de variância originais superiores a 70% são considerados aceitáveis, resultados similares foram obtidos neste trabalho.

Tabela 3 – Autovalores e proporção da variância total explicada pelos sete componentes principais

CP	Autovalor	Proporção	Acumulado
1	2,9640	0,4234	0,4234
2	2,2999	0,3286	0,7520
3	1,3197	0,1885	0,9405
4	0,3484	0,0498	0,9903
5	0,0680	0,0097	1,0000
6	0,0014	0,0000	1,0000
7	0,0000	0,0000	1,0000

Fonte: elaboração do próprio autor.

Nota: CP= Componente principal.

A componente principal 1 sempre assume a maior relevância, neste contexto, apresentando isoladamente 42,34% da variabilidade total dos dados originais. A tabela 4 evidencia as variáveis que desempenharam um papel significativo na formação das componentes por meio dos escores que, representam a significância da área estudada sobre o componente em forma de coordenadas.

Tabela 4 – Coeficientes associados a área de estudo na definição dos componentes principais

	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7
AEU3	-2,6240	0,2677	0,6266	-0,7156	0,1580	0,0000	0,0000
AEU5	-1,2794	0,3436	0,5218	0,3301	0,0094	-0,0001	0,0000
AEU7	1,4461	2,6784	0,3921	-0,1450	-0,2669	0,0000	0,0000
AEU10	-1,0743	-0,9038	-0,0877	0,9680	-0,2132	0,0000	0,0000
AEU14	0,2021	-1,0420	-2,0255	-0,5560	-0,1889	0,0000	0,0000
CER	1,1992	0,6753	-0,9021	0,3715	0,4797	0,0000	0,0000
PAS	2,1302	-2,0192	1,4749	-0,2531	0,0218	0,0000	0,0000

Fonte: elaboração do próprio autor.

Nota: CP= Componente principal; AEU3= área sob cultivo de eucalipto de três anos; AEU5= área sob cultivo de eucalipto de cinco anos; AEU7= área sob cultivo de eucalipto de sete anos; AEU10= área sob cultivo de eucalipto de dez anos; AEU14= área sob cultivo de eucalipto de quatorze anos; CER= área de cerrado nativo; PAS= área de pastagem.

Em uma definição simples, os autovetores são os coeficientes das combinações lineares, cujo valor absoluto determina a importância da variável dentro da componente principal (Johnson; Wichern, 2002), podendo ser utilizados, então, para avaliar a importância relativa de cada característica em cada componente principal, sendo os sinais positivos ou negativos indicadores das correlações existentes (Zanine *et al.*, 2008).

A primeira componente relaciona as variáveis teor de argila, areia e silte e pode ser interpretado como uma resposta relacionada à textura dos solos estudados (Tabela 5). As variáveis Argila e Areia são correlacionadas negativamente uma com a outra, indicando que, à medida que o teor de uma aumenta, o da outra diminui. A interpretação das tabelas 4 e 5 em conjunto mostra que a área sob plantio de eucalipto de três anos (AEU3) apresentou o maior teor de areia comparada às demais áreas de estudo, assim como menor teor de argila e silte.

Tabela 5 – Correlação entre componente principal e variáveis físicas do solo

	CP 1	CP 2	CP 3
CT	0,06684	0,89937	-0,43151
MO	0,06681	0,89936	-0,43152
TU	0,08715	0,56117	0,80556
RP	0,58367	-0,58594	-0,51552
Argila	0,92941	0,12900	0,11860
Areia	-0,98787	-0,08022	-0,11272
Silte	0,87583	-0,02996	0,07625

Fonte: elaboração do próprio autor.

Nota: CP= Componente principal; CT= teor de carbono total; MO= teor de matéria orgânica; TU= teor de umidade; RP= resistência à penetração; Argila= teor de argila; Areia= teor de areia; Silte= teor de silte.

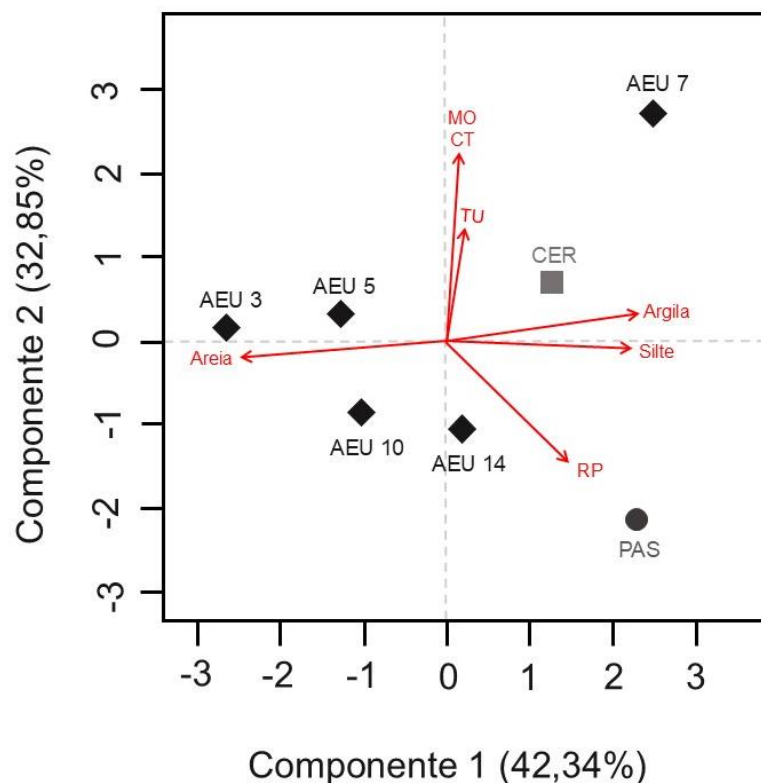
A segunda componente relaciona as variáveis MO e CT, com uma correlação de 0,8993, para ambas, já que a primeira influencia diretamente na segunda variável (Tabela 5), o que faz com que as duas variáveis apresentem o mesmo padrão de variação entre as áreas estudadas. Esta componente pode ser interpretada como um fator relacionado às condições orgânicas do solo. Observa-se que AEU7 foi a área que apresentou maior influência sobre a formação da componente 2 (Tabela 4).

A terceira componente relaciona-se apenas com a variável TU, sendo a única responsável pela sua formação, mas em um grau inferior de significância comparado às duas componentes anteriores, já que esta explica 18% da variação total dos dados, indicando que o teor de umidade não apresenta grande diferença entre os solos das áreas estudadas. No entanto, as correlações com os demais atributos mostram que o TU está negativamente correlacionado com resistência à penetração (-0,51552). De acordo com Beltrame, Gondin e Taylor (1981), a umidade tem o poder de alterar a coesão entre as partículas do solo; quando o solo está seco ou com baixo conteúdo de água, suas partículas ficam mais próximas e mais difíceis de serem separadas.

O teor de umidade também apresenta baixa correlação negativa com o teor de areia (-0,11272). O teor de umidade está diretamente relacionado à granulometria e à CTC dos solos (Reichert *et al.*, 2020). Segundo Brady e Weil (2008), a quantidade de areia possui efeito indireto na retenção de água de um solo, isso porque solos com textura mais arenosa apresentam mais espaços entre as partículas, o que favorece o caminhamento e a percolação da água no perfil, além das partículas de areia possuírem baixa carga elétrica superficial, o que desfavorece a retenção das moléculas de água.

Na figura 3, nota-se a distribuição das áreas estudadas na interação entre as duas componentes principais. Em análise da primeira componente principal com as variáveis de cunho textural, é possível notar que as áreas sob plantio de eucalipto AEU3, AE5 e AEU10 localizam-se à esquerda do eixo, indicando que são áreas que se encontram em solos com textura mais arenosa. Já a área AEU7, localizada no canto superior direito do gráfico, indica que é um solo com menor teor de areia e maior teor de argila e silte.

Figura 3 – Projeção das duas componentes principais retidas na análise dos atributos físicos dos solos



Fonte: elaboração do próprio autor.

Nota: AEU3= área sob cultivo de eucalipto de três anos; AEU5= área sob cultivo de eucalipto de cinco anos; AEU7= área sob cultivo de eucalipto de sete anos; AEU10= área sob cultivo de eucalipto de dez anos; AEU14= área sob cultivo de eucalipto de quatorze anos; CER= área de cerrado nativo; PAS= área de pastagem; CT= teor de carbono total; MO= teor de matéria orgânica; TU= teor de umidade; RP= resistência à penetração; Argila= teor de argila; Areia= teor de areia; Silte= teor de silte.

A segunda componente principal, relacionada às características orgânicas do solo, observa-se o isolamento das áreas AEU7 e PAS, em que, AEU7 indica que além de maior teor de argila, é a área com maior teor de carbono e matéria orgânica dentre as estudadas. De acordo com Centeno *et al.* (2017), na literatura é possível encontrar diversas referências que relacionem o teor de argila com teor de matéria orgânica do solo, isso porque a textura influencia estritamente na interação entre os demais atributos e nos processos biológicos que acontecem no solo. Dou *et al.* (2016) explicaram que solos argilosos geralmente apresentam maior teor de matéria orgânica do que solos arenosos, em razão da maior proteção física que a argila oferece ao solo, restando maior umidade e evitando grandes perdas da matéria orgânica já mineralizada.

A posição de PAS na figura 3, devido à proximidade com RP observada, sugere que foi a área que sofreu maior influência da resistência à penetração entre as áreas sob estudo. Da mesma forma, observa-se a posição de CER muito próxima à TU, sugerindo então, que tenha exercido maior influência sobre a área de cerrado nativo.

Em diversos estudos observa-se que a densidade do solo e a resistência à penetração é maior para áreas sob pastagens do que para áreas nativas ou de florestas de monocultivo (eucalipto ou pinus), em várias profundidades. Silva *et al.* (2023) atribuem isso ao frequente pisoteio animal na área e à falta de manejo adequado. Araújo *et al.* (2007) mostram que o efeito do pisoteio pode se estender até, pelo menos, 30 centímetros de profundidade, o que explicaria os resultados obtidos para PAS em relação à resistência à penetração (RP).

Considerando a figura 3 e as posições das áreas no gráfico, sugere-se possíveis agrupamentos de por conta da similaridade das características físicas de solo das áreas estudadas. A proximidade entre AEU3 e AEU5, e AEU10 e AEU14, sugere que o manejo dos ciclos de eucalipto, juntamente com a textura dos solos, influencia diretamente nas características físicas estudadas.

O primeiro grupo observado é com AEU3 e AEU5, áreas sob plantio de eucalipto de primeiro corte, bem como AEU10 e AEU14, áreas sob plantio de eucalipto de segundo corte. Indicando que o manejo dos ciclos de cultivo do eucalipto, juntamente com a classe textural, promove alterações nas características físicas do solo.

AEU7 e CER demonstram uma ligeira proximidade e semelhança entre características, no entanto, AEU7 oferece maior teor de matéria orgânica e carbono total, comparada à área nativa. Gomes *et al.* (2004) estudando as diferenças de comportamento entre solos do cerrado mineiro e goiano, também observaram uma semelhança entre áreas nativas e de florestas, cujo maior acúmulo de carbono foi observado na segunda. Segundo os autores, isto acontece devido à composição dos tecidos e ao sombreamento no solo gerado pela própria fisionomia.

Observa-se também que a área de pastagem (PAS) é a única área que está distante de todas as outras no gráfico, indicando que não há semelhança com as áreas em relação às variáveis analisadas neste estudo. Isso porque as áreas sob plantios de eucalipto independente do ciclo e as áreas de cerrado nativo apresentam solos em melhores condições, devido à ausência de revolvimento constante e aporte de

material vegetal, diferentemente das áreas de pastagem, evidenciando a negligência de manejo realizado nessas áreas.

Uma importante vantagem da técnica de PCA sobre outras abordagens é sua capacidade de identificar a variável que mais influencia, isto é, aquela capaz de explicar a maior parcela da variação total nos dados (Valadão Júnior., 2016) Essas correlações representam as contribuições individuais de cada variável, não levando em conta as contribuições multivariadas das outras variáveis (Silva; Pandovani, 2006). Esse aspecto é particularmente relevante na área de física do solo, onde pode viabilizar a seleção de poucos ou até mesmo um único atributo para análise, simplificando a coleta de amostras, que frequentemente é trabalhosa e dispendiosa.

4.4 CONCLUSÃO

Diante dos dados avaliados nessa pesquisa, houve dois agrupamentos claros entre as áreas estudadas: AEU3 e AEU5, mostrando a similaridade entre as áreas, principalmente em relação à textura do solo, e AEU10 E AEU14, onde a resistência à penetração provocou maior influência. O teor de matéria orgânica e carbono total foram as variáveis que mais influenciaram na distinção de AEU7 das outras áreas, assim como a resistência à penetração influenciou a distinção de PAS.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Ciência do solo**, Viçosa, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 227-234, 2010.
- BELTRAME, L.F.S.; GONDIN, L.A.P. & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 145-149, 1981.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th. ed. New Jersey: Pearson Education, 2008.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A. de. Superfícies geomórficas e atributos do solo em uma topossequência de transição Várzea-Terra Firme. **Bioscience Journal**, Uberlândia v. 29, n. 5, p. 132-142, 2013.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. *et al.* (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. v. 1, cap. 1, p. 3-21.
- DOU F., SORIANO J., TABIEN R. E., CHEN K. Soil texture and cultivar effects on rice (*Oryza sativa*, L.) grain yield, yield components and water productivity in three water regimes. **PloS one**, San Francisco, v. 11, n. 3, p. 1-12, 2016.
- GOLOBOČANIN, D. D.; ŠKRBIĆ, B. D.; MILJEVIĆ, N. R. Principal component analysis for soil contamination with PAHs. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v. 72, n. 2, p. 219-223, 2004.
- GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 137-153, 2004.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, Cuiabá, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Nova Jersey: Prentice-Hall, 2002. 632 p.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; MARIA I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1271-1282, 2010.

REICHERT J. M.; ALBUQUERQUE J. A.; PERAZA J. E. S.; COSTA A. Estimating water retention and availability in cultivated soils of southern Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 21, p. e00277, 2020.

SAUER, S.; CABRAL, L. Martyrdom of the cerrado: an agri-food territory in need of justice. Brighton: The Institute of Development Studies and partner organisations, 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12413/17245>. Acesso em: 25 ago. 24.

SILVA, F. L.; SILVA, H. M.; OLIVEIRA-JÚNIOR, E. S.; LÓPEZ-ALONSO, M.; PIERANGELI, M. A. P. Fertilidade e estoque de carbono em ambientes de pastagem e floresta no sul da Amazônia. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 28, p. e270888, 2023.

SILVA, N. R.; PANDOVANI, C. R. Utilização de componentes principais em experimentação agrônômica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 4, p.98-113, 2006.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 15-22, 2010.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; SILVA, G. J.; VALADÃO, F. C. A. Uso da técnica de componentes principais na física do solo. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 25, n. 2, p. 117-130, 2016.

ZANINE, A. M.; DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; FERREIRA, D. J.; SANTOS, E. M.; PINTO, L. F. B. Avaliação do capim-tanzânia (*Panicum maximum*) por meio de métodos de análise multivariada. **Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 1, p.179- 189, 2008.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A técnica de análise de variância (ANOVA) permitiu testar a hipótese de que o cultivo de eucalipto não diminui a qualidade do solo nos solos estudados, e identificar diferenças significativas entre os tratamentos (tipos de cultivo). A técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) permitiu identificar qual a variável mais importante que explica a variabilidade dos dados e realizar um agrupamento das áreas, com base nas semelhanças entre as variáveis estudadas.

A utilização da ANOVA e de PCA em conjunto como formas de análises complementares, se mostrou bastante útil. Isso porque a combinação das duas técnicas pode fornecer uma visão mais ampla e detalhada dos dados, permitindo a exploração mais a fundo dos dados e a validação de hipóteses específicas. No estudo sobre atributos do solo, a abordagem combinada se mostrou poderosa, possibilitando identificar a interação das variáveis estudadas.

REFERÊNCIAS

- ABURJAILE, S. B.; SILVA, M. P. da; BATISTA, E. A. F. S.; BARBOSA, L. P. J. L.; BARBOSA, F. H. F. Pesquisa e caracterização da diversidade microbológica do solo, na região de São José do Buriti-MG, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa (cerrado) por plantações de eucalipto. **Ciência Equatorial**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 1-18, 2011.
- AMARANTE, C. V. T.; CHAVES, D. V.; ERNANI, P. R. Análise multivariada de atributos nutricionais associados ao “bitter pit” em maçãs ‘Gala’. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 841-846, 2006.
- BADDEY, R. M. **Sequestro de carbono em solos sob sistemas agropecuários produtivos**. Seropédica: EMBRAPA, 2004. 3 p.
- BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 156 p.
- BATISTA, M. C. **Estoque de carbono e frações da matéria orgânica em áreas sob sistemas agroflorestais e agricultura no Agreste**. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. *In*: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.
- BEUTLER A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. ; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 167-177, 2001.
- BRANCAGLIONI, V. A. **Abordagem multivariada exploratoria da emissão de CO₂ do solo em áreas agrícolas**. 2017. 122 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.
- BRANDÃO, A. A. **Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de Cerrado no Pantanal Matogrossense**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.
- BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de Pinus taeda e P. elliottii em duas regiões do Rio Grande do Sul**. 2008, 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R. Carbono orgânico em solos florestais. *In*: SANQUETTA, C. R.;

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: Ecoplan, 2002. p. 191-213.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A. Superfícies geomórficas e atributos do solo em uma topossequência de transição Várzea-Terra Firme. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 132-142, 2013.

CANARACHE, A. PENETR: a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdã, v. 16, n. 1, p. 51-70, 1990.

CAVARARO, R. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=232440>. Acesso em: 23 jun. 24.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CORTEZ J. W.; ALVES A. D. S.; MOURA M. R. D.; OLSZEWSKI N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1207-1216, 2011.

COSCIONE, A. R.; SILVA, L. F. M.; MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A.; ERRACINI, V. L. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1654-1662, 2014.

COSTA, J. A. A.; PEREIRA, M. A.; COSTA, F. P. **Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela EMBRAPA gado de corte**. Campo Grande: Embrapa gado de corte, 2018. 17 p.

COSTA, T. G. A.; IWATA, B. F.; TOLEDO, C. E.; COELHO, J. V.; CUNHA, L. M.; CLEMENTINO, G. E. S.; LEOPOLDO, N. C. M. Dinâmica de carbono do solo em unidade de conservação do cerrado Brasileiro sob diferentes fitofisionomias. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, São Paulo, v. 7, n. 4. p. 306-323, 2018.

CRUZ, A. C. R.; PAULETO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1105-1112, 2003.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. v. 2.

FREDDI, O. S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 953-961, 2008.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; MORETI, T. C. C. F.; CARMO, D. A. B. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas

cultivados com cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p.362-374, 2013.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.

GOWER, J. C. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. **Biometrika**, Londres, v. 53, n. 3-4, p. 325-338, 1966.

GRIGOLON, Gilmar Batista. **Curva de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidade e tensão na câmara de Richards**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GUIDOLINI, Janaína Ferreira. **Atributos físicos e químicos de um argissolo sob diferentes Sistemas de Uso da Terra (SUTs)**. 2015. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2015.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TAHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, Cuiabá, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Soil and Water Conservation**, Madison, v. 55, p. 69-78, 2000.

JOHNSON, R. A; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3th. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIMA, A. M. F.; DANIEL, C. R.; PACHECO, M. T. T.; DE BRITO, P. L.; SILVEIRA, L. Discrimination of leukemias and non-leukemic cancers in blood serum samples of children and adolescents using a Raman spectral model. **Lasers in Medical Science**, London, v. 38, n. 1, p. 22, 2022.

LIU, S.; ZHANG, M.; FENG, F.; TIAN, Z. Toward a “Green Revolution” for soybean. **Molecular Plant**, Cambridge, v. 13, n. 5, p. 688-697, 2020.

MACEDO, V. R. M.; SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de tensões compressivas na pressão de pré-compactação e no índice de compressão do solo. **Engenharia Agrícola e cultura**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 856-862, 2010.

MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M.; BRUM, A. C. R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 3, p. 187-189, 1981.

MARTINS, I. S.; CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; PIRES, I. E. Eficiência da seleção univariada direta e indireta e de índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 323-333, jan. 2003.

MASLE, J.; PASSIOURA, J.B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Clayton South, v. 14, p. 643-656, 1987.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. *et al.* A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; MEIRA, C. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E. L. **Agricultura Digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Campinas: Embrapa, 2020. p. 20-45.

MESSETTI, A. V. L. **Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética de populações de girassol (*Helianthus annuus* L.)** 2007. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297 p.

MIQUELONI, D. P., BUENO, C. R. P. Análise Multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. **Ciência de Solo**, Piracicaba, v. 35, p. 2175-2182, 2011.

MONTERO, L. L. **Carbono em solos de cerrado**: vegetação nativa de cerrado versus plantios de *Eucalyptus* e *Pinus*. 2008. 130 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORRISON, D. F. **Multivariate statistical methods**. [S. l.]: McGraw-Hill, 1967. 338 p.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; FABIANE SILVA FERREIRA, F. S.; MAESTRE, M. R. Composição química do solo em diferentes condições ambientais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, p. 1063-1085, 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; MENDONÇA, L. A. R.; FONTENELE, S. B.; ARAÚJO, A. O.; BRITO, M. G. S. L. Estatística multivariada aplicada na caracterização ambiental de solos em região semiárida. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 200-210, 2019.

OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA C.A.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do sol na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25 p. 443-450, 2001.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 907-913, 2010.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991.

PASCOTO, T. V. **Análises fatorial e de componentes principais aplicadas ao estudo dos fatores influenciadores de processos erosivos**. 2020. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2020.

PEARSON, K. On lines and planes of closet fit to systems of points in space. **Edinburg and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, Londres, v. 2, p. 559-572, 1901.

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 665-674, jul./ago. 2003.

PEZARICO, C. R. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 29-48, 2003.

RESCK, D. V. S. Manejo de solos e sustentabilidade dos sistemas agrossilvipastoris na região dos Cerrados. In: SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. **Anais** [...] Brasília, DF: EMBRAPA; CPAC, 1996. p. 81-89.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; MELO, J. T. M.; SÁ, M. A. C.; RESCK, I. S.; SANTOS, M. L.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 21, p. 359-418.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdã, v. 110, p. 131-146, 2002.

ROSA, S. F. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de Eucalyptus spp.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, p. 1529-1538, 2016.

RUFINO, A. M. M. **Estoque de carbono em solos sob plantios de eucalipto e fragmento em Cerrado.** 2009. 60 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

SALES, A.; VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R. Dinâmica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta nos atributos físicos de um latossolo amarelo. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 19., 2015, Belém. **Anais [...]**. Pará: Embrapa Amazônia Oriental, 2015.

SANCHEZ, E. **Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno.** 2012. 48 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. *In*: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16. 1998, Montpellier. **Anais [...]**. Montpellier: ISSS, 1998.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1339-48, 2011.

SATO, J. H. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do cerrado.** 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SCHMIDT, M. W. I.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAN, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSEN, I. A.; KLEBER, M.; KOGEL-KNABNER, I.; LEHMAN, J.; MANNING, D. A. E.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, Londres, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SENA, K. N. **Comportamento do carbono orgânico e de atributos químicos, físicos e microbiológicos de um solo arenoso em área de conversão pastagem - eucalipto.** 2016. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

SILVA, A. F. **Análise multivariada de dados espaciais na classificação interpretativa de solos**. 2014. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370 p.

SILVA, L. F. S. **Aplicação do intervalo hídrico ótimo no monitoramento da qualidade física de um latossolo vermelho distroférrico típico**. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na Bacia Alto do Rio Grande-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 26, p. 495-524.

SOUZA, Z. M. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Escuro de Selvíria-MS sob diferentes usos e manejos**. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em sistemas de produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using multivariate statistics**. USA: Pearson Education, 2007. 980 p.

TOBAR-TOSSE, D. E.; CASTOLDI, R.; CANDIDO, W. S.; FERRAUDO, A. S.; CHARLO, H. C. O.; BRAZ, L. T. Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 7, p. 1214-1219, 2015.

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