



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS POSSE

**DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MASSA
SECA DE PASTAGEM SOB MANEJO INTENSIFICADO**

CLÉCIO SANTOS DA SILVA

Orientador: Prof^o. Me. Danilo Gomes de Oliveira

**POSSE – GO
2024**

CLÉCIO SANTOS DA SILVA

**DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MASSA
SECA DE PASTAGEM SOB MANEJO INTENSIFICADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto Federal Goiano – Campus Posse,
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharelado em Agronomia.

Orientação: Prof.º Me. Danilo Gomes de
Oliveira

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS POSSE
Coordenação do Curso Bacharelado em Agronomia

Trabalho de Conclusão de Curso
Clécio Santos da Silva

Título:

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MASSA DE
PASTAGEM SOB MANEJO INTENSIFICADO

Comissão Examinadora:

Prof.º Me. Danilo Gomes De Oliveira
IF Goiano – Campus Posse

Prof. Esp. Nome Completo
Instituição

Prof. Me. Nome Completo
Instituição

Posse – GO, 09 de dezembro de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) – Instituto Federal Goiano

S586d

Silva, Clécio Santos da.

Dependência espacial das propriedades físicas do solo e massa seca de pastagem sob manejo intensificado [manuscrito] / Clécio Santos da Silva. – Posse, GO: IF Goiano, 2024.

37 fls. : tabs.

Orientador: Prof. MSc. Danilo Gomes de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Campus Posse, 2024.

1. Física do solo. 2. Georreferenciamento. 3. Mapas. 4. Semiovariogramas. I. Oliveira, Danilo Gomes de. II. Título. III. Instituto Federal Goiano.

CDU 631.4



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica (assinale com X)

- Tese
- Dissertação
- Monografia – Especialização
- Artigo - Especialização
- TCC - Graduação
- Artigo Científico
- Capítulo de Livro
- Livro
- Trabalho Apresentado em Evento
- Produção técnica. Qual: _____

Nome Completo do Autor: Clécio Santos da Silva

Matrícula: 2020107200240127

Título do Trabalho: **DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MASSA SECA DE PASTAGEM SOB MANEJO INTENSIFICADO**

Restrições de Acesso ao Documento [Preenchimento obrigatório]

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 29/03/2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. Cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Posse, 7 de janeiro de 2025

CLÉCIO SANTOS DA SILVA

Assinado eletronicamente pelo o Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Danilo Gomes de Oliveira

Assinatura eletrônica do(a) orientador(a)

Documento assinado eletronicamente por:

- Danilo Gomes de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/01/2025 21:10:52.
- Clécio Santos da Silva, 2020107200240127 - Discente, em 07/01/2025 21:12:48.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/01/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 665711
Código de Autenticação: 9b2a1d18b6



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Posse

Rodovia GO - 453 km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, SN, Distrito Agroindustrial, POSSE / GO, CEP 73900-000

(62) 3481-4677



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 2/2025 - CEXT-POS/CMPPPOS/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos **09** do mês de **Dezembro** do ano de dois mil e **vinte e quatro**, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) **CLÉCIO SANTOS DA SILVA**, do Curso de Bacharel em Agronomia, matrícula **2020107200240127**, cuja monografia intitula-se “ **DEPENDÊNCIA ESPACIAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MASSA SECA DE PASTAGEM SOB MANEJO INTENSIFICADO**”. A defesa iniciou-se às **09** horas e 30 minutos, finalizando-se às horas e minutos. Após apresentação do Trabalho de Curso, a Comissão Examinadora realizou a arguição que foi respondida pelo(a) discente, a média da apresentação oral foi de **9,5**, a média do trabalho escrito foi de **9,0**, perfazendo média geral de **9,25**.

A comissão examinadora considerou o Trabalho de Curso:

() Reprovado/Ausente

(X) Aprovado, com recomendações que devem ser incorporadas à versão final.

() Aprovado, sem recomendações de modificação da versão final.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o discente deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

(Assinado Eletronicamente)

Danilo Gomes de Oliveira

Presidente/Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Elson Barbosa da Silva Junior

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Maria Caroline Aguiar Amaral



Documento assinado digitalmente

MARIA CAROLINE AGUIAR AMARAL

Data: 08/01/2025 11:12:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Danilo Gomes de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/01/2025 20:41:51.
- Elson Barbosa da Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/01/2025 20:43:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 659636
Código de Autenticação: 5eb1a5b4f4



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Posse

Rodovia GO - 453 km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, SN, Distrito Agroindustrial, POSSE / GO, CEP 73900-000

(62) 3481-4677

“Este trabalho dedico a quem, abaixo de
sol e chuva, bateu escadas e arriscou a
vida, assim como quem limpou e passou
dia após dia para que eu, no conforto,
pudesse dirigir a vida no caminho dos
meus sonhos”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por estar me concedendo vida e saúde para correr atrás dos meus objetivos. Aos meus pais, Nadire e Aldinéia que nunca mediram esforços quando o assunto foi investir na minha educação, essa pessoa que eu sou hoje e o profissional que estou me tornando, é reflexo deles.

Agradeço aos meus colegas de classe por cada dia vivenciado no decorrer do curso e ao professor Danilo Gomes de Oliveira por ter aceitado o convite para ser meu orientador.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Posse e a Fazenda Sossego pela parceria em prol da realização deste trabalho.

Obrigado a todos os envolvidos!

RESUMO

Existem várias tecnologias que proporcionam a aplicabilidade da agricultura de precisão, todavia, no que diz respeito a física do solo é necessário entender a variabilidade espacial e temporal dos constituintes dos solos e plantas e suas relações, tendo em vista a possibilidade de manejar essa variabilidade. Entendemos que o solo é um recurso limitado, já que a restauração de seus componentes essenciais requer períodos prolongados para voltar ao seu estado inicial, sendo fundamental estimar o grau das ações antrópicas provocadas pelo manejo inadequado das atividades agropecuárias. O objetivo geral desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e massa seca de um sistema de pastagem sob manejo intensificado. A área experimental se encontra no município de Divinópolis de Goiás, que fica situado na Região Nordeste do Estado de Goiás. A fazenda conta com aproximadamente 41,57 ha de pastagens cultivadas e seis piquetes estabelecidos. No software AutoCad® foi construído um *grid* amostral de 60mx60m, totalizando 112 pontos. Em cada ponto foi aferido a altimetria utilizando o GPS, coletada uma amostra do capim-andropogon (*Andropogon gayanus*, Kunth.), amostras de solo deformadas na camada A1 (0,00-0,20 m), e foi coletado amostras de solo indeformadas em duas camadas: P1 (0,00-0,10 m) e P2 (0,10-0,20 m). O valor médio da altimetria da propriedade foi de 708,88 m. A umidade apresentou valores abaixo dos 10% nas duas profundidades estudadas P1 e P2. Os mapas de isolinhas, confeccionados através de ajustes obtidos dos semivariogramas, permitem mostrar e quantificar a variabilidade do solo, possibilitando assim, aplicações de insumos em taxa variável, reduzindo custos e ocasionando menos impacto ao ambiente.

Palavras-chave: Física do solo; Georreferenciamento; Mapas; Semiovariogramas.

ABSTRACT

There are several technologies that enable the applicability of precision agriculture; however, regarding soil physics, it is necessary to understand the spatial and temporal variability of soil and plant constituents and their relationships, considering the possibility of managing this variability. We understand that soil is a limited resource since restoring its essential components requires extended periods to return to its initial state, making it crucial to estimate the degree of anthropogenic actions caused by improper management of agricultural activities. The general objective of this study was to assess the spatial variability of soil physical attributes and dry mass in a pasture system under intensified management. The experimental area is located in the municipality of Divinópolis de Goiás, situated in the Northeast region of the state of Goiás. The farm has approximately 41.57 hectares of cultivated pastures and six established paddocks. In the AutoCad® software, a sampling grid of 60m x 60m was created, totaling 112 points. At each point, the altimetry was measured using GPS, a sample of *Andropogon gayanus*, Kunth.) was collected, deformed soil samples were taken from the A1 layer (0.00-0.20 m), and undisturbed soil samples were collected from two layers: P1 (0.00-0.10 m) and P2 (0.10-0.20 m). The average altimetry value of the property was 708.88 m. The moisture content was below 10% at both studied depths, P1 and P2. The contour maps, created using adjustments obtained from the semivariograms, allow for the display and quantification of soil variability, thus enabling variable-rate input applications, reducing costs, and minimizing environmental impact.

Keywords: Soil Physics; Georeferencing; Maps; Semivariograms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Delimitação da área.	17
Figura 2 - Determinação do contorno com GPS.....	17
Figura 3 - Elaboração do <i>grid</i> amostral.	18
Figura 4 - Pontos georreferenciados.	18
Figura 5 - Representação gráfica.	19
Figura 6 - Coleta a campo.....	19
Figura 7 - Amostras deformadas e indeformadas.	20
Figura 8 - Coleta das amostras indeformadas.....	20
Figura 9 - Coleta de forragem disponível (A) e Amostra com sua umidade preservada (B). ..	21
Figura 10 - Determinação do peso seco das amostras indeformadas.	22
Figura 11 - Mistura de agentes (A) e Dispersão das amostras (B).	23
Figura 12 - Separação das partículas.	23
Figura 13 - Aferição da temperatura e separação das partículas.	24
Figura 14 - Preparo das amostras para avaliação de pH.....	24
Figura 15 - Leitura de pH do solo em água.	25
Figura 16 - Separação das amostras da pastagem (A) e Desidratação em estufa (B).....	25
Figura 17 - Moinho de facas tipo Willey (A) e Dessecador (B).....	26
Figura 18 - Mapas temáticos de distribuição espacial dos atributos físicos do solo, altimetria e produtividade de pastagem.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos analisados.....	28
Tabela 2 - Correlação linear dos atributos avaliados.....	29
Tabela 3 - Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para atributos avaliados.	30

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1 Qualidade física do solo.....	13
3.2 Pastagens tropicais	13
3.3 Agricultura de precisão	14
3.3.1 Dependência espacial	14
3.3.2 Krigagem ordinária.....	15
3.3.3 Geoestatística.....	15
3.3.4 Variabilidade espacial	16
4. METODOLOGIA.....	16
4.1 Caracterização da área	16
4.2 Coleta das amostras	17
4.3 Experimentação em laboratório	21
4.4 Análise estatística e geoestatística	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso limitado, visto que a restauração de seus componentes essenciais requer períodos prolongados para voltar ao seu estado inicial, nesse sentido, se torna fundamental estimar o grau das ações antrópicas provocadas pelo manejo inadequado das atividades agropecuárias (Dada et al., 2021). Optar por técnicas que avaliem a saúde de um solo de maneira objetiva tem sido um desafio, os resultados dessas avaliações representam um aspecto muito importante sobre a qualidade física do solo.

Para garantir uma produção sustentável no âmbito da segurança alimentar para humanos e animais, se faz necessário que os solos agropecuários estejam saudáveis, ou seja, seus aspectos biológicos, físicos e químicos estejam em harmonia, proporcionando menores índices de erosões, degradações e assoreamentos de áreas produtivas. Nesse contexto, estes solos estão expostos a pressões consideráveis devido à intensificação das práticas agrícolas, ameaçando a sua capacidade de desempenhar os seus serviços e funções ambientais de forma sustentável (Smith et al., 2016).

A adoção de sistemas mais sustentáveis de produção na agropecuária, são essenciais para assegurar a alimentação em diversas partes tropicais do mundo. As pastagens tropicais englobam um fator crucial dentro desses sistemas, pois disponibilizam recursos alimentares para os animais (Jayasinghe et al., 2022).

Cultivado em diversas localidades, o capim-andropogon (*Andropogon gayanus*, Kunth.) é uma forrageira perene que apresenta grande importância para o sustento da pecuária no Brasil. Tudo isso, graças a sua elevada produção de massa seca e boa resistência aos períodos de seca, além de apresentar adaptabilidade a solos ácidos e de baixa fertilidade natural, assim como, aceitabilidade pelos animais e bom teor de proteína bruta (Costa et al., 2001).

Existem várias tecnologias que proporcionam a aplicabilidade da agricultura de precisão, todavia, no que diz respeito a física do solo é necessário entender a variabilidade espacial e temporal dos constituintes dos solos e plantas e suas relações, tendo em vista a possibilidade de manejar essa variabilidade (Chen et al., 2022).

A textura do solo nos mostra como se encontra a distribuição das partículas minerais do solo, tendo como referência seu diâmetro equivalente e a proporcionalidade de seus constituintes, sendo esses denominadas areia, silte e argila (Resende et al., 2007). Conforme

Klein (2008), a densidade do solo é uma relação entre massa de solo seco e seu volume, portanto, é afetada diretamente por modificações na estrutura, arranjo e volume dos poros.

Atrelando o conhecimento da variabilidade espacial e associando-o a agricultura de precisão (AP), é necessário que o produtor entenda sobre como o solo se modifica dentro da sua propriedade, pois essa variação inclui desde poucos centímetros a dezenas de metros na superfície ou abaixo da camada superficial, portanto, é necessário a adoção de métodos de amostragem diferente dos que são tradicionalmente utilizados (Jayasinghe et al., 2024).

Pensando nessa avaliação, a agricultura de precisão tem se mostrado uma importante aliada nessa questão. A AP é toda prática de interferência que estabelece as melhores condições para as cultivares agrícolas, essa interferência pode ser química, física ou biológica, tomando por base os parâmetros avaliados através da geoestatística, que é a análise de dados de amostras georreferenciadas (Andrade et al, 2020).

Devemos ressaltar que o uso dos mapas de variabilidade em áreas cultivadas, permite a implementação de alternativas de manejo do solo e da pastagem de forma mais eficiente. A física do solo está correlacionada com a disponibilidade de massa seca de pastagem. Essa aplicação toma por base o entendimento da variabilidade espacial do local, o qual é essencial para orientar as decisões de manejo a serem seguidas (Comparin, 2023).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e massa seca de um sistema de pastagem intensificado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a densidade do solo da área estudada
- Elaborar mapas de isolinhas das propriedades físicas do solo
- Correlacionar a física do solo e a massa seca de pastagem

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 QUALIDADE FÍSICA DO SOLO

A qualidade física do solo envolve todo o conhecimento das características e processos relacionados com a capacidade do solo em manter as suas condições produtivas de maneira eficiente (Alonso et al., 2022), onde o estudo é realizado através de sua estrutura, aferindo parâmetros físicos de qualidade do solo.

As partículas minerais que formam o solo, a qual, denominamos como textura, apresentam características e comportamentos bastante distintos. Em função do maior tamanho, a fração areia possui maior permeabilidade à água e ao ar no solo, apresentando baixa capacidade de retenção de água. A fração silte possui poros menores e mais numerosos, retendo mais água e menor taxa de drenagem do que areia. E em função do reduzido diâmetro, a fração argila possui elevada superfície específica, tendo elevada retenção de água e fluxo lento de ar e água, (Brady; Weil, 2008).

Ao falarmos dessa estrutura nos referimos a forma, o tamanho e o arranjo espacial das partículas e agregados primários do solo e a rede de poros resultante. Podendo ainda ser definido de maneira mais específica, onde fatores abióticos (pH e teor de carbono), bióticos (raízes e organismos do solo) e relacionados com a gestão (lavoura) e abrangendo uma gama de escalas, as quais estão inteiramente ligadas (Smith et al., 2016). Nesse aspecto podemos dizer que essa estrutura controla as condições de enraizamento, os fluxos e estoques de ar e água e regula o habitat dos organismos do solo.

3.2 PASTAGENS TROPICAIS

A adoção de sistemas mais sustentáveis de produção na agropecuária, são essenciais para assegurar a alimentação em diversas partes tropicais do mundo. As pastagens tropicais englobam um fator crucial dentro desses sistemas, disponibilizando recursos alimentares para os animais (Jayasinghe et al., 2022). Diversos sistemas de produção baseados em pastagens enfrentam condições de produção desafiadoras (degradações, estações secas prolongadas, baixa fertilidade do solo, pragas e doenças) que afetam tanto a quantidade como a qualidade dos alimentos produzidos e, portanto, limitam a produtividade do rebanho (Jayasinghe et al., 2024).

Levando em consideração a degradação das pastagens, vários tipos de sistemas de pastejo surgiram para lidar com a deterioração e a distribuição heterogênea da biomassa (Sandhage-Hofmann et al., 2020). Podemos elencar dois principais sistemas de pastejo, o pastejo contínuo (extensiva) e o pastejo rotacional (intensivo) (Clara et al., 2018).

O pastejo contínuo é uma estratégia de pastoreio onde o gado fica disposto em uma unidade específica de terra, tendo acesso contínuo e irrestrito à pastagem durante todo o ano ou por um período do ano, geralmente 6 meses (Clara et al., 2018). Já os sistemas de pastejo rotacional são utilizados em glebas bem definidas, as quais apresentam descanso para as forragens. É necessário um sistema rotacional adaptativo no qual os agricultores/pecuaristas entendam os princípios subjacentes e reajam à variabilidade climática e às condições do pasto, tornando assim sua produção rentável (Santos et al., 2022).

3.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão é uma ferramenta tecnológica que necessita de dados confiáveis sobre uma determinada área, dos quais é possível aferir sobre um determinado manejo, desde que os dados utilizados estejam de acordo com as práticas agronômicas (Petrović et al., 2024).

Através dessa ferramenta, podemos estabelecer um entendimento localizado das características e necessidades dentro de uma propriedade agropecuária. Todo esse arranjo só é possível graças ao uso de técnicas de coletas confiáveis, georreferenciamento, aplicação seletiva de insumos e práticas de manejo sustentáveis. (Mapa, 2017).

3.3.1 DEPENDÊNCIA ESPACIAL

A dependência espacial é um parâmetro essencial para entender como um atributo do solo está distribuído no espaço, sendo possível verificar como ele varia (sua estrutura) em uma região. O semivariograma é a principal ferramenta usada na geoestatística para descrever a dependência espacial. Sendo um método que elabora um gráfico que relaciona distâncias com semivariâncias.

Pesquisas têm informado que o solo, naturalmente, apresenta variações em suas propriedades físicas ao longo do espaço e do tempo, decorrentes da forte interação entre clima,

pedologia e topografia (Araujo et al., 2018). A avaliação dessa variabilidade se torna aplicável por meio do emprego de técnicas geoestatísticas, as quais, possibilita a análise da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo por meio de modelos teóricos de variogramas (linear, exponencial, esférico e gaussiano) possibilitando a estimativa de valores em locais não amostrados por meio da krigagem ordinária, possibilitando, a criação de mapas de isolinhas na área estudada (Silva et al., 2010).

3.3.2 KRIGAGEM ORDINÁRIA

A krigagem é um método estatístico de estimativa de valores distribuídos em um determinado espaço, tomando por base, valores próximos quando considerados interdependentes pela análise do variograma escolhido (Yamamoto e Landim, 2013). A krigagem ordinária é uma avaliação de estimativa linear, baseado na ponderação de amostras no entorno do ponto desconhecido, sendo os ponderadores dependentes da variância espacial que o domínio apresenta. A krigagem ordinária não exige que a média populacional seja conhecida e seu erro de variância é mínimo, tornando assim, uma alternativa, já que a sua avaliação não exige 100% do conhecimento da área amostral, apenas em pontos localizados (Yamamoto, 2020).

3.3.3 GEOESTATÍSTICA

A técnica utilizada para avaliar a variabilidade espacial de uma localidade regionalizada é conhecida como Geoestatística. Com o auxílio dessa ferramenta, é possível estimar características quantitativas de uma determinada região para uma localidade onde não houve medição, ou seja, tudo isso é possível em função da correlação espacial entre os dados, caracterizada por ser uma alternativa e apresentar variância mínima nos resultados avaliados (Vieira, 2000).

Através da geoestatística, é possível avaliar a dependência espacial e utilizá-la para interpolar valores em locais não medidos, proporcionando a geração de informações para a construção de mapas contínuos a partir de uma determinada amostragem. Na agropecuária, essa abordagem oferece a oportunidade de criar mapas relacionados à produtividade agrícola (Grego et al., 2014).

3.3.4 VARIABILIDADE ESPACIAL

A variabilidade espacial do solo ocorre em relação as metodologias de formação e o empenho da exposição de seus fatores, portanto, quanto maior for a variação desses fatores, em destaque o material que dá origem ao solo (rocha matriz), maior será a heterogeneidade dos solos de uma área (Vanmarcke, 1977).

Entendendo que a variabilidade dos atributos do solo, afeta diretamente na produtividade das culturas (Chen et al., 2022), pode-se fazer um levantamento dos potenciais produtivos dentro de uma determinada propriedade, a partir desse momento podemos realizar a adoção de manejos localizados naquela área graças a aplicabilidade da variabilidade espacial.

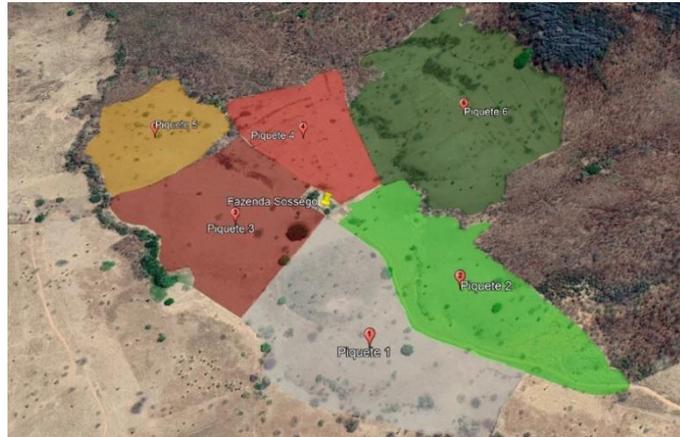
4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento a campo foi realizado no município de Divinópolis de Goiás (Lat. 13°17'21.74" S e Long. 46°23'49.59" O), que fica situado na Região Nordeste do Estado de Goiás e conta com uma altitude média 620m acima do nível do mar. O clima é tropical com estação seca no inverno (Aw, segundo classificação climática de Köppen-Geiger), com temperatura média de 24°C e precipitação anual variando entre 600 e 900 mm.

A Fazenda Sossego (Lat. 13° 9'16.29" S e Long. 46°25'56.79" O) conta com aproximadamente 41,57 ha de pastagens cultivadas, seis piquetes estabelecidos a mais de cinco anos (Figura 1) e utiliza o sistema de pastejo rotacionado de forma intensificada, utilizando como base princípios dos sistemas semi-intensivo e extensivo. A pastagem fornecida dentro desses piquetes é o capim-andropogon (*A. gayanus*, Kunth.), no qual os animais entram quando a pastagem atinge uma altura média de 0,70-0,80 m e são retirados quando a pastagem atinge uma altura de ~0,30 m com uma lotação média de seis unidades animal por hectare.

Figura 1 - Delimitação da área.



Fonte: Google Earth, 2023.

4.2 COLETA DAS AMOSTRAS

Para iniciar a realização do estudo, primeiramente procedeu-se a demarcação da área da Fazenda Sossego utilizando um receptor *global positioning system* (GPS) modelo Garmin High Sensitivity, utilizando o sistema de correção diferencial (SAD69) apresentado na Figura 2. Ao final dessa etapa, foram elencados um total de 200 (duzentos) pontos, georreferenciando todo o contorno da propriedade.

Figura 2 - Determinação do contorno com GPS.

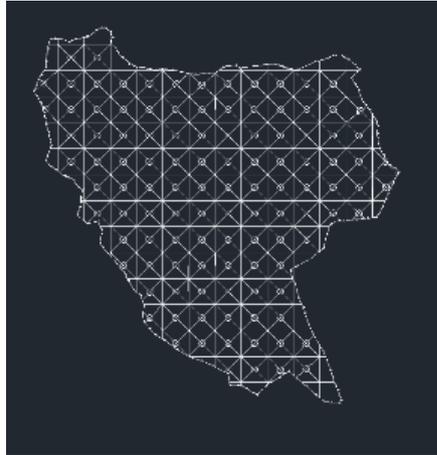


Fonte: Autor, 2023.

Após a coleta dos 200 (duzentos) pontos do contorno, os dados foram transferidos para o computador. Foi utilizado o software AutoCad® para a construção do *grid* amostral,

utilizando os dados coletados na etapa anterior, esse *grid* conta com dimensões de 60m x 60m, totalizando 112 (cento e doze) pontos georreferenciados dentro da propriedade com cada coordenada geográfica como visto na Figura 3.

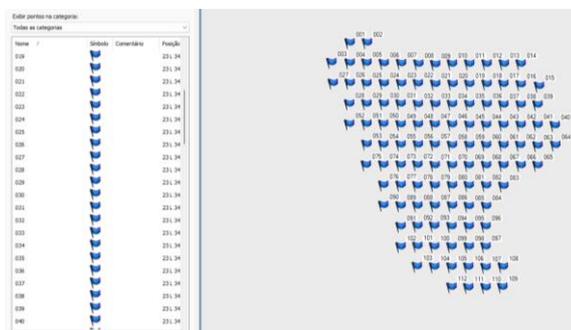
Figura 3 - Elaboração do *grid* amostral.



Fonte: AutoCad, 2023.

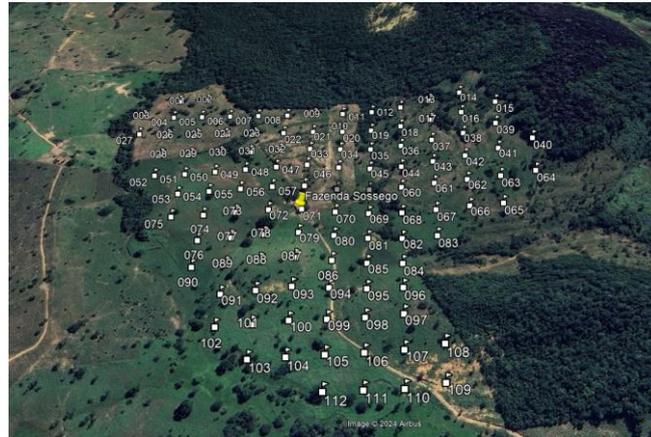
Com o *grid* amostral elaborado, obtivemos a localização geográfica de cada ponto, essas informações foram transferidas para o software MapSource® (Figura 4), elencando as coordenadas de Latitude e Longitude permitindo a localização precisa de cada ponto. A partir dessa ferramenta, temos todos os pontos georreferenciados dentro do GPS e podemos ir a campo realizar as coletas. As coordenadas foram inseridas no Google Earth para proporcionar uma visualização do mapa em escala real (Figura 5).

Figura 4 - Pontos georreferenciados.



Fonte: MapSource, 2023.

Figura 5 - Representação gráfica.



Fonte: Google Earth, 2024.

Utilizando o GPS Garmin High Sensitivity (Figura 6) foi coletado a altimetria da propriedade, amostras de solo deformadas na camada A1 (0,00-0,20 m) e amostras de solo indeformadas em duas camadas: P1 (0,00-0,10 m) e P2 (0,10-0,20 m) e posteriormente foi coletada uma amostra do capim-andropogon (*A. gayanus*, Kunth.) em cada ponto georreferenciado no *grid* amostral.

Figura 6 - Coleta a campo.



Fonte: Autor, 2023.

Para realização das análises das propriedades físicas do solo, foram ministrados dois tipos de coleta de solo em cada ponto georreferenciado seguindo as recomendações do Manual de métodos de análise de solo, (Teixeira, 2017). A coleta de amostras deformadas foi realizada com uma enxada na camada A1 e embaladas em sacos plásticos (Figura 7) e a coleta das

amostras indeformadas foi realizada nas camadas P1 e P2 utilizando o trado do tipo TAI (Trado para coleta de Amostras Indeformadas do solo) (Figura 8), o qual utiliza cilindros inoxidáveis com volume total de $99,55 \text{ cm}^3$. Essas amostras foram embaladas em sacos plásticos e bem vedadas (Figura 7) para preservar a umidade e mantidas em local arejado até serem processadas em laboratório.

Figura 7 - Amostras deformadas e indeformadas.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 8 - Coleta das amostras indeformadas.



Fonte: Autor, 2023.

Para a determinação da produtividade de Massa seca (Ms), utilizamos os mesmos 112 (cento e doze) pontos georreferenciados em um momento oportuno de uniformização de toda a

pastagem da área. Foi utilizado o método do quadrado, no qual montamos uma estrutura de (1 m²), coletando a pastagem presente a partir dos 5 cm acima da altura do solo (Figura 9). As amostras foram embaladas em sacos plásticos para preservar a umidade e foram alocadas para o laboratório o mais breve possível.

Figura 9 - Coleta de forragem disponível (A) e Amostra com sua umidade preservada (B).



Fonte: Autor, 2024.

4.3 EXPERIMENTAÇÃO EM LABORATÓRIO

Após encerrar todas as coletas em campo, as amostras foram devidamente transportadas para o Laboratório de Recepção e Secagem de Amostras pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Posse. Neste segundo momento, procederam as análises das propriedades físicas do solo, sendo elas: Densidade do solo (Ds), Umidade do solo (Us), Textura do solo (Ts). Como parâmetro químico foi avaliado o pH. E por fim, a produção de Massa seca (Ms) disponível do capim.

As primeiras propriedades físicas do solo avaliadas foram a Densidade do solo (Ds) e a Umidade do solo (Us), para essa avaliação procedemos para as amostras indeformadas coletadas nas camadas P1 e P2. Buscando preservar toda a umidade, é interessante uniformizar o conteúdo coletado, objetivando que todas as gotículas de água presentes nas embalagens sejam consideradas.

Em seguida, cada amostra foi depositada no cadinho de alumínio identificado (Figura 10). Foi realizado a pesagem com o recipiente devidamente tarado em balança analítica e submetido em estufa a uma temperatura de 105°C durante 24 horas, ao final, foi realizado uma nova pesagem de cada amostra na mesma balança analítica, obtendo o seu peso seco (Teixeira, 2017).

Figura 10 - Determinação do peso seco das amostras indeformadas.

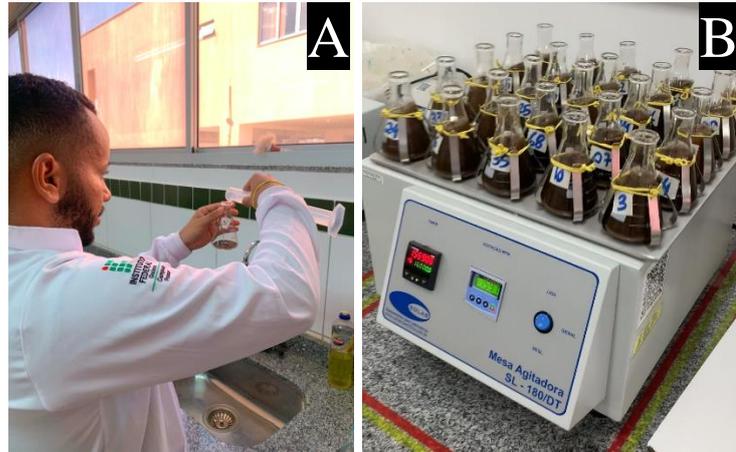


Fonte: Autor, 2023.

Para a determinação de D_s foi utilizado a divisão da massa do solo devidamente seco e o volume do cilindro ($99,55 \text{ cm}^3$) utilizado para coletar as amostras indeformadas em campo, usando o método proposto por Blake e Hartge, (1986). A U_s foi determinada pelo percentual obtido através do peso úmido menos o peso seco, em razão do peso seco e multiplicado por 100 (Teixeira, 2017).

Logo em seguida a próxima propriedade física determinada foi a T_s , esse parâmetro foi obtido através da medição das frações (areia, argila e silte) da coleta deformada na camada A1. O método utilizado (Teixeira, 2017) consiste em pesar 20g de solo de cada ponto coletado, adicionar 100 ml de água destilada e 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 1 mol/L^{-1} em um Erlenmeyer de 125 ml. O passo seguinte é agitar essa solução durante um período de 16 horas constantes, o equipamento utilizado foi uma Mesa Agitadora SL – 180/DT a uma velocidade de agitação em torno 159,1 rpm (Figura 11).

Figura 11 - Mistura de agentes (A) e Dispersão das amostras (B).



Fonte: Autor, 2024.

Após o período de 16 horas sob agitação, foi determinada a textura de cada ponto através da separação das partículas, o primeiro foi a areia, utilizando uma peneira de 0,053 mm e água destilada, foi coletado todo o material dispersado no Erlenmeyer, todo o material maior ficou concentrado na peneira, e as demais partículas menores (argila e silte) passaram e ficaram concentrados na proveta de 1 L (Figura 12). O material concentrado na peneira foi alocado em um cadinho de alumínio com peso conhecido e devidamente identificado com seu respectivo ponto de coleta.

Figura 12 - Separação das partículas.



Fonte: Autor, 2024.

A dispersão das menores partículas é influenciada pela temperatura e seguindo a equação de Stokes, a sedimentação do silte é determinada em função da temperatura da suspensão para a profundidade de 5 cm. Ou seja, controlamos a temperatura do ambiente em que as amostras estavam presentes para 25 °C, o tempo de sedimentação do silte foi de 3 horas

e 26 minutos. Após esse período foi realizada a coleta de 25 ml da solução com auxílio de uma pipeta graduada a partir de 5 cm de profundidade da suspensão do solo em cada proveta e foi colocado em cadinhos de alumínio. O passo seguinte foi pesar a fração areia e a argila e colocar na estufa durante 24 horas a uma temperatura de 105 °C. Passados as 24 horas, as amostras foram pesadas novamente e através do cálculo de percentual determinamos as frações areia, argila e silte de cada ponto coletado.

Figura 13 - Aferição da temperatura e separação das partículas.



Fonte: Autor, 2024.

Como parâmetro químico, foi avaliado o pH de cada amostra coletada, para esta análise foi necessário pesar 10 g de solo, como critério de segurança foi feita a avaliação em triplicatas em cada ponto. Essa quantidade solo pesada anteriormente foi adicionada em um *becker* de 50 ml e misturados com cerca de 25 ml de água destilada (Figura 14).

Figura 14 - Preparo das amostras para avaliação de pH.



Fonte: Autor, 2024.

Cada amostra foi agitada com um bastão de vidro por 60 segundos e posteriormente ficaram em repouso por uma hora (Teixeira, 2017). Tendo em vista esse tempo de repouso, foi realizado uma leve agitação com o bastão de vidro (Donagema, 2011) e iniciou-se a aferição com pHmetro, apresentado na (Figura 15).

Figura 15 - Leitura de pH do solo em água.



Fonte: Autor, 2024.

Por fim, foi determinado o percentual de Ms disponível em cada ponto coletado. Após a coleta em campo, o material úmido acondicionado em embalagens de papel semi-kraft foi pesado em balança analítica e direcionado a uma estufa de ventilação de ar forçada durante 72 horas sob temperatura de 65 °C (Figura 16).

Figura 16 - Separação das amostras da pastagem (A) e Desidratação em estufa (B).



Fonte: Autor, 2024.

Passada essas 72 horas, o material foi pesado novamente, obtendo assim o peso parcialmente seco. Para obter um percentual de Ms confiável, cada amostra foi triturada no moinho de facas tipo Willey com peneiras de 1 mm (Figura 17) e pesadas 1g de cada amostra em triplicata, sendo posteriormente colocadas novamente em estufa por 16 horas em uma temperatura de 105 °C. Passados essas 16 horas, as amostras foram inseridas no dessecador (Figura 17) por 45 minutos para equilibrar a sua temperatura e novamente foram pesadas em balança analítica, obtendo assim, o peso seco definitivo de cada ponto (Carvalho, et al., 2008).

Figura 17 - Moinho de facas tipo Willey (A) e Dessecador (B).



Fonte: Autor, 2024.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA

Após finalizadas todas as análises, os dados obtidos foram tabulados em planilhas no Excel® 2024, e foi realizada a estatística descritiva das amostras, utilizando as seguintes medidas: média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. Observando a distribuição e uniformidade dos dados, foram elaborados mapas de isolinhas, os quais, se torna possível avaliar o Índice de Dependência Espacial (IDE) da propriedade por meio da validação utilizando o método da krigagem ordinária

Os mapas de variabilidade foram criados utilizando o software GS+ 7.0 (Gamma Design Software®), esse aplicativo elabora mapas através de semivariogramas calculados dentro de uma amostragem de dados, tornando-os visíveis em um determinado contorno. Essa ferramenta fornece os seguintes semivariogramas: Linear, esférico, exponencial e gaussiano. No momento da avaliação, foram escolhidos os que se ajustaram melhor ao modelo

experimental, tendo como base o maior valor de R^2 e a menor Soma de Quadrados de Resíduos (RSS), gerados em cada avaliação (Dalchiavon et al., 2011).

A classificação do índice de dependência espacial dos atributos foi elaborada de acordo com a Equação 01, proposta por Zimback (2001), onde: C = valor da variância espacial; C_0 = valor do efeito pepita, assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE < 25\%$, moderada para $25\% \leq IDE \leq 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$.

$$IDE = \frac{C}{C_0 + C} \cdot 100 \quad (01)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontram-se os valores da estatística descritiva de todos os parâmetros estudados. Os valores de média e mediana foram bastante similares, confirmando a normalidade dos dados. De modo geral, foi apresentada uma boa amplitude numérica de cada parâmetro avaliado, isso mostra que existe heterogeneidade na área estudada.

Segundo a metodologia adaptada por Costa (2002), os coeficientes de variação (CV%) foram considerados altos ($CV > 35\%$) para a altimetria e os atributos de textura (areia, argila e silte) e baixos ($CV < 10\%$) para densidade, matéria seca, pH e umidade (Tabela 1). Quanto maior o CV, maior a variabilidade das informações em relação à média, o que indica um grupo de dados mais heterogêneo de dados e conseqüentemente, um CV baixo indica que o conjunto de dados é homogêneo, pois a maioria dos dados está próximo da média, os valores não se distanciam drasticamente.

Isso ficou evidente, quando acompanhamos o desvio padrão das amostras que foram avaliadas, confirmando a normalidade e a heterogeneidade de alguns dos parâmetros estudados. Portanto, há uma associação entre uma maior precisão aos dados aferidos que apresentam um CV menor, mas deve-se levar em consideração, a heterogeneidade que existe em uma determinada área, o que fez com que no campo, obteve-se valores altos e baixos, principalmente, em relação ao relevo, onde existem diferentes níveis de altitude e textura do solo como comprovado por Montanari (2005) em seus estudos.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos analisados

Atributos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	CV(%)
Altimetria (m)	708.88	709	693	734	8.29	68.66
Us - P1 (%)	6.45	6.12	1.82	14.9	2.51	6.32
Us - P2 (%)	7.23	6.95	1.83	15.78	2.51	6.29
Ds - P1 (g/cm ³)	0.98	0.96	0.68	1.33	0.15	0.02
Ds - P2 (g/cm ³)	1.04	1.01	0.75	1.79	0.17	0.03
Argila (%)	15.41	13.9	0.4	42.2	7.66	58.66
Areia (%)	50.86	50.51	20.8	80.85	12.62	159.26
Silte (%)	33.73	33.61	7.59	59.71	10.74	115.35
pH	6.07	6.04	5.21	6.82	0.29	0.08
Ms (%)	23.74	23.7	16.48	30.75	2.23	4.98

*Us - P1: Umidade (0,00-0,10 m); *Us - P2: Umidade (0,10-0,20 m); *Ds - P1: Densidade (0,00-0,10 m); *Ds - P2: Densidade (0,10-0,20 m); *Ms: Massa seca e *CV: Coeficiente de variação.

O valor médio da altimetria da propriedade 708,88 m condiz para uma produção viável do capim-andropogon (*A. gayanus*, Kunth.). Segundo pesquisas realizadas por Serafim (2015) e Cruz (2021), essa forrageira consegue se adaptar e produzir bem em altitudes de até 1400 m, tudo isso com as condições edafoclimáticas (clima, radiação, temperatura e umidade) ideais para seu desenvolvimento e principalmente uma média de 1000 mm de chuva por ano durante o ciclo.

A umidade do solo apresentou valor médio abaixo dos 10% nas duas profundidades estudadas P1 e P2, pode-se justificar esse dado pela má distribuição das chuvas ocorrida no Brasil no ano de coleta (Inmet, 2023) e também pelo baixo valor de argila presente na área de estudo (< 16%), pesquisas realizadas por Reichert et al., (2009) mostraram que solos com elevados teores de argila tendem a ter maiores valores de umidade, pois as argilas têm capacidade de reter potenciais volumes de água, graças à sua elevada superfície específica em comparação com as partículas de areia e silte.

Nas duas profundidades estudadas, foram observados valores médios para a densidade do solo que não caracterizam indícios de uma área compactada, somente em alguns pontos isolados os valores ultrapassam os limites de 1,60 g/cm³ para uma área que possui predominância arenosa (Leão, 2004).

Quanto ao pH, mensurado em água, observou-se média de 6,07. Segundo a classificação da Embrapa (2015), a faixa ideal para o desenvolvimento radicular de forrageiras fica situada nos limites de 5,5 e 6,5, o que permite maior disponibilidade dos nutrientes para a absorção pelas plantas. Segundo a pesquisa realizada por Castro (2021), que avaliou o uso de corretivos

de solo, a incorporação do Ca, Mg e S promoveu a neutralização da acidez do solo tanto em superfície como em profundidade, corrigiu o pH do solo e reduziu a m%, e melhorou o desempenho produtivo do capim e a qualidade do alimento fornecido aos animais.

A massa seca apresentou valor médio de 23,74% de massa seca disponível. Carvalho (2021) encontrou resultados bem semelhantes em estudos realizados com variedades de forrageiras similares ao capim-andropogon. Vale ressaltar que esse atributo é influenciado por altitude, densidade, pH e/ou textura (Fulco, 2001), mas correlacionando essas variáveis através do modelo linear de Pearson (Tabela 2), não foi obtido valores significativos nesse estudo.

Tabela 2 - Correlação linear dos atributos avaliados.

	Altimetria	Us P1	Us P2	Ds P1	Ds P2	Argila	Areia	Silte	pH	Ms
Altimetria	1.000									
Us P1	0.061	1.000								
Us P2	0.106	0.745	1.000							
Ds P1	-0.007	-0.164	-0.204	1.000						
Ds P2	0.212	-0.293	-0.351	0.357	1.000					
Argila	-0.161	-0.062	0.049	-0.123	-0.140	1.000				
Areia	-0.073	-0.257	-0.354	0.178	0.245	-0.531	1.000			
Silte	0.201	0.346	0.381	-0.121	-0.188	-0.090	-0.797	1.000		
pH	0.292	-0.164	-0.084	0.035	0.091	-0.162	0.242	-0.169	1.000	
Ms	-0.282	-0.132	0.013	-0.009	-0.104	0.127	-0.039	-0.045	-0.216	1.000

*Us - P1: Umidade (0,00-0,10 m); *Us - P2: Umidade (0,10-0,20 m); *Ds - P1: Densidade (0,00-0,10 m); *Ds - P2: Densidade (0,10-0,20 m) e *Ms: Massa seca.

Na Tabela 2 está apresentado a correlação linear, o atributo Us - P1 apresentou uma correlação forte positiva em relação a Us - P2, mostrando que a camada mais superficial estava mais úmida no momento da coleta. Jakelaitis (2008) demonstrou em seu estudo sobre a qualidade superficial do solo que nos primeiros 0,10 m há uma maior retenção de umidade se houver maior número de partículas de argila. Notou-se que Us - P1 apresenta correlação fraca negativa em relação a argila, sinalizando baixo índice de partículas nessa camada.

Ds - P1 em relação a Ds - P2 apresentou correlação fraca positiva mostrando que a camada superficial se encontra pouco compactada. Souza (2020) encontrou bons resultados em seu estudo sobre agroecossistemas, mostrando que as camadas iniciais do solo podem se adensar com o pisoteio dos animais, pois o pastejo em altas taxas de lotação podem provocar a compactação do solo no local. A Areia demonstrou correlação fraca negativa em relação a Us - P1 e Us - P2, resultado já esperado, pois a areia retém menores índices de umidade em comparação com a argila como mencionado por Reichert et al., (2009) em seus estudos.

Na tabela 3 encontram-se os modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais, efeito pepita, patamar, coeficiente de determinação, alcance e o índice de

dependência espacial dos atributos físicos do solo e produtividade da área avaliada. A análise geoestatística mostrou que apenas a Us – P1 não apresentou dependência espacial, sinalizado pelo efeito pepita puro.

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos teóricos de semivariância ajustados para atributos avaliados.

Atributos	Modelo	Co	Co + C	R ²	Alcance (m)	IDE (%)
Altimetria	GAUSSIANO	100.000	412.900	0.97	748	24
Us - P1	-	-	-	-	-	Efeito pepita puro
Us - P2	EXPONENCIAL	0.0001	0.00068	0.64	43	15
Ds - P1	GAUSSIANO	0.00435	0.02380	0.73	9	18
Ds - P2	GAUSSIANO	0.00654	0.03078	0.77	45	21
Argila	GAUSSIANO	7.10000	57.2100	0.74	56	12
Areia	GAUSSIANO	0.10000	144.800	0.79	67	7
Silte	GAUSSIANO	0.10000	103.300	0.82	65	10
pH	EXPONENCIAL	0.04960	0.10700	0.83	372	46
Ms	ESFÉRICO	3.17000	7.33000	0.94	1149	43

*Us - P1: Umidade (0,00-0,10 m); *Us - P2: Umidade (0,10-0,20 m); *Ds - P1: Densidade (0,00-0,10 m); *Ds - P2: Densidade (0,10-0,20 m); *Ms: Massa seca e *IDE: Índice de Dependência Espacial.

Esse resultado mostrou que esse atributo é espacialmente independente, podendo ser justificado por apresentar uma distribuição casual ou de que o espaçamento de amostragem utilizado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial (Silva et al., 1989). O efeito pepita puro é importante parâmetro que indica uma variabilidade não explicada, visto que, pode ser decorrente de erros na coleta ou pequenas variações não detectadas dentro da área avaliada, levando em consideração a distância de amostragem utilizada, sendo necessária uma menor distância entre os pontos de amostragem para se detectar a dependência nessas circunstâncias.

O coeficiente de determinação (R²) para altimetria, silte, pH e matéria seca foram os que mais se aproximaram de 1, obtendo valores entre 0,82 e 0,97 sinalizando que esses atributos se ajustam mais aos dados observados. Enquanto Us – P2, Ds – P1, Ds – P2, Argila e Areia apresentaram valores que variam entre 0,64 e 0,79 demonstrando que esses atributos se distanciaram mais aos dados avaliados. Deve-se ressaltar que nenhuma das variáveis avaliadas teve R² menor que 0,5, o que evidencia que o modelo linear está dentro dos critérios de avaliação.

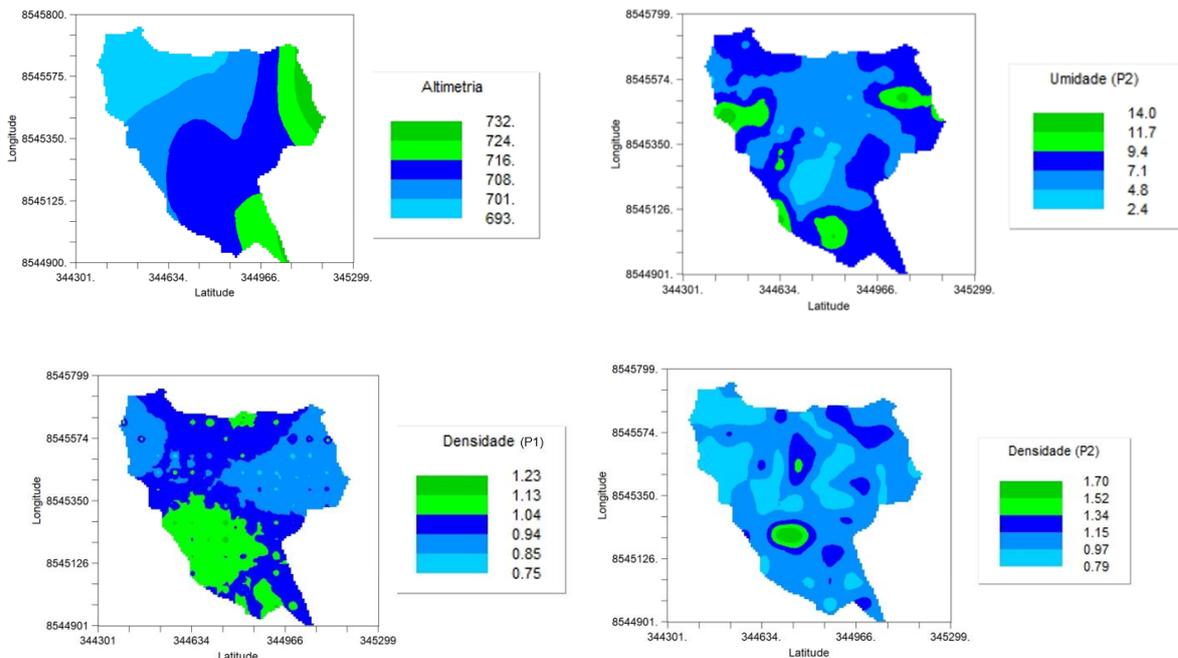
No que tange aos semivariogramas, um parâmetro que deve ser considerado é o alcance, o qual permite determinar máxima distância em que uma variável está correlacionada espacialmente, ou seja, avaliações realizadas a distâncias maiores que o alcance tem distribuição aleatória e, por isso, são independentes entre si, sendo necessário a adoção da

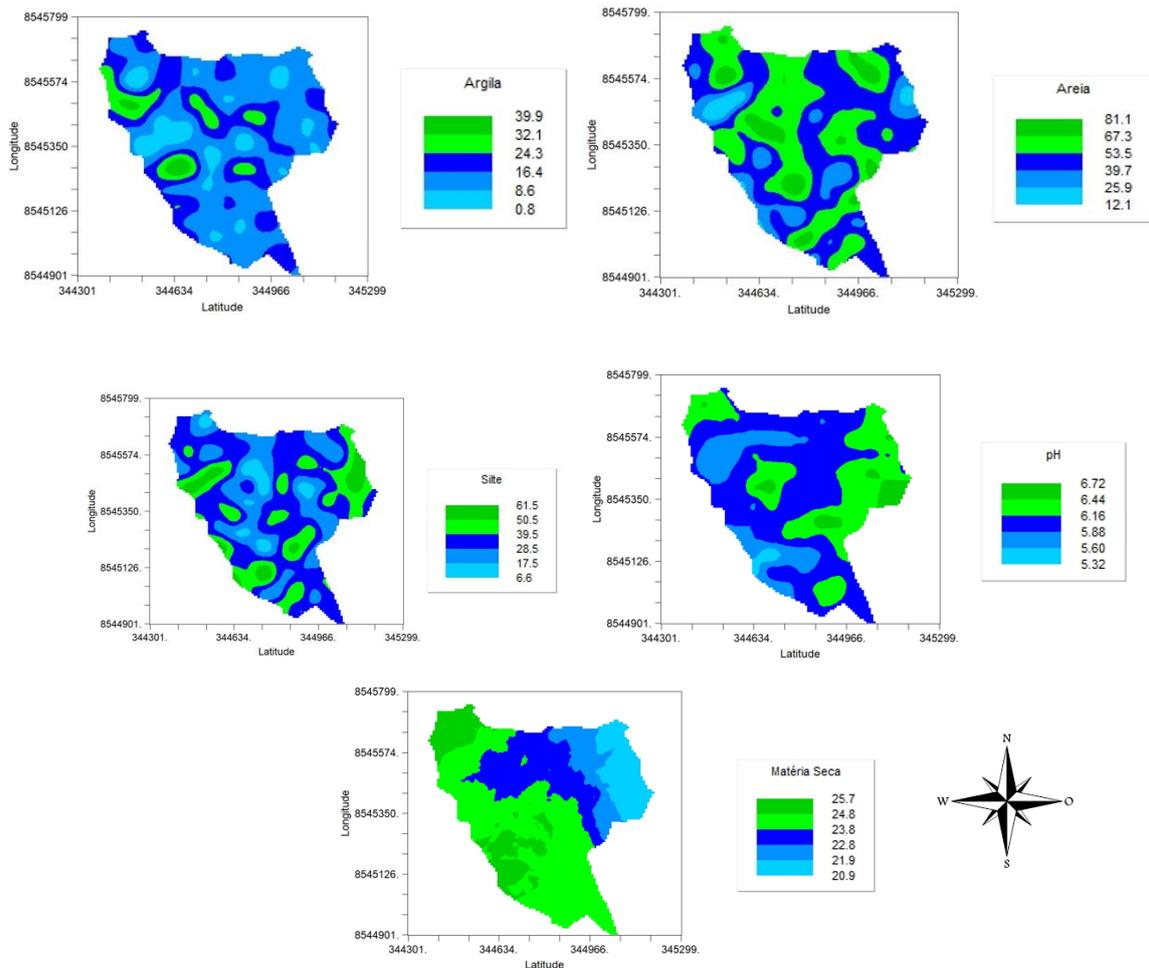
determinação utilizando a estatística clássica. O alcance de um atributo avaliado permite que todos os pontos dentro de um raio são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Miziara, 2017). Nesse estudo, o menor valor de alcance foi de 9 m para Ds – P1, e o maior para Ms com 1149 m.

Sobre o índice de dependência espacial (IDE) os atributos altimetria, Us – P2, Ds – P1, Ds – P2, argila, areia e silte apresentaram como resultado valores menores que 25%, sinalizando fraca dependência espacial. Enquanto os atributos pH e Ms demonstraram uma moderada dependência espacial apresentando valores entre o intervalo de 25% e 75% segundo a classificação de Zimback (2001).

Confeccionados por meio de ajustes obtidos dos semivariogramas, os mapas de isolinhas (krigagem), permitem mostrar e quantificar a variabilidade do solo, possibilitando assim, aplicações de insumos em taxa variável, reduzindo custos e ocasionando menos impacto ao ambiente (Miziara, 2017). Na Figura 18 temos a representação gráfica de todos os atributos avaliados no estudo, neles, conseguimos observar o que foi acusado através da estatística descritiva de maneira localizada nos limites da propriedade.

Figura 18 - Mapas temáticos de distribuição espacial dos atributos físicos do solo, altimetria e produtividade de pastagem.





Fonte: GS+ 7.0 (Gamma Design Software®), 2024.

Em relação a altimetria da área, observamos uma predominância concentrada na região nordeste do mapa. O mapa de Us - P2 mostra a distribuição de umidade pela propriedade, os pontos de maiores destaques são em áreas que se aproximam de córregos. No mapa de Ds - P1 teve destaques isolados e Ds - P2 mostrou que as redondezas da propriedade não estão compactadas.

Predominantemente a área da fazenda possui maiores teores de areia, ou seja, é um solo arenoso que possui em sua composição bons números de argila e silte como observado no estudo. O mapa de pH nos mostra que boa parte da área possui condições ideais para o cultivo da pastagem, o percentual de Ms obtido nos limites da área comprova que os maiores índices foram onde o pH variava entre 5,32 e 5,88, evidenciando a importância de manter essa faixa dentro da propriedade.

6. CONCLUSÕES

Demonstrou-se fraca variabilidade espacial para as propriedades físicas do solo e moderada para massa seca.

Através do estudo das propriedades físicas do solo foi constatado que o solo da propriedade não se encontra compactado. O fracionamento de partículas demonstrou uma área predominantemente arenosa com baixos índices de argila.

Por meio do uso de mapas de isolinhas associado com o conhecimento das características físicas dos solos, podemos criar estratégias de manejo mais localizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, A. *et al.* A hybrid method for characterizing tillage-induced soil physical quality at the profile scale with fine spatial details. **Soil and Tillage Research**, 216. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105236>

Andrade, T. S. *et al.* O Georreferenciamento como ferramenta de auxílio para agricultura brasileira. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 02, Vol. 04, pp. 155-164. Fevereiro de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-de-producao/agricultura-brasileira>

Araújo, D.; Montenegro, S.; Montenegro, A.; Junior, V.; Santos, S. **Variabilidade espacial de atributos do solo em uma bacia experimental no semiárido da região do pernambucano, Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 38-44, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p38-44>

Blake, G.R. *et. al.* **Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods**. Madison: ASA, 1986. p.363-375.

Brady, N. C.; Weil, R. R. The nature and properties of soils. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

Carvalho, M. A., et. al. (2021). BRS Sarandi: nova cultivar de *Andropogon gayanus* para pastagens. *Planaltina, DF: Embrapa Cerrados*.

Carvalho, R. *et. al.* **Método de determinação da disponibilidade de forragem.** Ciência et Praxis (2008). 1(2), 7–10.

Castro, F. R.; Resende, C. F. Uso de corretivos do solo e a recuperação de pastagem degradada de Braquiária brizantha. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e76101522617-e76101522617, 2021.

Chen, L.; Zhang, W.; Chen, F.; Gu, D.; Wang, L.; Wang, Z. (2022). Probabilistic assessment of slope failure considering anisotropic spatial variability of soil properties. **In Geoscience Frontiers** (Vol. 13, Issue 3). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101371>

Clara, M., *et al.* (2018). **Revista da Universidade Vale do Rio Verde.** SISTEMA INTENSIVO X EXTENSIVO NA CRIAÇÃO DE GADO DE CORTE. 16(1).

Comparim, P. J. **Densidades amostrais combinadas com pontos adicionais na variabilidade espacial de atributos químicos do solo.** (2023). 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2023.

Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de Monitoramento Agrícola.** Brasília, v. 12, 2023.

Costa, B. T. **Parâmetros produtivos, composição corporal e qualidade da carne de bovinos nelore criados em regime extensivo em função da idade e peso.** 2012. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, 2012.

Costa, N.H.A.D.; Seraphin, J. C.; Zimmermann, F. J. P. (2002). **Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas.** Pesquisa Agropecuária Brasileira., v.37, p.243-249, 2002.

Costa, N.L., Townsend, C.R., Magalhães, J.A. e Pereira, R.G. de A. 2001. Formação e manejo de pastagens de capim-andropogon em Rondônia. Embrapa Porto Velho. Rondônia. **Recomendações Técnicas**, 25. 2 pp

Cruz, N. T. *et. al.* Fatores que afetam as características morfogênicas e estruturais das plantas forrage. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.] , v. 10, n. 7, p. e5410716180, 2021.

DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16180. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16180>.

Dada, P.O.O.; Musa, J. J.; Olla, O. O.; Ohu, J. O.; Adewumi, J. K. (2021). Effects of tractorization and organic manure on physical properties of sandy loam soil in Abeokuta, Nigeria. **Niger. J. Technol. Dev.** 17 (4), 295–300. <https://doi.org/10.4314/njtd.v17i4.7>.

Dalchiavon, F.C. *et al.* Produtividade da soja e resistência mecânica a penetração do solo sob plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2011, 41, 1, 8 – 19.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018–Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-800-4.

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro – RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Revista Atual, Rio de Janeiro, 212f , 1997.

Fulco, L.; Kroon, H.; Berendse, H. T. Effects of nutrients and shade on tree-grass interactions in a East African savanna. *J. Veg. Sci.*, v.12, p.579-588, 2001.

Grego, C. R. *et al.* **Geostatística aplicada a Agricultura de Precisão**. BERNARDI, AC de C.; NAIME, J. de M, p. 74-83, 2014.

Inmet, Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET Tempo**. Disponível em <https://tempo.inmet.gov.br/>. Acessado em 22/09/2023.

Jakelaitis, A.; Silva, A. A.; Santos, J. B.; Vivian, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

Jayasinghe, J. M. P.; Pembleton, K. G.; Donaghy, D. J.; Ramilan, T.; Barber, D. G. Long-term evaluation of pasture production, seasonality, and variability: An application of the DairyMod pasture model for three tropical species. **European Journal of Agronomy**, 156. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127103>

Jayasinghe, J. M. P.; Pembleton, K. G.; Donaghy, D. J.; Ramilan, T.; Barber, D. G. Suitability evaluation of three tropical pasture species (Mulato II, Gatton Panic, and Rhodes Grass) for

cultivation under a subtropical climate of Australia. **Agronomy** **12**, 2032. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092032>

Klein, V. A. Física do solo. Passo Fundo: Ediupf, 2008. Krzic, M.; Bulmer, C.; Teste, F.; Rahman, S.; Dambier, L. Relative measure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest. Vancouver: UBC, 2003. (Final Report R2003- 0219).

Leão, T. P.; Silva, A. P.; Macedo, M. C. M.; Imhof, S. Euclides, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 28, p 415-423, 2004.

Mapa. Principais conceitos e expressões utilizados na agricultura de precisão - ap. n. 61, p. 1, 2017.

Miziara N. et. al. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de plantio convencional**. 2017. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.3

Montanari, R.; Junior, J. M.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M. (2005). Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-deaçúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.69-77, 2005.

Petrović, B. Bumbalek, R.; Zoubek, T.; Kunes, R.; Smutny, L.; Bartos, P. (2024). Application of precision agriculture technologies in Central Europe-review. **In Journal of Agriculture and Food Research** (Vol. 15). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101048>

Reichert, J. M. et. al. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1547-1560, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000600004

Resende, M.; Curi, N.; Resende, S. B.; Correa, G. F. Pedologia, base para distinção de ambientes. 5 ed. Lavras: UFLA, 2007.

Sandhage-Hofmann, A. et al. Woody encroachment and related soil properties in different tenure-based management systems of semiarid rangelands. **Geoderma**, v. 372, p. 114399, 1 ago. 2020.

Serafim, V. F. Gomes, V. M. Seixas, A. A. Manejo do pastejo para capimAndropógon – Revisão de Literatura. Revista científica de Medicina Veterinária. – Ano XXIV-Número 24 – janeiro de 2015

Silva, A.P. et. al. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. **R. Bras. Ci. Solo**, 13:1-5, 1989.

Silva, S. A. et. al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 1- 8, 2010.

Smith, P. et. al. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. **Glob. Change Biol.** 22 (3), 1008–1028. <https://doi.org/10.1111/gcb.13068>.

Souza, J. F. et al. Compactação do solo em sistemas de integração lavoura-pecuáriafloresta após cinco anos de implantação e uso. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 3, p. 348-353, 2020.

Teixeira P. C.; Donagemma G. K.; Fontana A.; Teixeira W. G.. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro – RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Revista Atual, Rio de Janeiro, 212f , 2017.

Vanmarcke, E.H., 1977. Probabilistic modeling of soil profiles. **J. Geotech. Eng-Asce** 103 (11), 1227–1246.

Vieira, S. R. (2000). Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1, 1-53.

Yamamoto, J. K., 2020, Estatística, Análise e Interpolação de Dados Geoespaciais. São Paulo, Gráfica Paulos.

Yamamoto, J. K., Landim, P. M., 2013, Geoestatística: Conceitos e Aplicações (primeira edição): São Paulo, Oficina de Textos.

Zimback, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. Tese de Livre Docência. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001. 114p.