

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS RIO VERDE – GO
DIRETORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA (PPGZ)

**DIAGNÓSTICO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM ZONAS
DE MANEJO ESPECÍFICO: ESTUDO DE CASO NA ESCOLA-FAZENDA DO IF
GOIANO – CAMPUS CAMPOS BELOS**

Autor: Ananias Barreiros dos Santos Junior

Orientador: Dr. Althieris Souza Saraiva

Coorientadores: Dr^a. Tainara Tâmara Santiago Silva

Dr. Otacílio Silveira Junior

Rio Verde - GO

Março - 2024

**DIAGNÓSTICO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM ZONAS
DE MANEJO ESPECÍFICO: ESTUDO DE CASO NA ESCOLA-FAZENDA DO IF
GOIANO – CAMPUS CAMPOS BELOS**

Autor: Ananias Barreiros dos Santos Junior

Orientador: Dr. Althieris Souza Saraiva

Coorientadores: Dr^a. Tainara Tâmara Santiago Silva

Dr. Otacílio Silveira Junior

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Zootecnia

Rio Verde – GO

Março – 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSA237 Santos Junior, Ananias Barreiros dos
d Diagnóstico e Estimativa de Produção de Forragem em
Zonas de Manejo Específico: estudo de caso na escola-
fazenda do IF Goiano - Campus Campos Belos / Ananias
Barreiros dos Santos Junior; orientador Dr.
Althieris Souza Saraiva; co-orientadora Dr^a Tainara
Tâmara Santiago Silva; Dr Otacílio Silveira Junior. --
Rio Verde, 2024.

57 p.

Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia (PPGZ)) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2024.

1. Zootecnia de precisão. 2. correção de solo. 3.
pecuária 4.0. 4. geoestatística. 5. produção de
bovinos. I. Saraiva, Dr. Althieris Souza, orient. II.
Silva; Silveira Junior, Dr^a Tainara Tâmara Santiago;
Dr Otacílio, co-orient. III. Título.

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, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

ANANIAS BARREIROS DOS SANTOS JUNIOR

Matrícula:

2022102310240003

Título do trabalho:

DIAGNÓSTICO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM ZONAS DE MANEJO ESPECÍFICO:
ESTUDO DE CASO NA ESCOLA FAZENDA DO IF GOIANO - CAMPUS CAMPOS RELOS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 25 /04 /2024

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 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;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, 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;
- Que 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.

RIO VERDE

Local

24 /04 /2024

Data

Ananias B. dos Santos Junior

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Althieris de Sousa Saraiva

Assinatura do(a) orientador(a)



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

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**DIAGNÓSTICO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM ZONAS DE
MANEJO ESPECÍFICO: ESTUDO DE CASO NA ESCOLA-FAZENDA DO IF
GOIANO – CAMPUS CAMPOS BELOS**

Autor: Ananias Barreiros dos Santos Junior
Orientador: Althieris de Souza Saraiva

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia – Área de Concentração em Zootecnia/Recursos Pesqueiros.

APROVADO em 13 de março de 2024.

Dr. Otacílio Silveira Junior
Avaliador externo
IFTO/Campus Dianópolis

Dr. Pietro Lopes Rego
Avaliador externo
IFTO/Campus Dianópolis

Dr. Althieris de Souza Saraiva
Presidente da banca

IF Goiano/Campus Campos Belos

Documento assinado eletronicamente por:

- Althieris de Souza Saraiva, DIRETOR(A) GERAL - CD2 - CMPCBE, em 13/03/2024 17:15:43.
- Otacilio Silveira Júnior, Otacilio Silveira Júnior - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 13/03/2024 17:27:34.
- Pietro Lopes Rego, Pietro Lopes Rego - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal do Tocantins (1), em 13/03/2024 18:52:35.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/03/2024. 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: 582012

Código de Autenticação: 2bbe4f4639



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, e conceder um caminho cheio de bençãos.

A minha esposa e companheira Sátilla Menezes Aires.

Aos meus Pais, Severina Maria Dias dos Santos e de Ananias Barreiros dos Santos (em memória).

Aos meus irmãos, Orlando Barreiros Dias, Antônio Barreiros Dias, José Barreiro Dias, Martina Yolanda Barreiro Neta. E Irmão que a vida me proporcionou, Euci Santana Costa e Silva.

A toda equipe da Batista e Neiva (Projetar Crédito e Consultoria Agropecuária).

Ao meu Orientador Professor Dr. Althieris de Souza Saraiva.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde e ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Aos membros a Banca prof. Dr. Pietro Lopes Rêgo, Dr. Otacílio Silveira Junior.

Enfim a todos que contribuíram direto e indiretamente para a realização deste trabalho, que Deus atenda suas aspirações e desejos, recompensando abundantemente e generosamente.

Obrigado a todos!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Ananias Barreiros dos Santos Junior, nasceu em 02 de maio de 1984, em Boqueirão dos Cochos, atual Igaracy – PB, cresceu em Combinado – TO com seus Pais e irmãos, onde cursou toda a educação básica, nesse período trabalhou como auxiliar de pedreiro e marceneiro. Nos anos 2004 e 2005 cursou o ensino Técnico em Agropecuária no Colégio Agropecuário de Natividade (CAN) em Natividade - TO, ao concluir, trabalhou em lavouras de algodão e soja no estado da Bahia – BA. Em 2006 entrou no primeiro curso superior em Tecnologia Agropecuária, pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) campus Campos Belos - GO, em seguida ao concluir o ensino superior, trabalhou com lavouras de algodão, soja e milho no estado Bahia. Em 2011, trabalhou com consultoria agropecuária na empresa Agrozootec, atual Agrozoocred, em Campos Belos – GO, até entrar na empresa Batista e Neiva (Projetar Crédito e Consultoria Agropecuária) em 2012. Em 2015, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), onde formou e colou grau de bacharel em engenharia agrônômica no mês de abril de 2019. Em 2020/2021 cursou pós-graduação em Gestão da Produção Agropecuária no IFTO campus Dianópolis – TO. Em 2022 iniciou no programa de pós-graduação em Zootecnia categoria mestrado. Em fevereiro de 2023, tomou posse no concurso do IFTO, cargo Técnico em Agropecuária no campus Dianópolis – TO, assim iniciando um novo ciclo de sua vida e em 2024, conclui Mestrado em Zootecnia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano campus de Rio Verde – GO.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES	12
RESUMO GERAL	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I – CONSIDERAÇOES INICIAIS	15
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Variabilidade espacial: uso eficiente de drones e geoestatística na produção sustentável de pastagens e manejo de plantas daninhas associadas	16
2.2 Geoestatística e sua aplicação na análise de atributos do solo.....	16
2.3 Plantas daninhas e sua influênca na produtividade de pastagens.....	18
2.4 Estudos de variabilidade de atributos químicos e agrônômicos como ferramenta de diagnóstico de produção de pastagens.....	19
2.5 Aplicação de técnicas de geoestatística para mitigar efeitos negativos na produção de pastagens	20
2.6 Uso de drone no mapeamento e diagnóstico de áreas de produção	22
3. CONSIDERAÇOES FINAIS	23
4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	24
CAPÍTULO II - DIAGNÓSTICO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM ZONAS DE MANEJO ESPECÍFICO.....	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística Clássica e Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade.40

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as características das variáveis estudadas.41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma de pesquisa de artigos	16
Figura 2 - Ilustração da área experimental	35
Figura 3 - Croqui da área com ilustração dos pontos de coleta.....	36
Figura 4 - Semivariograma empírico.....	38
Figura 5 – Mapas de isolinhas	41
Figura 6 - Imagem aérea captada por drone (mapa 2D).....	43
Figura 7 - Imagem classificada com o uso e ocupação do solo.....	44
Figura 8 - Comparação de imagens (original e classificada)	45
Figura 9 - Segmentação de imagem classificada.....	45
Figura 10 - Fusão de imagens.....	46
Figura 11 - Nível de degradação da área	47

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

C	patamar
C0	Efeito pepita
C1	Variância espacial
Ca	Cálcio
CE (est)	Condutividade elétrica estimada
cm	Centímetros
CTC	Capacidade de troca de cátions
GDE	Grau de dependência espacial
GNSS	Sistema global de determinação de posição e tempo
H+Al	Hidrognio mais alumínio
K	Potássio
kg	Quilograma
MAP	Fosfato monoamônico
Mg	Magnésio
MO	Matéria orgânica
Na	Sódio
P	Fósforo
pH (CaCl ₂)	Potencial de hidrogênio em cloreto de cálcio
pH (H ₂ O)	Potencial de hidrogênio em gua
QGIS 3.28	Quantum Gis é um software de código aberto e gratuito para processar dados geoespaciais.
RTK	Rel-time kinematic
V%	Saturação por bases atual (análise de solos)
VANT	Veículo aéreo não tripulado

RESUMO GERAL

SANTOS JUNIOR, Ananias Barreiros dos. Diagnóstico e estimativa de produção de forragem em zonas de manejo específico: Estudo de caso na escola-fazenda do IF goiano – campus Campos Belos. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, Goiás, Brasil, 2024. 56p.

O Brasil é destaque na produção de bovinos e grande parte dessa produção ocorre a pasto. No entanto, enfrentamos inúmeros desafios devido à degradação das pastagens, resultante de erros comuns que tornam as áreas exploradas pouco produtivas. Para reverter essa situação, é crucial ajustar o manejo das pastagens, encontrando equilíbrio entre a fertilidade do solo, o crescimento das plantas, o consumo pelos animais e o desempenho animal. Desse modo, o diagnóstico de área desempenha papel relevante nesse processo, proporcionando aos produtores e técnicos informações confiáveis para embasar suas decisões e implementar práticas de manejo mais eficazes. Este trabalho teve por objetivo implementar uma metodologia de diagnóstico utilizando *Machine Learning* (aprendizado de máquinas), com a finalidade de gerar mapas de fertilidade do solo, estimativas de produção de forragem e mapas de uso e ocupação da terra no âmbito da exploração agropecuária, fornecendo subsídios para embasar a tomada de decisão. A pesquisa conduzida na Escola-Fazenda do Instituto Federal Goiano – campus Campos Belos, é um estudo de caso que emprega programas como RStudio e Quantum GIS para realizar análises geoestatísticas e de estatística clássica, além de gerar mapas de predição e mapeamento de uso e ocupação do solo. O estudo destaca a relevância de um diagnóstico preciso de área para as tomadas de decisão. Diante dos resultados, a organização passa a considerar técnicas de gestão que visam gerar economia para produtores e técnicos interessados em alternativas sustentáveis de produção e aumento de produtividade. Através do uso de informações representadas em mapas com zonas de manejo específicas e fusão de imagens, é possível identificar zonas críticas e concentrar esforços de forma eficaz e no local para resolver problemas, fortalecendo assim a bovinocultura de maneira sustentável e aumentando a produtividade das áreas de pastagens.

Palavras-chave: Zootecnia de precisão, correção de solo, pecuária 4.0, geoestatística, produção de bovinos.

ABSTRACT

Brazil stands out in cattle production and a large part of this production occurs on pasture. However, we face numerous challenges due to pasture degradation, resulting from common mistakes that make exploited areas unproductive. To reverse this situation, it is crucial to adjust pasture management, finding a balance between soil fertility, plant growth, animal consumption and animal performance. In this way, area diagnosis plays an important role in this process, providing producers and technicians with reliable information to support their decisions and implement more effective management practices. This work aimed to implement a diagnostic methodology using Machine Learning, with the purpose of generating soil fertility maps, forage production estimates and maps of land use and occupation within the scope of agricultural exploration, providing subsidies to support decision-making. The research conducted at the Escola-Fazenda of the Federal Institute Goiano – Campos Belos campus, is a case study that uses programs such as RStudio and Quantum GIS to perform geostatistical and classical statistics analyses, in addition to generating prediction maps and mapping of use and occupation from soil. The study highlights the relevance of an accurate area diagnosis for decision-making. Given the results, the organization starts to consider management techniques that aim to generate savings for producers and technicians interested in sustainable production alternatives and increased productivity. Through the use of information represented on maps with specific management zones and image fusion, it is possible to identify critical zones and concentrate efforts effectively and locally to solve problems, thus strengthening cattle farming in a sustainable way and increasing the productivity of areas of management pastures.

KEY WORDS: Precision animal husbandry, soil correction, livestock 4.0, geostatistics, cattle production.

CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil desempenha um papel de destaque no cenário internacional da pecuária, sendo responsável por uma significativa parcela da produção mundial de bovinos. Além disso, nos últimos anos, o país consolidou-se como o principal exportador de carne bovina. (Nogueira et al., 2020). Contudo, a produtividade continua baixa a décadas e com o mesmo problema tem sido reportado por diversos autores que aponta como principal problema, a deterioração das pastagens, como um dos maiores desafios para a produção pecuária brasileira nos últimos anos, conforme apontado por Oliveira et al. (2015).

As causas da degradação das pastagens estão associadas, entre diversos fatores, ao manejo fitossanitário, regime de chuvas, fertilidade do solo e a drenagem (Dias-Filho, 2011). É importante salientar que equívocos comuns contribuem para redução da produtividade das pastagens, resultando na rápida invasão por espécies espontâneas de regeneração natural, conforme apontado por Almeida e May, (2016).

Nesse contexto, a essência do manejo de pastagem consiste na busca por um equilíbrio eficiente entre o crescimento da planta, seu consumo e a produção animal, com o objetivo de manter estabilidade do sistema de produção (Flores et al., 2008). Para isso, é necessário o mapeamento e monitoramento dessas áreas para eventuais diagnósticos de produção e tomadas de decisões com embasamento técnico para corroborar ações mitigadoras de degradação das pastagens e assim aumentar a produtividade das áreas exploradas.

Nessa perspectiva, a utilização de ferramentas computacionais favorece a investigação por meio de geoestatística e análise de imagens. Essas ferramentas, tornam-se relevantes com o avanço tecnológico que proporciona análises e diagnósticos cada vez mais rápidos e precisos na identificação de superfície de cobertura, caracterização do uso e ocupação, quantificação de áreas e mapas de predição.

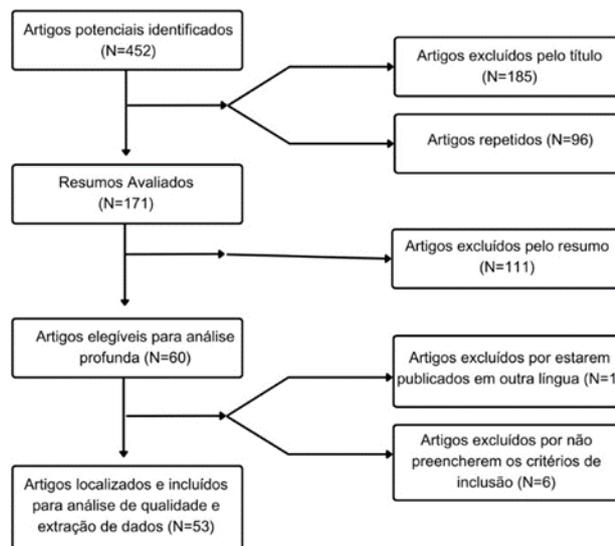
Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo, o diagnóstico e a estimativa da produção de forragem embasados em mapas de predição espacial gerados por meio da geoestatística e classificação de imagens com o uso de *Machine Learning* (aprendizado de máquinas).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Variabilidade espacial: uso eficiente de drones e geoestatística na produção sustentável de pastagens e manejo de plantas daninhas associadas

A revisão deste trabalho deu-se a partir do uso de artigos científicos voltados ao tema central do trabalho o diagnóstico de área de produção de pastagem e partindo desse princípio as linhas de trabalho e leitura alinhou-se em uso da geoestatística fertilidade do solo manejo de plantas daninhas manejo de pastagem espécies forrageiras, levantamento e monitoramento de área com uso de drone. Essas pesquisas geram vários resultados e com isso fez-se necessário um filtro de assuntos e palavras chaves para escolher os melhores artigos como demonstrados na Figura 1, um organograma de pesquisa.

Figura 1 - Organograma de pesquisa de artigos



Fonte: Elaborado pelo autor

2.2 Geoestatística e sua aplicação na análise de atributos do solo

A Geoestatística utiliza a função de semivariograma, ferramenta que vem da abordagem probabilística de variáveis regionalizadas, e permite modelar a dependência espacial dos dados. Os resultados dessa modelagem proporcionam entendimento completo da estrutura espacial da variável de interesse, tanto de forma visual quanto numérica (Marques; Pitombo, 2021).

Ao considerar que o solo é um recurso natural de fundamental importância na manutenção da vida humana (Justo et al., 2021), é de se salientar que a fertilidade do solo acaba por ser um dos fatores decisivos para o rendimento das culturas agrícolas e de interesse zootécnico, ao passo que a sua distribuição e correlação espacial, podem alterar significativamente a produtividade média em uma área cultivada (Paris et al., 2020). Estudos recentes têm demonstrado que o solo é naturalmente sujeito a variação de suas propriedades físicas e químicas (Araújo et al., 2018) e, neste contexto, compreender as variações espaciais, é imprescindível para subsidiar ações de manejo (Ataídes et al., 2021).

Adicionalmente, para atender as demandas futuras de alimentos e garantir sustentabilidade, novas tecnologias foram incorporadas à agropecuária (Rodrigues et al., 2020). Assim, a geoestatística permite identificar áreas com baixa produtividade, bem como identificar os fatores de influência nesse aspecto (Barbosa et al., 2019), ao mesmo tempo em que representa bem a dinâmica espacial de atributos de solo nos pontos em que o mapeamento foi possível (Araújo et al., 2018).

A aplicação de técnica nos atributos do solo, vem sendo desenvolvida em trabalhos que avaliam a distribuição espacial do solo como diagnóstico de áreas e zonas de manejos, porém com poucas aplicações na área de correção e adubação química do solo para um equilíbrio do sistema (Araújo et al., 2018). Para tanto, o conhecimento do padrão de variabilidade espacial desses fatores permite a aplicação em taxas variáveis nas sub-regiões de uma área (Barbosa et al., 2019).

É importante ressaltar ainda, que informações obtidas a partir de estudos de variabilidade espacial contribui para o melhor entendimento da relação entre o balanço de nutrientes e os fatores que limitam a produtividade das culturas agrícolas e/ou de interesse zootécnico (Silva et al., 2020). A exemplo nos cultivos de capins do gênero (*Megathyrus maximus* cv), implantados em regiões de solos com baixo teor de fósforo reduz a sua produção de massa em até 98,5%, isso demonstra o impacto da deficiência nutricional na produção de forragem e estabelecimento da cultura, que exige condições mínimas de fertilidade pelas cultivares exemplo: cálcio $1,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e magnésio de $0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ para estabelecimento da forragem (Cabral et al., 2020).

O manejo inadequado da área pode influenciar no comportamento espacial de uma variável. E por outro lado, o manuseio adequado do solo, pode permitir a maximização da produtividade, ao passo que com técnicas utilizadas na geoestatística pode-se mensurar e representar a correlação entre os atributos do solo estudados (Ataídes et al., 2021; Barbosa et al., 2019; Araújo et al., 2018).

Estudos sobre variabilidade espacial de atributos do solo em pastagens tropicais buscam conhecimentos que possam auxiliar nas tomadas de decisões sobre os manejos destes solos (Silva et al., 2020). Exemplo disto, é a confecção de mapas de isolinhas para recomendações de doses de corretivos e fertilizantes em zonas de manejo específico (Matias et al., 2019).

2.3 Plantas daninhas e sua influência na produtividade de pastagens

À concorrência imposta por plantas daninhas em áreas comerciais têm grande relevância (Casadei et al., 2020), e a comunidade infestante é, indiscutivelmente, um dos principais problemas fitossanitários a serem controladas nas áreas agrícolas e/ou culturas de interesse zootécnico, principalmente, devido a diversas espécies de plantas daninhas que apresentam variações de sensibilidade aos herbicidas (Neto et al., 2019). Exemplo disto, é que a rápida expansão da resistência a herbicidas indica a necessidade de adotar o manejo integrado de plantas daninhas (Haghnama; Mennan, 2020).

A competição por recursos e disputa por nutrientes, exercida pelas plantas daninhas, pode ser considerada um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produção das plantas cultivadas (Ramos et al., 2020). Nessa vertente o uso de métodos mecânicos, físicos, químicos e culturais de forma isolada ou integrada, possui grande eficiência no controle de plantas daninhas (Faleiro et al., 2022). Para o enfrentamento deste desafio torna-se necessário a exploração de práticas de manejo sustentáveis (Costa et al., 2018).

Nessa vertente, existem alternativas tecnológicas que podem ser utilizadas no manejo das plantas daninhas (Costa et al., 2018). No entanto, o controle químico em associação com melhoria da fertilidade do solo e implantação de forragem é mais eficaz no controle (Faleiro et al., 2022). Assim, o uso dos herbicidas sintéticos tornou-se uma prática muito comum no controle de plantas daninhas (Neto et al., 2019). Prática essa muito usada na produção pecuária. Outro ponto a ser abordado quando se trata de plantas daninhas é que elas também são consideradas hospedeiras de pragas. As plantas daninhas podem ser consideradas excelentes hospedeiras de nematóides entre outros organismos pragas de culturas, ao passo que através do controle de plantas daninhas pode-se estabelecer uma importante estratégia para a proteção dos cultivos (Ramos et al., 2020).

Adicionalmente, algumas espécies de plantas daninhas em pastagens podem causar intoxicações aos animais (Souza et al., 2021). Plantas tóxicas são aquelas que, quando ingeridas pelos animais, sob condições naturais, causam danos à saúde ou mesmo a morte, esses danos

trazem perdas econômicas direta com a perda do animal ou indireta com diminuição na produção de carne ou leite (Embrapa, 2018).

O uso de mapas de predição na quantificação e localização de pontos de presença de plantas daninhas é uma proposta de estudo que verifica o potencial de infestação de uma área, com o advento da tecnologia de precisão a adoção do método de mapeamento contribui para o controle e aplicação localizada (Monqueiro, et al., 2008).

2.4 Estudos de variabilidade de atributos químicos e agrônômicos como ferramenta de diagnóstico de produção de pastagens

Estima-se que grande parte das pastagens cultivadas no Brasil apresentam algum grau de degradação. O monitoramento sistemático da quantidade e qualidade do pasto é importante para adequar o rebanho a forragem presente na área de exploração da atividade (Insua et al., 2019). Assim, ao se pesquisar os atributos de produção de pastagens e fertilidade de um solo, deve-se realizar um levantamento completo do mesmo e evidenciar sua variabilidade espacial (Bottega et al., 2013).

Cabe ressaltar, que a capacidade das plantas forrageiras de reconstruir sua população através de perfilhos é afetada por mudanças climáticas e erros nas estratégias de manejo, pois a frequência e a severidade da desfolha altera de forma significativa o desenvolvimento do pasto e a proporção de perfilhos aéreos e basais, interferindo na recuperação e estabilidade do pasto (Da Silva et al., 2017).

A geoestatística apresenta-se como uma ferramenta de análise espacial, que evidência a heterogeneidade das variáveis, quando é levado em conta a localização espacial dos pontos coletados, o que permite maior compreensão e distribuição com confiabilidade, do processo de espacialização das variáveis e melhor acurácia dos dados (Andrade et al., 2018). Além disso, o manejo da variabilidade espacial dos atributos é uma das abordagens a ser empregada diante do constante desafio de aumentar a produção e produtividade das áreas exploradas pelo setor agropecuário para atender a demanda mundial de alimentos (Beneduzzi et al., 2022).

O solo pode ser degradado, por ações naturais, ou antrópicas, sendo a agricultura e pecuária, atividades de exploração que, mal manejada, contribuem para a degradação do solo (Silva et al., 2020). Nesse sentido, as tecnologias de precisão têm como uma de suas ferramentas a aplicação de insumos em taxa variável, que busca determinar a quantidade ideal de fertilizante a cada ponto da cultura, ao contrário da abordagem de recomendação convencional baseada em valores médios (Beneduzzi et al., 2022).

O mapeamento espacial dos atributos químicos do solo ou de produção de forragem é essencial para a eficiência amostral e planejamento agrícola que auxilia na gestão de recursos, garantindo o desenvolvimento regional e a sustentabilidade das características únicas de produção (Lima et al., 2017). Para além disso, os mapas de uso de solos são cada vez mais difundidos e relevantes no âmbito da ciência da informação geográfica, sobretudo, mapear a qualidade das pastagens do cerrado exige o desenvolvimento de abordagens computacionais e dados precisos (Brito; Brito, 2020).

2.5 Aplicação de técnicas de geoestatística para mitigar efeitos negativos na produção de pastagens

No Brasil, a bovinocultura de corte é baseada principalmente na produção de pastagens, que se destaca por ser o sistema mais usual e econômico que apesar de proporcionar bom desempenho produtivo, tem baixa capacidade de lotação, considerando o desempenho animal na lotação contínua (Feitosa et al., 2020). Além disso, a presença de plantas daninhas como consequência da degradação das pastagens é um problema enfrentado pelos pecuaristas em todo o mundo, assim conhecer os aspectos de interferência e o momento adequado para o manejo de plantas daninhas é essencial para a aplicação de uma determinada medida de controle (Marchi et al., 2022).

A ocorrência de plantas daninhas em ecossistemas de pastagens está ocorrendo em todo o mundo com consequências negativas (Oddi et al., 2021). As plantas daninhas interferem nas características morfológica estrutural, produção e qualidade nutricional de áreas de pastagens além de interferir negativamente na digestibilidade *in vitro* do material orgânico, sugerindo um controle e medidas para renovação ou manutenção de áreas de pastagens (Marchi et al., 2022).

A falta de manejo de plantas daninhas causa degradação das pastagens, interferindo no número de touceiras, densidade populacional de perfilhos existentes, que permitem sua recuperação, desde que as invasoras e a fertilidade do solo sejam adequadamente manejadas (Batista et al., 2021).

A geoestatística surge como uma ferramenta importante para identificar o espaço e distribuição temporal de pastagens em locais não amostrados, que se refletirá em uma melhor gestão de recursos para safra (Jacintho et al., 2021). Ao avaliar as propriedades químicas, físicas do solo, avalia-se também ações antrópicas que, muitas vezes, causam degradação (Souza et al., 2021).

No entanto, poucos estudos abordam a sazonalidade anual da degradação das pastagens, principalmente no âmbito quantitativo no período seco, quando estas pastagens atingem pior qualidade e maior grau de degradação (Pereira et al., 2018). Nesse sentido, a falta de umidade no solo interfere diretamente na absorção de água e nutrientes pelas plantas, resultando no declínio significativo da produção de forragem, ocasionando uma grande instabilidade na capacidade produtiva das propriedades rurais. É de conhecimento dos produtores, que a alta variabilidade e baixa quantidade e qualidade das pastagens acarretam na necessidade de complementação na alimentação dos animais nos períodos críticos, elevando assim os custos de produção (Pereira et al. 2018). Portanto, é necessário conhecer as características quantitativas e qualitativas da forragem para ajustar uma dieta com ração equilibrada e menor custo (Fernandes et al. 2022).

Cabe ressaltar, que em uma abordagem proativa para alocar forragem aos animais deve-se considerar o manejo de pastagem como um conjunto de decisões dinâmicas que levam em conta a variação temporal e espacial do crescimento das pastagens, associada principalmente ao clima, nutrientes do solo e fatores de manejo do pasto (Insua et al. 2019). Durante o período de chuva e transição entre chuvas e secas, as forrageiras podem apresentar um pico em suas condições ecofisiológicas de crescimento, expressando assim, o máximo, dos seus valores nutricionais (Feitosa et al. 2020).

As forrageiras de clima tropical mudam sua composição e valor nutricional de acordo com a época do ano, com o avanço do estado fisiológico e a maturidade da planta (Fernandes et al. 2022). No período chuvoso, as forrageiras atingem sua plenitude de produção, o clima influencia diretamente nos valores nutritivos das plantas forrageiras cultivadas (Lee et al. 2018). Deste modo, o monitoramento frequente do pasto é uma forma de programar as rotações de pastejo e alocar a forragem de acordo com a demanda do rebanho (Insua et al. 2019). Esse tipo de manejo tem como objetivo manter ou melhorar a produção de forragem e a eficiência de pastejo por meio da melhoria das propriedades químicas, físicas e hidrológicas do solo (Chiavegato et al. 2018).

Com a utilização de incrementos tecnológicos na produção agropecuária corrobora-se a relevância em mensurar as variações espaciais e temporais em propriedades que almejam o aumento de produtividade das culturas, com o intuito de otimizar o aproveitamento dos recursos e diminuir custos, criando as zonas específicas de manejo, dessa forma, faz-se o uso da geoestatística (Lima et al. 2017). Assim, através da análise estatística aborda-se a variação das características do solo dentro das unidades amostrais, (Souza et al. 2021).

Em áreas com manejo controlado e taxa de lotação adequada, a biomassa senescente torna-se resíduo vegetal que será incorporada no solo pela ação de movimentação e do pisoteio dos animais, contribuindo para aumento do teor de matéria orgânica no solo que contribui para a ciclagem de nutrientes da fertilidade do solo e retenção de água (Chiavegato et al., 2018).

O manejo da matéria orgânica no solo é de extrema relevância nas práticas de manejos conservacionistas, somados com a integração de atividades de produção e monitoramento para potencializar sistemas agropecuários a exemplo: lavoura-pecuária e plantio direto, que cria diferentes condições ambientais daquelas encontradas no preparo convencional resultante dos efeitos dos resíduos vegetais superficiais e da reduzida movimentação do solo (Souza et al., 2021).

Os campos agrícolas têm sido considerados áreas homogêneas por muito tempo, permitindo que amostras compostas ou média de resultados representem um todo na hora de recomendar insumos agrícolas em uma escala fixa sem considerar sua variabilidade, no entanto a produção sustentável para garantir a segurança alimentar do presente e futuro da humanidade busca por novas técnicas sustentáveis para otimizar os sistemas de produção (Beneduzi et al., 2022).

Segundo Amado et al. (2007), os mapas de produtividade são considerados como a alternativa mais completa para discriminar a variabilidade espacial dos mais diversos sistemas produtivos. Essa informação é corroborada por Silva et al. (2013), com estudo de variabilidade espacial das características ambientais em galpões de frango de corte em que constata através de mapas de variabilidade que zonas de conforto térmico proporciona ganho aproximado de 100g de peso vivo por ave no mesmo galão de acordo a sua geolocalização durante a produção.

Para Acosta et al. (2018), os mapas de variabilidade permitem ao produtor investigar motivos das baixas produtividades sugerindo eventualmente estudo da fertilidade do solo, no intuito de encontrar e corrigir o problema que levou às baixas produtividades em determinadas zonas de cultivo onde encontrou-se variabilidade superior a 2 mil kg, de produtividade entre maior e menor produtividade de grãos encontrada no mesmo talhão de cultivo.

2.6 Uso de drone no mapeamento e diagnóstico de áreas de produção

Os avanços tecnológicos feitos nas últimas décadas para adquirir, armazenar e mapear áreas, é relevante, nas pesquisas e desenvolvimentos recentes em sensoriamento remoto com os drones, que surge a partir de novas tecnologias flexíveis e de alta resolução para a coleta de dados topográficos e fotogramétrico com maior precisão (Zhang et al., 2018).

O drone é uma ferramenta útil para mapear e otimizar sistemas de produção mais precisos, pois fornecem informações reais sobre as áreas de cultivo e reduzem o tempo e o esforço necessários para o monitoramento, as imagens multiespectrais apresentam traços espectrais característicos da cultura, que inclui o vigor da planta estágio vegetativo e competição (Rivera et al 2021).

O uso atual de aeronaves pilotadas remotamente utilizados na agricultura de precisão exemplifica situações bem-sucedidas de uso da tecnologia aplicada para monitoramento, mapeamento, extração de índice de vegetação, volume, altura de planta, entre outros, vem sendo estudado em diversas culturas agrícolas, dando suporte para tomada de decisão sobre aplicação de agroquímicos, falha de plantio, acompanhamento de crescimento, das culturas (Santos et al.,2019).

O avanço recente em sensoriamento remoto com veículos aéreos não tripulados de alta resolução para a coleta de dados topográficos e fotogramétricos apresentam vantagens como alta resolução devido às suas baixas altitudes de voo, baixo custo na coleta de dados, produção de ortofotos e Modelos Digital de Elevação (DEM) (Zhang et al., 2018).

O rápido desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento permite um maior uso de dados de alta resolução, espaciais, temporais e espectrais para extrair informações de vegetação e estimar a biomassa das culturas, as informações sobre a altura das culturas são de vital importância para a estimativa de biomassa principalmente em pastagens (Chao et al., 2019).

A precisão das estimativas é avaliada por comparação com medições destrutivas de matéria seca, os resultados obtidos suportam a capacidade dos modelos de prever diferenças espaciais entre os vários locais da pastagem, os maiores erros de estimativa são encontrados em área de montanha, principalmente devido a imprecisões nos dados de entrada (Maselli et al., 2013). No entanto, a aplicação correspondente está frequentemente sujeita a muitos fatores, por exemplo, variedade de culturas, período de crescimento e limites de práticas de manejo de terras agrícolas (Chao et al., 2019).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este compilado de informações da literatura científica e técnica permite a compreensão e otimização da produção de pastagens, fundamentada na geoestatística, sensoriamento remoto por meio de drones, e estudos de variabilidade. A geoestatística, através da análise de semivariogramas, emerge, portanto, como um instrumento preciso para revelar padrões

espaciais fundamentais nos atributos do solo, fornecendo uma base quantitativa para decisões de manejo.

Adicionalmente, a utilização de drones na coleta de dados proporciona imagens de alta resolução e informações espectrais, possibilitando análises minuciosas do vigor das plantas e condições vegetativas. Essa tecnologia inovadora desempenha importante papel na detecção antecipada de fenômenos como a ocorrência e distribuição de plantas daninhas contribuindo para estratégias de controle mais eficazes e adaptáveis.

Os estudos de variabilidade, abrangendo atributos químicos, ecológicos e econômicos, oferecem uma panorâmica detalhada do ecossistema de pastagens. Esse entendimento fundamenta a tomada de decisões, respaldando práticas agropecuárias sustentáveis. Finalmente, diante dos desafios prementes na produção de alimentos em escala global, a implantação dessas tecnologias em áreas de pastagens cultivadas, figura como uma resposta à demanda por uma produção mais resiliente e sustentável no contexto da agricultura e pecuária moderna.

4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ACOSTA, J. J. B.; CABRERA, M. G.; IBRAS, R. F.; GONZÁLEZ, J. D.; CHAMORRO, S. M.; ESCOBAR, J. Variabilidade espacial da produtividade, perdas na colheita e lucratividade da cultura de soja. **Revista agrogeoambiental**, Pouso alegre, v. 10, n. 1, mar. 2018.

ALMEIDA, M. C. S.; MAY, P. H. (orgs). Gestão e governança local para a Amazônia sustentável: notas técnicas. 3. Rio de Janeiro: **IBAM**, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n120181050>

AMADO, T. J.C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, E L. A. DE S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v42, n.8, p.1101-1110, ago.2007.

ANDRADE, A. R. S de.; NETO, A. H. G.; CRUZ, A. F. da S.; ANDRADE, E. K. P. de.; SANTOS, V. F. dos.; SILVA. T. N. P. da. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no Agreste pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. V. 03, N. 01, 126-145. 31 de janeiro 2018. doi: 10.24221/jeap.3.1.2018.1668.126- ISSN: 2525-815X 145.

AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 32-41, jan./mar. 2014.

ARAÚJO, D. C. dos S.; MOTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. de A.; SILVA JUNIOR, V. de P. e.; DOS SANTOS, S. M. Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. v.22, n.1, p.38-44, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p38-44>.

ATAÍDES, D. H. dos S.; ARAÚJO, E. J. G.; MONTE, M. A. CURTO, R. de A. MENDONÇA, B. A. F.; MORAIS, V. A. Spatial dependence of dendrometric variables in different ages and sample intensities on a eucalyptus stand. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 32, n.4, nov. 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509837867>.

BARBOSA, D. P.; BOTTEGA, E. L.; VALENTE, D. S. M.; SANTOS, N. T.; GUIMARÃES, W. D.; FERREIRA, M. P. Influence geometric anisotropy in management zones delineation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 4, p. 543-551, out-dez, 2019. DOI: 10.5935/1806-6690.20190064.

BATISTA, C. H.; SILVEIRA JUNIOR, O.; LIMA, I. C. S.; CARDOSO, L. A. F.; CRUZ, R. S. da.; SANTOS, A. C. Spatial variability of the horizontal structure and production of biomass in Massai grass in an agropastoral system. **Revista Verde**. v. 16, i. 3, july.-sept, p.238-244, 2021. doi: 10.18378/rvads.v16i3.8684.

BENEDUZZI, H. M.; SOUZA, E. D. de.; MOREIRA, W. K. O.; SOBJAK, R.; BAZZI, C. L.; RODRIGUES, M. Fertilizer Recommendation Methods For Precision Agriculture – A Systematic Literature Study. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.42, n.1, 2022. Doi:org/10.1590/1809-4430.

BRITO, B. N. de.; BRITO, J. L. S. Mapeamento de qualidade em pastagens do Cerrado por meio de imagens Sentinel. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 24, e. 44, 2020. DOI:10.5902/2236499443352.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de.; PINTO, F. de A. de C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan-mar, 2013.

CABRAL, C. E. A.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; MOTTA, A. M.; MOTA, L. G. Impactos técnico-econômicos da adubação de pastos. **Nativa, Sinop**, v. 9, n. 2, p. 173-181, mar./abr. 2021. doi: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.12047>.

CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 258267, 2011.

CASADEI, E.; BACHA, A. L.; RODRIGUES, J. S.; SANTOS, R. T. S.; ALVES, P. L. C. A.; ARTHUR, B. C. F. Redroot pigweed interference with lettuce crop. **Planta Daninha**. 2020;38:e020222945. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100058>

CHAO, Z.; LIU, N.; ZANG, P.; YING, T.; SONG, K. Estimation methods developing with remote sensing information for energy crop biomass: A comparative review. **Biomass and Bioenergy**. 122. 2019. doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.02.002

CHIAVEGATO, M. B.; CONGIO, G. F. de S.; SILVA, S. C. da.; Estratégias de manejo do pastejo para redução de impactos ambientais. **IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES NO CERRADO**. Uberlândia-MG, 12 e 13 de abril de 2018.

COSTA, N. V.; COSTA, A. C. P. R.; COELHO, E. M. P.; FERREIRA, S. D.; BARBOSA, J. de A. Métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.17, n.1, p.25-44, jan./mar. 2018 DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v17i1.522>

DA SILVA, S. C.; CHIAVEGATO, M. B; PENA, K. S.; SILVEIRA, M. C. T.; BARBERO, L. M.; SOUZA JUNIOR, S. J.; RODRIGUES, C. S.; LIMA, V. A.; PEREIRA, L. E. T. Tillering dynamics of Mulato grass subjected to strategies of rotational grazing management. **The Journal of Agricultural Science**, 155(7), 2017. doi:10.1017/S0021859617000223

DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira Challenges of animal production in pastures in the Brazilian agricultural Frontier. **Revista Brasileira de Zootecnia**. January 2011.

EMBRAPA, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.]. – 5. ed., rev. E ampl. – Brasília, DF: **EMBRAPA**, 2018.

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; VITOR, C. M T.; MORAIS, R. V.; MISTURA, C.; REIS, G. C.; MARTUSCELLO, J. A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p.397-403, 2005.

FALEIRO, E. A.; LAMEGO, F. P.; SCHAEGLER, C. E.; VALLE, T. A. D.; AZEVEDO, E. B. de. Individual and integrated methods on tough lovegrass control. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.52:9, 2022. doi:10.1590/0103-8478cr20210490.

FEITOSA, O. de S.; LEITE, R. da C.; ALEXANDRINO, E.; PIRES, S. T. de J.; OLIVEIRA, L. B. T.; PAULA NETO, J. J.; SANTOS, C. A. Forage performance and cattle production as a function of the seasonality of a Brazilian tropical region. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 44, e53779, 2022. doi: 10.4025/actascianimsci.v44i1.53779.

FERNANDES, G. A.; ASSIS, J. R.; SILVA, E. B.; MORALES, R. L.; COSTA, F. M. OLINI, L. M. G.; PADILHA, V. H. T. da C.; NUNES, D.; DIAS, M. R. Influence of the time of the year on the nutritional value of forage consumed by beef cattle raised on grassland. **Scientific Electronic Archives**. Vol.15. May 2022. <http://dx.doi.org/10.36560/15520221537>.

FLORES, R. S.; EUCLIDES, V. P. B.; ABRÃO, M. P. C.; GALBEIRO, S.; DIFANTE, G. S.; BARBOSA, R. A. Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 8, p. 1355-1365, 2008.

HAGHNAMA, K.; MENNAN, H. Herbicide resistant barnyardgrass in Iran and Turkey. **Planta Daninha**. July 2, 2020. doi: 10.1590/S0100-83582020380100060.

INSUA, J. R.; UTSUMI, S. A.; BASSO, B. Estimation of spatial and temporal variability of pasture growth and digestibility in grazing rotations coupling unmanned aerial vehicle (UAV) with crop simulation models. **PLOS ONE**. March 13, 2019. doi: 0.1371/journal.pone.0212773

JACINTHO, J. L.; FERRAZ, G. A. S.; BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, P. F. P.; SANTOS, S. A.

Spatial Variability Of Chlorophyll Content In A Tifton 85 Bermudagrass Pasture In A Tropical Region. *Revista Engenharia na Agricultura*. Viçosa, MG, v.29, 2021. doi: 10.13083/reveng.v29i1.12556

JUSTO, J. F. A.; BARRETO, A.C.; SILVA, J. F.; FERREIRA NETO, M.; SÁ, F. V. S.; OLIVEIRA, R. P. Identification and diagnosis of salt-affected soils in the Baixo-Açu irrigated perimeter, RN, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.25, n.7, 2021. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p480-484

LEE, M. A. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. *Journal of Plant Research*. March 2018. <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1024-y>

LIMA, E. de S. SOUZA, Z. M de S. MONTANARI, OLIVEIRA, S. R. de S.; LOVERA, L. H.; FARHATE, C. V. V. Classification of the initial development of eucalyptus using data mining techniques. **CERNE**. v. 23 n. 2. 2017. doi:10.1590/01047760201723022296.

MCHUGH, M, L. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia médica: Biochemia medica* 2012;22(3):276-82.

MARCHI, S. R.; MARQUES, R. F.; ARAÚJO, P. P. dos S.; SILVA, I. T. D.; MARTINS, D. Weed interference in Marandu palisade grass pastures under renewal or maintenance conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.26, n.3, 2022. doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v26n3p166-172

MARQUES, S. de F.; PITOMBO, C. S. Applying multivariate geostatistics for transit ridership modeling at the bus stop level. **Bulletin of Geodetic Sciences**. 2021. Doi: 10.1590/1982-21702020-0069.

MASELLI, F.; ARGENTI, G. CHIESI, M.; ANGELI, L.; PAPAIE, D. Simulation of grassland productivity by the combination of ground and satellite data. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 165. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.11.006>

MATIAS, S. S. R.; MATOS, A. P.; LANDIM, S. F. F.; ALVES, M. A. B.; SILVA, R. L. Recomendação de calagem com base na variabilidade espacial de atributos químicos do solo no Cerrado brasileiro. **SCAP**. 42. 2019. doi.org/10.19084/rca.17735

MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; ANDRADE, F. R.; BAPTISTEL, A. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agroambiental Online**, Boa Vista-RR, v. 9, n. 1, p. 17-26, 2015.

MONQUEIRO, P.A.; BINHA, D. P.; SILVA, A. C.; SILVA, P. V.; AMARAL, L. R. Eficiência de Herbicidas Pré-Emergencia após Períodos de Seca. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 26, n1, p. 185-193, 2008.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30: 839-847, out. 2006.

NETO, J. R. C.; LUFT, L.; CONFORTIN, T. C.; TODERO, I.; MAZUTTI, M. A. ZABOT, G. L.; TRES, M. V. Resistência De Plantas Daninhas A Herbicidas E Controle Alternativo. **Revista Científica Rural**. Bagé-RS, volume21, nº 3, ano 2019. <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i3.3124>

NOGUEIRA, D. C. S.; TAVANTI, R. F. R.; MONTANARI, R.; NETO, M. C.; SCALA, N. L. Jr.; PANOSSO, A. R. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em sistema silvipastoril e pastagem degradada na região do cerrado. V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo. Viçosa/MG, 2020.

ODDI, L.; CREMONESE, E.; ASCARI, L.; FILIPPA, G.; GALVAGNO, M.; SERAFINO, D. CELLA, U. M. Using UAV Imagery to Detect and Map Woody Species Encroachment in a Subalpine Grassland: Advantages and Limits. **Remote Sensing**. 13. 2021. doi.org/10.3390/rs13071239

OLIVEIRA, G. G.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; BARBOSA, S. M.; SILVA, B. M. Indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens nas regiões leste e sul de Minas Gerais. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 58, n. 4, p. 388-395, 2015.

PARIS, J. O.; GONTIJO, I. PARTELLI, F. L.; FACCO, A. G. Variability and spatial correlation of soil micronutrients and organic matter with macadamia nut production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.24, n.1. 2020. doi:10.1590/18071929/agriambi.v24n1p3136

PEREIRA, L. F.; FERREIRA, C. F. C.; GUIMARÃES, R. M. F. Manejo, qualidade e dinâmica da degradação de pastagens na Mata Atlântica de Minas Gerais – Brasil. **Nativa**, Sinop, v.6 n.4, jul/ago. 2018. doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5542

RAMOS, R. F.; KASPARY, T. E.; BALARDIN, R. R.; NORA, D. D.; ANTONIOLI, Z. I.; BELLÉ, C. Plantas daninhas como hospedeiras dos nematoides-das-galhas. **Revista Agronomia Brasileira**. v. 3, março, 2019. doi: 10.29372/rab201906

RIVERA, L. B.; BONILHA, B. M.; VIDAL, F. O. Processing multispectral imaging captured by drones to evaluate the normalized difference vegetation index of Castillo coffee plantations. **Cienc. Tecnol. Agropecuária**. vol. 22, 2021. doi.org/10.21930/rcta.col22_num1_art:1578.

RODRIGUES, M. S. R.; CASTRIGNANO, C.; BELMONTE, A.; SILVA, K. A.; LESSA, B. F. T. Geostatistics and its potential in Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020. doi: 10.5935/1806-6690.20200095

SAHU, B.; KUMAR, A.; SEEMA. Deterministic and geostatistical models for predicting soil organic carbon in a 60 ha farm on Inceptisol in Varanasi, India. *Geoderma Regional* 26. 11 June 2021.

SANTOS, L. M. dos.; FERRAZ, G. A.; BARBOSA, B. D. S.; ANDRADE, A. D. Use of remotely piloted aircraft in precision agriculture. *DYNA*, 86(210), pp. 284-291, July - September, 2019. doi.org/10.15446/dyna.v86n210.74701.

SANTOS, C. M. dos. Variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob pastagem em sistema de produção de bubalinos: impactos na produtividade do capim mombaça / Crissogno Mesquita dos Santos - Parauapebas, 2019.

SILVA, E G da.; SANTOS, A. C. dos.; FERREIRA, C. L. S.; SOUZA, J, P, L.; ROCHA, J. M. L. da.; SILVEIRA JÚNIOR, O. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frango de corte em galpão de ventilação negativa. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, salvador, v.14, n,1 p.132-141, jan./mar., 2013, ISSN 1519 9940

SILVA, M. B.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; CALDAS, M. M. Nutritional balance and its relationship to yield in a coffee field: Inferences from geospatial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.24, n.12, p.834-839, 2020. doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p834-839

SOUZA, P. T.; SILVA, T. C.; TROLEIS, M. J. B.; SENA, K. N.; SILVA, A. C. R.; SANTOS, T. E. B. MONTANARI, R. Variabilidade espacial da biomassa e atividade microbiana do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 31, n. 4, out./dez. 2021.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54, 2000.

WEIRICH NETO, P. H.; BUZOLINI JUNIOR, O.; ROCHA, J. J. V. da.; BORGHI, E.; SVERZUT. Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. **Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 12, n. 1, p. 41-49, 2006.

ZHANG, H.; YANG, J. BAARTMAN, J. E. M.; LI, S.; JIN, B.; HAN, W. YANG, X.; GAI, L. RISTSEMA, C. J.; GEISSEN, V. Quality of terrestrial data derived from UAV photogrammetry: A case study of Hetao irrigation district in northern China. **Int J Agric & Biol Eng**. Vol. 11 No.3, May, 2018. doi: 10.25165/j.ijabe.20181103.3012

CAPÍTULO II - DIAGNÓSTICO E ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM ZONAS DE MANEJO ESPECÍFICO

RESUMO

A realização do diagnóstico das áreas de produção é de extrema relevância no planejamento e priorização da localização potencial para execução de projetos subsequentes, identificando zonas específicas para o manejo e organização das ações planejadas. O objetivo deste trabalho é implementar uma metodologia de diagnóstico de pastagem e zonas de manejo utilizando *Machine Learning* para obter resultados rápidos e precisos, a fim de auxiliar técnicos e produtores na tomada de decisões. O estudo foi desenvolvido em Campos Belos - GO, localização 13° 4'11.83"S de latitude e 46°43'58.58"O de longitude e altitude média de 630 metros, em uma área de 5,2 hectares com o capim Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça). O levantamento foi realizado utilizando uma grade amostral de 27 x 27 metros para coletar massa de forragem e amostra de solo de 0 a 20 cm. Simultaneamente, foi realizado um voo de drone na área. Os dados foram processados em algoritmos para análises geoestatísticas e de classificação de imagem, utilizando o software R (R Core Team, 2023) e QGIS 3.28 para extração de mapas e dados estatísticos. Por meio dessas ferramentas, foi possível elaborar mapas de predição e classificação de uso e ocupação do solo, além de quantificar essas áreas, foi possível verificar que 0,08% da área possui produção $\geq 5.000\text{kg/MS/ha}$, 76% possui produção $\leq 1.300\text{kg/MS/ha}$ e 22,5% com produção entre >1.300 e $< 5.000\text{kg/MS/ha}$, esses dados é próximo ao encontrado a partir da fusão de imagens em que 76,11% da área encontrasse com baixa produção de forragem, isso resulta no nível 3 numa escala gráfica de degradação da pastagem. Diante do exposto, fica evidente a relevância do diagnóstico de área na tomada de decisão de técnicos e produtores no planejamento posterior e execução de atividades futuras.

Palavras-chave: Zootecnia de precisão, correção de solo, pecuária 4.0, geoestatística, produção de bovinos.

ABSTRACT

Carrying out a diagnosis of production areas is extremely important in planning and prioritizing the potential location for executing subsequent projects, identifying specific zones for the management and organization of planned actions. The objective of this work is to implement a methodology for diagnosing pastures and management zones using Machine Learning to obtain quick and accurate results, in order to assist technicians and producers in decision making. The study was carried out in Campos Belos - GO, location 13° 4'11.83"S latitude and 46°43'58.58"W longitude and average altitude of 630 meters, in an area of 5.2 hectares with Mombaça grass (*Megathyrus maximus* cv. Mombaça). The survey was carried out using a 27 x 27 meter sampling grid to collect forage mass and soil samples from 0 to 20 cm. At the same time, a drone flight was carried out in the area. The data was processed in algorithms for geostatistical analysis and image classification, using the software R (R Core Team, 2023) and QGIS 3.28 to extract maps and statistical data. Using these tools, it was possible to prepare prediction and classification maps of land use and occupation, in addition to quantifying these areas, it was possible to verify that 0.08% of the area has production $\geq 5,000\text{kg/MS/ha}$, 76% has production $\leq 1,300\text{kg/MS/ha}$ and 22.5% with production between $>1,300$ and $< 5,000\text{kg/MS/ha}$, these data are close to what was found from the fusion of images in which 76.11% of the area was with low forage production, this results in level 3 on a graphic scale of pasture degradation. In view of the above, the relevance of area diagnosis in the decision-making of technicians and producers in the subsequent planning and execution of future activities is evident.

KEY WORDS: Precision animal husbandry, soil correction, livestock 4.0, geostatistics, cattle production.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de *Machine Learning* (aprendizado de máquinas) tem proporcionado avanços significativos no mapeamento e monitoramento de áreas exploradas, além de auxiliar na identificação de zonas de manejos. Essas informações são, de extrema importância para a elaboração de eventuais diagnósticos de áreas alvo ou objeto de estudo.

Segundo Sahu et al., (2021), o mapeamento fornece uma série de benefícios, que vão desde a priorização dos locais potenciais para execução de projetos futuros até a identificação de zonas específicas de manejo. Através do mapeamento com *Machine Learning*, é possível abranger grande área e coletar maior número de amostras e processar esses dados em curto período de tempo. As informações resultantes podem ser utilizadas para criar os mapas preditivos de variabilidade, representando uma inovação no campo dos algoritmos preditivos. Esses modelos podem incluir abordagens lineares, híbridos, com regressão vetorial de suporte e multivariados com regressão linear múltipla, entre outros. Com isso, é possível prever e observar a heterogeneidade e variabilidade espacial de áreas com alto nível de segurança e confiabilidade, contribuindo para elaboração de diagnósticos de área mais precisos.

O mapeamento, monitoramento e diagnóstico também podem ser realizados através de imagens, tornando-se uma ferramenta importante no planejamento e desenvolvimento socioeconômico de áreas de exploração. Essa abordagem é fundamental para elaboração de diagnósticos de áreas exploradas com atividades produtivas ou de impacto ambiental. E o uso de técnicas de *machine learning* para a extração automática de informações territoriais a partir de classificação supervisionada de imagens aéreas obtidas por drone potencializa o mapeamento, monitoramento e diagnóstico (Prates et al., 2022).

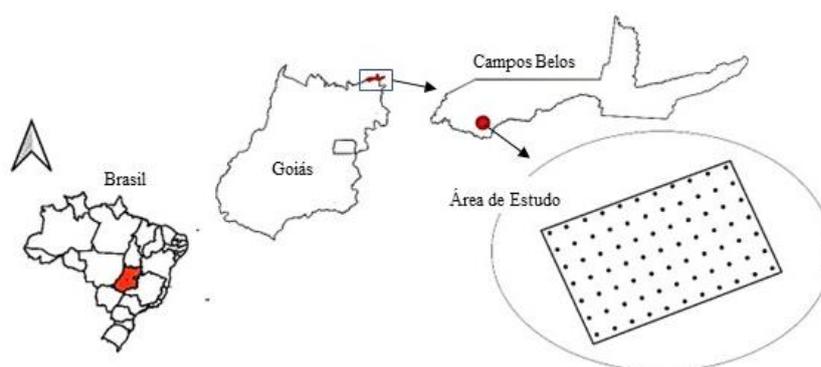
Com a evolução na capacidade de processamento dos computadores e a implementação de inteligência artificial, tornou-se possível utilizar algoritmos como ferramentas altamente eficazes no mapeamento, monitoramento e classificação de diferentes classes de uso (Prates et al., 2022). Além da capacidade de quantificar essas áreas, esse levantamento fornece informações relevantes para diagnósticos precisos do uso e ocupação das áreas produtivas, bem como dos impactos ambientais causados por influências antrópicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em Campos Belos - GO, localização $13^{\circ} 4'11.83''S$ de latitude e $46^{\circ}43'58.58''O$ de longitude e altitude média de 630 metros. O clima predominante na região é classificado como Aw, correspondente ao tropical úmido e seco de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (2023), apresentando uma temperatura média anual de $25,2^{\circ}C$ e uma média anual de precipitação de 1.236 mm. O período de maior pluviosidade ocorre entre o final de outubro e maio, sendo dezembro o mês mais chuvoso com uma média de 225 mm. Por outro lado, a estação seca ocorre de maio a outubro, com setembro sendo o mês mais quente, registrando uma média de temperatura de $27,8^{\circ}C$.

A Figura 2 apresenta graficamente a localização geográfica da área de estudo, com destaque para o ponto específico e a região onde a pesquisa foi conduzida, fornecendo informações relevantes sobre o contexto geográfico.

Figura 2 - Ilustração da área experimental



Fonte: Elaborado pelo autor

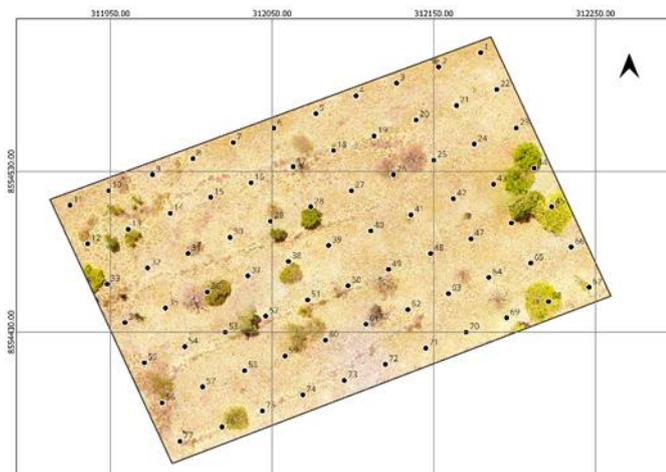
Na condução dos trabalhos, foi selecionada uma parcela homogênea de 5,20 hectares, cujo solo foi classificado como Neossolo Litólico Eutrófico, conforme a classificação da Embrapa (2018). A textura do solo é de média granulometria e a topografia é suavemente ondulada. Atualmente, a área é utilizada para atividades de bovinocultura, com sistema de pastejo contínuo, apresentando histórico de exploração extrativista e sem correção desde o início da exploração.

O capim Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) é a forrageira predominante na área, e as estratégias de manejo para controle de plantas daninhas incluem roçagem mecânica e aplicação de herbicidas. O planejamento e marcação dos pontos de coleta foram realizados através de uma grade amostral regular de 27 x 27 metros, utilizando o software "QGIS 3.28".

Os marcos numerados foram estrategicamente instalados no local de acordo com o planejamento estabelecido. Para esse processo, utilizou-se um receptor GNSS Geodésico RTK

T10, garantindo a precisão na marcação dos pontos de coleta. Além disso, uma inspeção aérea da área foi realizada através de um drone Phantom 4 Pro, proporcionando uma visão abrangente do local. Na figura 3 pode-se observar todos os pontos de coleta da área.

Figura 3 - Croqui da área com ilustração dos pontos de coleta



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a medição da altura da forragem, utilizou-se uma fita métrica, referenciando o nível do solo até a curvatura da última folha expandida da planta (Emereciano Neto et al., 2019) nos pontos de coleta, cada um com área de 1m². Posteriormente, procedeu-se ao corte da forragem na base da planta, ao nível do solo. O material foi devidamente embalado e encaminhado ao laboratório para a separação de plantas daninhas. Em seguida, o material coletado foi submetido a um período de secagem em estufa, com duração de 72 horas a uma temperatura de 55°C. A avaliação da biomassa vegetal seguiu uma metodologia adaptada do trabalho de Batista et al. (2021).

Após ser retirado da estufa, o material foi novamente pesado, permitindo a determinação da produção atual de matéria seca da forragem, considerando o resíduo forrageiro. Mantendo a mesma abordagem, as amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0 a 20 cm, e utilizando a mesma grade amostral. Essas amostras foram encaminhadas ao laboratório de solos, onde passaram por análises físico-químicas para avaliar os atributos do solo.

Por meio de técnicas de Machine learning utilizando o software R (R Core Team, 2023), os atributos foram analisados através de um compilado de pacotes, incluindo as seguintes bibliotecas e suas funções:

1. O pacote `gstat`, criado por Pebesma (2004), foi utilizado para realizar o teste de normalidade e gerar os mapas de isolinhas, estimar os modelos de semivariograma, e realizar interpolação por krigagem.

2. Com base nos modelos obtidos com o pacote `gstat`, outras análises foram conduzidas com o uso do pacote `sp`, também criado por Pebesma (2005), especializado em análise de dados espaciais.

3. O pacote `raster`, criado por Hijmans (2023), foi empregado para processar dados, criar imagem, explorar, manipular, importar e exportar no R.

4. O pacote `rstudioapi` criado por Ushey et al. (2022), foi utilizado como facilitador de acesso a outros pacotes, prevenindo possíveis problemas.

5. Para operações geométricas em coordenadas projetadas e elipsoidais, bem como para conversão e transformação do sistema de referência de coordenadas, foi utilizado o pacote `sf`, de Pebesma (2018).

6. Nas análises de estatística descritiva, foram empregados os recursos do pacote `fBasics`, de Wuertz et al. (2023), para obtenção de valores como máximo, mínimo, média, mediana, amplitude, desvio padrão, coeficiente de assimetria, curtose, coeficiente de variação e teste de normalidade Komongorov-Smirnov (K-S).

7. O pacote `filenamer`, de Shih (2018), foi utilizado para nomear arquivos e escolher a extensões do arquivo de saída.

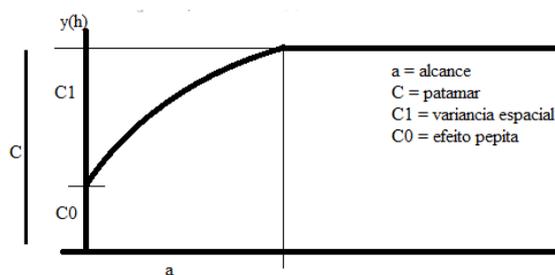
Por meio da utilização do software R Core Team (2023) e utilizando técnicas de *Machine Learning* com os pacotes descritos anteriormente, procedeu-se a análise geoestatística e possível correlação entre a produção de matéria seca de forragem e diversos parâmetros do solo. Estes incluíram pH, condutividade elétrica estimada (CEest), teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) fósforo (P), potássio (K), a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, matéria orgânica (MO), saturação de base (SB), V%, e a granulometria. Utilizado para identificar pontos críticos, onde possíveis desequilíbrios nos atributos do solo pudessem afetar a produção de forragem.

A análise geoestatística foi aplicada usando técnicas de *Machine Learning* para compreender os padrões de relação espacial entre as variáveis. Para isso, foram construídos semivariogramas para cada parâmetro estudado. No presente estudo, foram avaliados e comparados três modelos: esférico, exponencial e o gaussiano. Para selecionar o melhor modelo preditivo, foi empregado o método de menor Root Mean Squared Error (RMSE) esse método é muito usado em *Machine Learning* por representar uma maior precisão.

No contexto geoestatística, foram considerados os valores do coeficiente de variação (CV) como critério para classificar a variabilidade das variáveis, seguindo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980). A variabilidade foi categorizada em baixa ($CV < 12\%$), média ($12\% \leq CV \leq 62\%$) e alta ($CV > 62\%$). Além disso, a classificação do grau de dependência espacial (GDE) foi realizada com base na avaliação da razão entre a variância estrutural (C1) e o patamar (C1 + C0). Essa avaliação foi categorizada em três graus distintos de dependência espacial: forte ($GDE \geq 0,75$), moderada ($0,25 \leq GDE < 0,75$) e baixa ($GDE < 0,25$). Essa metodologia segue a classificação proposta por Robertson (1998) e é descrita na Equação: $GDE = C1/(C1+C0)$.

Na equação fornecida, GDE representa o grau de dependência espacial, onde C1 é a variância estrutural e C1 + C0 corresponde ao patamar. Os resultados dessas análises possibilitaram a categorização da dependência espacial em três níveis distintos. Essa abordagem oferece uma maneira sistemática e quantitativa de avaliar a estrutura de dependência espacial presente nos dados coletados. Através da análise da razão entre a variância estrutural e o patamar, é possível determinar o grau de correlação espacial entre os pontos amostrados, conforme demonstrado na figura 4.

Figura 4 - Semivariograma empírico



Fonte: Elaborado pelo autor

Após ajustar os modelos, foram gerados mapas de isolinhas para representar visualmente a distribuição espacial das seguintes variáveis:

- i) Altura da forragem em centímetros (cm);
- ii) Peso da matéria seca da forragem em quilogramas (kg);
- iii) Granulometria do solo, com categorias maior de 2mm e menor igual a 2mm, quantificadas em percentagem do peso da amostra;
- iv) pH (H₂O);
- v) pH (CaCl₂);

- vi) Condutividade elétrica do solo;
 - vii) Teores de cálcio, magnésio e hidrogênio + alumínio;
 - viii) Teores de fósforo, potássio, sódio, saturação por bases e CTC do solo e V%;
- Matéria Orgânica.

O compilado de pacotes gerou um código de programação da linguagem R que permitiu a elaboração de mapas geoestatísticos para identificar pontos críticos e possíveis desequilíbrios na produção de forragem. Para construção do diagnóstico da pastagem, além dos mapas de fertilidades do solo, foram utilizadas as imagens aéreas capturadas por drone. O plano de voo foi realizado a uma altura de 60 metros, visando obter uma representação gráfica precisa da cobertura vegetal, com pixel de 5x5 cm.

Através do processamento das imagens com software computacional especializado WebODM, foi possível exportar imagens raster contendo informações, como as coordenadas geográficas, altitudes e composição RGB de cada pixel. Essa saída possibilita outras abordagens utilizando softwares como QGIS 3.28 e R Core Team (2023). Combinando esses dois programas ou apenas utilizando o R Core Team (2023), é possível realizar novas análises usando técnicas de *Machine Learning*.

Para classificação de uso e ocupação do solo através de imagem raster, optou-se em utilizar o QGIS 3.28 para criação de shapfile de polígonos para treinamento posterior no R Core Team (2023). Utilizando técnicas de *Machini Learning*, foi possível classificar e quantificar áreas de uso e ocupação, além de definir zonas críticas na área explorada através da sobreposição de imagens.

O uso *machine learning* com pacotes raster criado por Hijmans (2023) possibilitou a importação da imagem gerada no WebODM, manipulação e processamento dos dados e exportação o raster no R. Além disso, o pacote rgdal de Bivand et al. (2023), foi utilizado na confecção dos mapas. E do pacote dplyr de Wickham et al. (2003) foi empregado para manipulação de dados e agrupamentos em shapefiles e rasters. O caret de Kuhn (2008) foi usado para treinamento das amostras de dados agrupados.

Posteriormente, um dos pacotes mais importantes para classificação de uso e ocupação foi o randmForest de Andy; Matthew (2002), um algoritmo poderoso utilizado para classificação, regressão e modelagem de conjuntos de dados, bem como para aplicar modelos previamente treinados pelo caret. Outro pacote auxiliar, como o caTools de Tuszyński (2021), foi empregado para cálculos, arredondamentos, leitura e gravação de arquivos gerados. O fields de Douglas et al. (2021) foi utilizado para ajustes de curva em dados espaciais. O pacote de sf de Pebesma (2018) foi usado para operações geométricas em coordenadas projetadas e

operações geométricas em coordenadas elipsoidais, bem como para conversão e transformação do sistema de referência de coordenadas datum “+proj=utm +zone=23 +south +ellps=GRS80 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs”. O pacote filenamer de Shih (2018), foi empregado para a descrição de nomes de arquivos e extensões de arquivos adequados.

A utilização desses pacotes formou o código de programação da linguagem R, capaz de classificar a imagem obtida com o drone, quantificar em hectares e separar seus atributos além de possibilitar a fusão de imagens no QGIS 3.28, e assim identificar visualmente zonas de baixa produtividades e quantificar em hectares ou porcentagem a área degradada.

3 RESULTADOS E DISCUSÃO

Utilizando *Machine Learning* foi possível obter os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2, que incluem dados de estatística clássica e geoestatística. Essas tabelas apresentam os semivariogramas estimados, já ajustados ao melhor modelo experimental de cada variável estudada, juntamente com o valor do alcance e o grau de dependência espacial (GDE). Além disso, foram realizados os testes de normalidade em Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Tabela 1 - Estatística Clássica e Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade.

Variável	Min	Max	M	Md	Apl	CV (%)	S	C	K-S
Altura (cm)	0,00	165,00	52,86	45,00	165,00	1054,36	32,47	0,70	0,01
MS (kg)	0,00	7715,10	786,30	963,00	7.715,10	147.332,00	102,33	22,28	0,01
% solo 2mm	40,88	96,75	76,55	80,10	55,87	170,25	13,04	-0,39	0,10
% solo > 2mm	3,25	59,12	23,44	19,90	55,87	170,25	13,04	-0,39	0,10
pH (H2O)	5,71	7,86	6,48	6,48	2,15	0,21	0,46	0,00	0,47
pH (CaCl)	5,03	7,14	5,89	5,60	2,11	0,15	0,40	3,47	0,10
CE (est)	0,14	0,32	0,16	0,15	0,18	0,00	0,04	2,81	ns
MO	1,72	11,33	4,45	4,13	9,61	2,44	1,56	4,16	0,14
P	0,45	12,21	2,59	1,79	11,76	4,43	2,11	3,92	0,34
K	47,80	101,10	92,81	98,00	53,30	154,02	12,41	4,68	ns
Na	0,00	20,00	3,27	2,00	20,00	23,01	4,78	1,97	ns
Ca	6,28	13,09	9,27	9,00	6,81	2,90	1,70	-0,69	0,68
Mg	1,05	5,05	2,64	2,58	4,00	0,50	0,77	0,24	0,80
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al	1,06	5,46	3,38	3,42	4,40	0,80	0,90	0,03	0,94
CTC	12,58	38,33	18,81	17,04	25,75	32,57	5,71	1,55	ns
V%	70,19	94,91	81,09	80,59	24,72	31,64	5,63	-0,53	0,12
MAP	0,00	540,00	440,00	520,00	540,00	9.307,83	96,47	3,90	0,03

CE_{est} = Condutividade elétrica estimada, Mín = valor mínimo, Max = Valor máximo, M = Média, Md = Mediana, Apl = Amplitude, S = desvio padrão, CV = coeficiente de variação, C = curtose, K-S = Kolmogorov-Smirnov, NS = não significativo a 5% de probabilidade

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as características das variáveis estudadas.

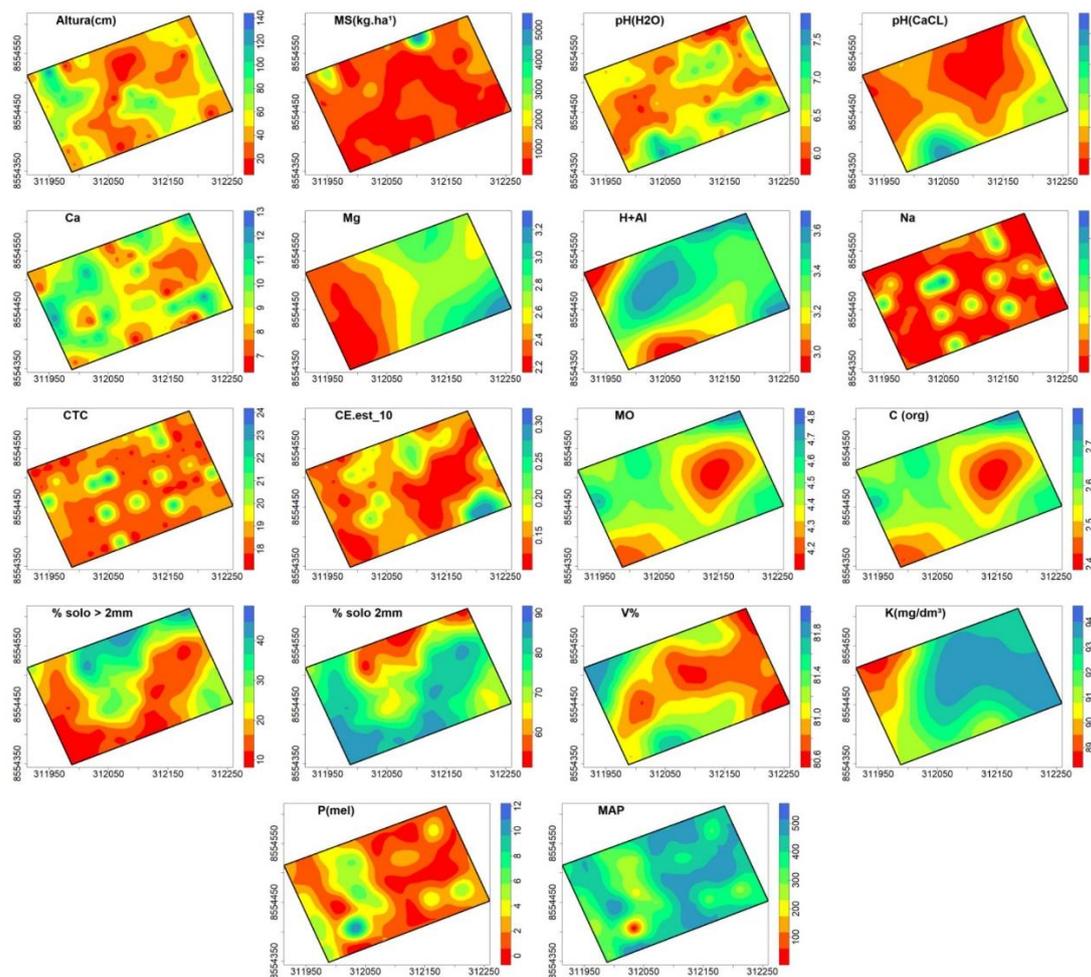
Atributos	Modelo	Efeito pepita C ₀ Nugget	Patamar C ₁ partial sill	Alcance (m) Range	GDE	Classificação
Altura (cm)	Exponencial	167,42	901,25	19,00	0,84	Forte
Matéria Seca (kg)	Gaussiano	309602,30	681.795,90	19,23	0,69	Moderado
% solo 2mm	Esférico	33,63	165,97	136,60	0,83	Forte
% solo >2mm	Esférico	33,63	165,97	136,60	0,83	Forte
pH (H ₂ O)	Exponencial	0,00	0,21	20,30	1,00	Forte
pH (CaCl ₂)	Exponencial	0,15	0,79	1.422,50	0,84	Forte
CE (est)	Esférico	0,00	0,00	63,4	1,00	Forte
MO	Exponencial	2,47	4,58	1.495,40	0,65	Moderado
P	Gaussiano	0,00	4,34	23,50	1,00	Forte
K	Esférico	196,59	69,42	553,9	0,26	Moderado
Na	Esférico	20,26	5,26	31,40	0,21	Baixo
Ca	Exponencial	0,00	2,88	19,00	1,00	Forte
Mg	Exponencial	0,52	2,88	2.103,00	0,85	Forte
H+Al	Exponencial	0,73	4,92	2.713,00	0,87	Forte
CTC	Esférico	25,68	9,92	26,09	0,28	Moderado
V%	Exponencial	35,46	36,84	1.132,12	0,51	Moderado
MAP	Esférico	0,00	9.021,48	52,67	1,00	Forte

Grau de dependência espacial (GDE) = $[C_1/(C_1 + C_0)]$

A partir do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade conforme a Tabela 1, observa-se que os atributos “CE est, K, Na, CTC”, que não apresentaram valor significativo, enquanto todos os outros atributos analisados apresentaram valor significativo. Isso sugere uma distribuição não normal na maioria dos atributos. Esse padrão pode ser atribuído, ao manejo de exploração adotado ao longo das décadas, que tende a ser extrativista e com baixa tecnologia. Essas práticas, contribuem para o desequilíbrio na produção e interferem diretamente na produtividade das forrageiras, mesmo em regiões com solo naturalmente férteis.

Na Tabela 2, são apresentados os modelos que melhor se adaptaram a cada atributo, sendo o modelo exponencial o que melhor se ajustou. O GDE foi classificado como forte na maioria dos atributos, seguido de cinco moderados, sendo o sódio (Na) o único atributo com classificação baixa. O Alcance variou entre 19 a 2.713 metros, com a grade amostral de 27x27 mostrando-se adequada para a representação gráfica da maioria dos atributos. No entanto, é importante ressaltar que mesmo dentro desses intervalos, podem existir variações, como evidenciado na Figura 5, que detalha cada atributo individualmente.

Figura 5 – Mapas de isolinhas



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas informações obtidas no mapeamento, é possível elaborar um diagnóstico da área de produção de pastagem a qual evidencia que a falta de manejo adequado contribuiu para a degradação da pastagem, refletindo nos baixos índices de matéria seca encontrados. Apesar disso, a fertilidade do solo é considerada adequada a cultura existente, com exceção do atributo fósforo, que apresenta em grande parte da área, níveis abaixo de 2ppm o que requer correção para elevar os níveis e adequá-los para produção nessa zona de manejo, utilizando adubo fosfato monoamônico, que em sua composição contém 10% a 12% de Nitrogênio (N) amoniacal e 50% a 54% de P₂O₅ (fósforo), o qual está ilustrado na Figura 5, MAP.

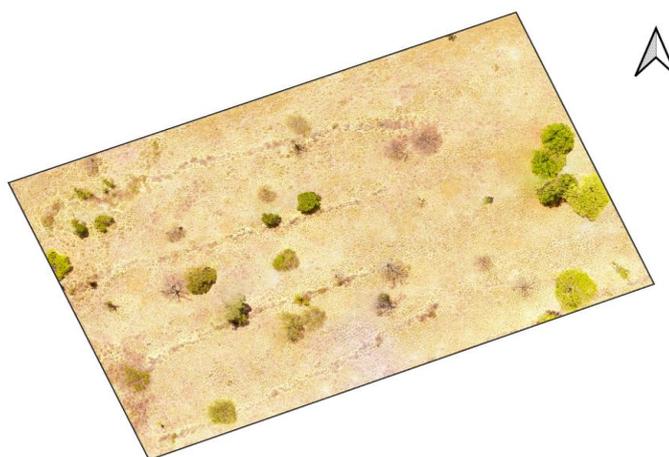
Nota-se também a influência dos níveis de Sódio na CTC, esse fenômeno não se repete no mapa de condutividade elétrica estimada do solo. Os níveis de matéria orgânica sugerem que o Nitrogênio possa ser suprido a cultura pela mineralização da matéria orgânica presente na área. Segundo Sousa et al. (2004). Estima-se que de 1% de MO fornece 30kg.ha⁻¹ de N.

Além disso, é importante ressaltar a necessidade de ajuste de lotação animal em relação a produção de matéria seca bem como instalação de bebedouros e cochos para mineralização dos animais. Essas medidas visam de forma a equilibrar a produção e o bem-estar animal, garantindo os graus adequados de liberdade, interação e adaptação ao ambiente.

Recomenda-se ainda uma roçada mecânica para uniformizar a altura da vegetação e eliminar de parte das plantas daninhas lenhosas existentes, juntamente com a aplicação de herbicida seletivo para controle das invasoras além de um período de descanso para reestabelecer a forragem. Como parte desse diagnóstico, propõe-se a divisão da área em no mínimo duas partes para implementação de pastejo rotacionado ou alternado, visando o melhor aproveitamento da área. Adicionalmente, sugere-se o monitoramento do manejo da pastagem através do uso de drones, o que permitirá um acompanhamento mais eficiente e detalhado das práticas de manejo.

Além desses fatores, nos diagnósticos, foram utilizadas imagens de drone com um planejamento específico, incluindo uma altura de voo de 60 metros, conforme ilustrado na Figura 6. Considerando a qualidade da lente da câmera, o horário de voo para evitar o efeito sombra, a velocidade do VANT, a velocidade do vento, o software de processamento de imagem e a, qualidade de processamento. Garantindo também que o computador utilizado tivesse a capacidade de suporte mínima exigida pela empresa detentora dos direitos do software de processamento.

Figura 6 - Imagem aérea captada por drone (mapa 2D)



Fonte: Elaborado pelo autor

Um outro fator de extrema relevância para os índices de precisão, especialmente em relação a resolução, é o manejo dos animais nessa área. Devido ao pastejo contínuo ao longo de décadas, existe grande variabilidade de altura da vegetação e na ocupação dos espaços,

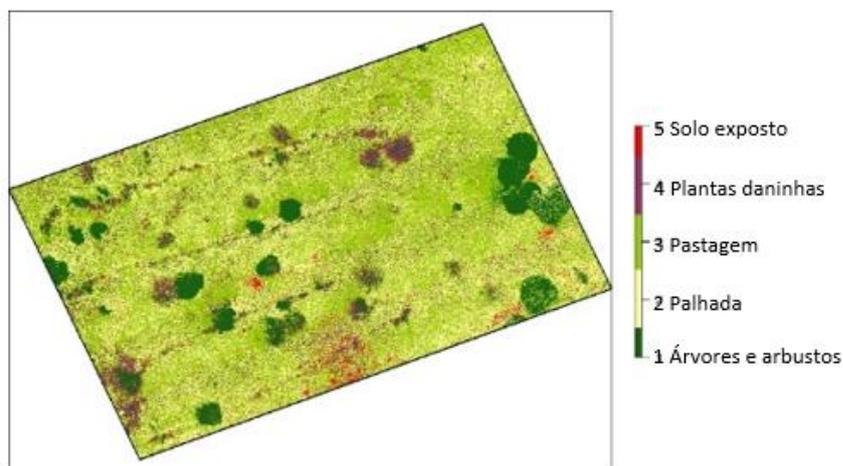
mesmos em áreas pequenas. Isso reflete nas imagens capturadas pela câmera do drone, resultando em diferentes configurações de pixels nas bandas RGB. Essa variabilidade pode afetar a qualidade e a interpretação das imagens, sendo importante considerá-la durante o processamento e análise dos dados.

Essa variabilidade pode ser identificada e aproveitada para embasar decisões através da classificação de imagens no QGIS 3.28. Ao criar uma nova shapefile, utilizando com base o arquivo raster gerado pelo sobrevoo do drone sobre a área de estudo, é possível realizar uma análise mais precisa e detalhada das características do terreno.

A shapefile originada no QGIS 3.28 serve como fundamento para criação da matriz de treino e teste de classes, utilizando amostras nos pacotes caret e randomForest, no programa R. Ao combinar esses dois recursos, é possível realizar novas análises, nas quais as classes são extraídas e separadas para treinamento (70%) e teste (30%) das amostras, garantindo um processo de validação.

Após essa etapa, segue-se o modelo de predição e elaboração da matriz de confusão para obter o resultado da classificação. Isso resulta na geração de um novo raster, que apresenta em sua estatística a acurácia de 87% e um índice kappa de 0,82. De acordo com McHugh (2012), esse valor é considerado forte. Esses resultados podem ser observados na Figura 7 a seguir.

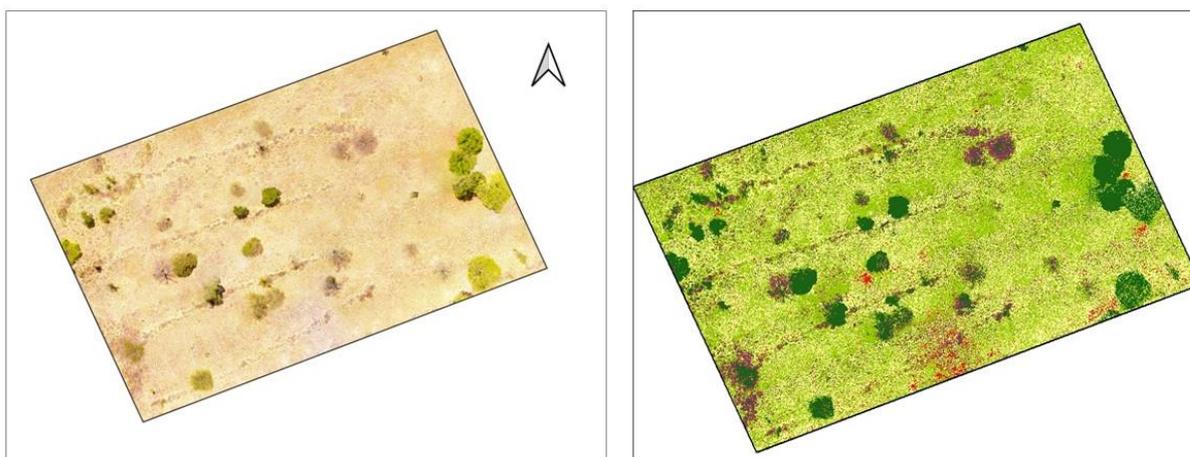
Figura 7 - Imagem classificada com o uso e ocupação do solo



Fonte: Elaborado pelo autor

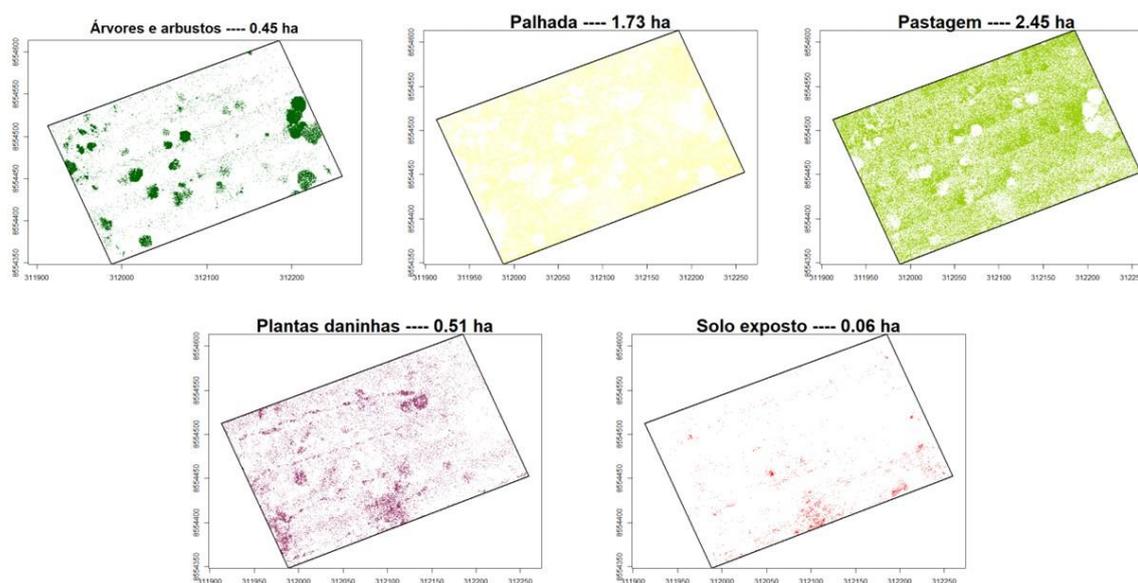
Quando se trata do diagnóstico de área, ao realizar uma comparação entre a imagem original (Figura 6) e a classificada no programa R (Figura 7), observa-se uma notável semelhança. Posteriormente, e a Figura 8 comparações de imagens, Figura 9 apresenta a segmentação em subdivisões, mostrando a distribuição das classes e a quantificação em hectares de ocupação do solo no perímetro estudado.

Figura 8 - Comparação de imagens (original e classificada)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9 - Segmentação de imagem classificada



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas informações obtidas no mapeamento, torna-se possível realizar análises e tomar decisões embasadas em dados concretos para mitigar a degradação da pastagem, uniformizar a produção aumentando a produtividade da área explorada, otimizando a taxa de lotação. O uso de técnicas simples de controle de plantas daninhas e divisão de área são estratégias viáveis para esse fim.

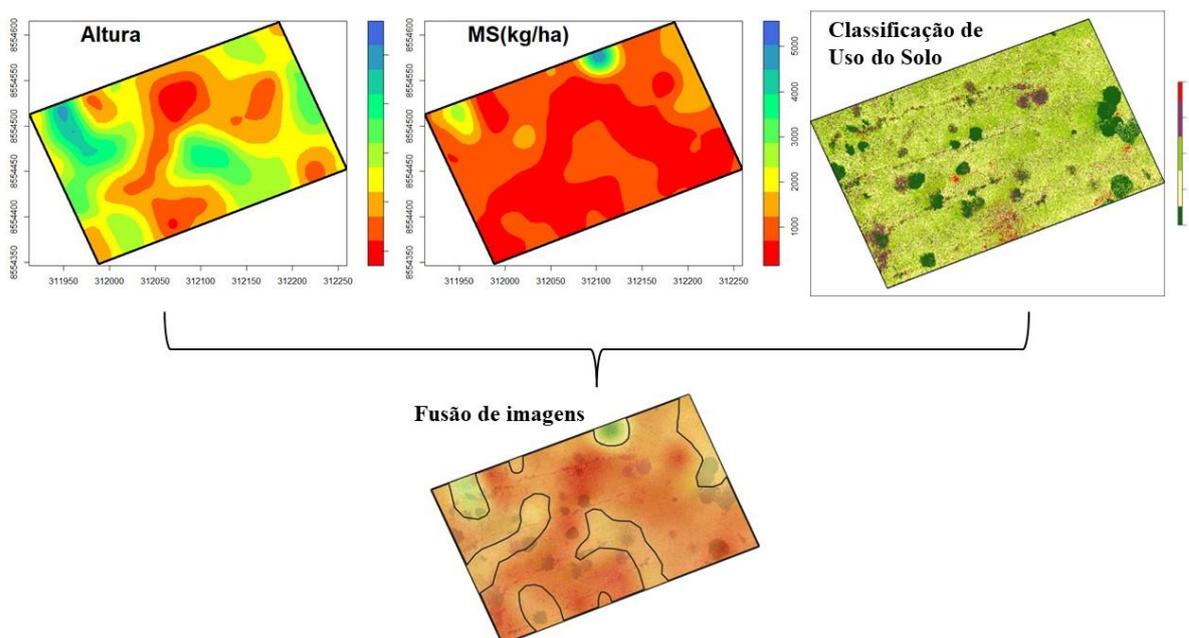
As imagens segmentadas demonstram uma distribuição uniforme da presença de pastagem em toda a área, com a palhada da cultura disposta de maneira homogênea, protegendo o solo dos raios solares e mantendo temperatura e umidade adequadas. As árvores e arbustos

também estão distribuídos de forma equilibrada, proporcionando sombra para os animais ruminarem em um ambiente mais fresco e protegidos.

No entanto, é evidente a presença de plantas daninhas em toda a área, o que representa um fator preocupante de degradação que requer controle. O solo exposto em alguns pontos pode ser facilmente controlado com ajustes no manejo, desde que a cultura tenha melhores condições de estabelecimento. Sendo essencial realizar monitoramentos constantes das áreas para garantir sua recuperação e manutenção.

Além disso, é possível realizar mais diagnósticos combinando programas R e QGIS 3.28, possibilitando a fusão de imagens de uso e ocupação do solo, e partições da Figura 10, altura da pastagem (Altura) e produção de matéria seca (MS). A partir dessa fusão, torna-se viável diagnosticar zonas de baixo desempenho produtivo, mapeá-las e quantificá-las, tornando essa uma imagem base para a tomada de decisão no ajuste de manejo para a recuperação de área localizada.

Figura 10 - Fusão de imagens

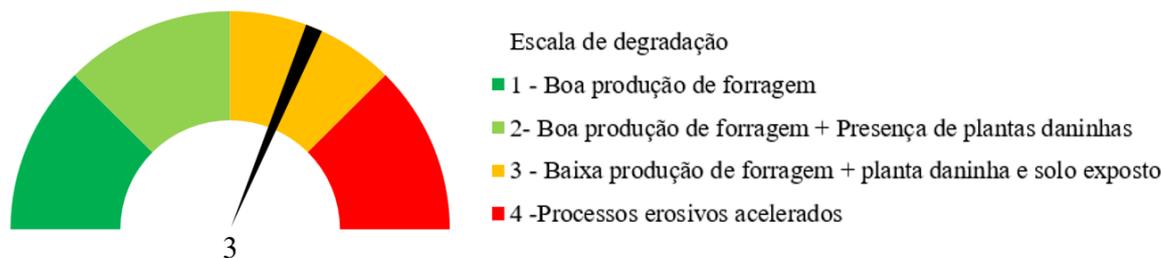


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 10 é o resultado da fusão de três imagens que quantificam uma área de 3,95 hectares de zona crítica de baixa produção. Isso representa 76,11% da área total explorada, um dado relevante que interfere diretamente na taxa de lotação animal. Com mais, de 76% da área encontra-se em processo de degradação, apresentando pontos com solo exposto e nenhuma

produção de matéria seca, os animais tendem a se descolar mais para se alimentar, o que resulta em desgaste de energia e queda na produção de carne. Essa situação destaca a urgência de intervenções para reestabelecimento e manejo adequado da área. A Figura 11, demonstra o nível crítico em que encontra-se essa área em uma escala gráfica de degradação.

Figura 11 - Nível de degradação da área



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de visualmente não ser capaz de quantificar o grau de degradação em uma simples visita a campo. Com o uso de ferramentas computacionais, software e *Machine Learning*, através de uma análise detalhada é possível elaborar um diagnóstico preciso e eficiente para ajuste de manejo e recuperação de áreas degradadas com base na análise gráfica da área.

Para Chagas et al. (2009) a análise de dados através de sensores remotos, devido ao seu baixo custo, vêm sendo aplicadas na análise e classificação do uso da terra e pode contribuir muito para a identificação de níveis de degradação em pastagens, levando-se em consideração as características das pastagens. Ainda segundo Chagas et al. (2009), a relevância dos resultados alcançados com os estudos que comprovam, a eficiência da utilização de *Machine Learning* para classificação do uso e cobertura do solo, podendo este classificador ser considerado uma alternativa viável para a classificação de níveis de degradação de pastagens, principalmente em grandes áreas.

Com o ajuste de manejo e aplicações das sugestões, estima-se o reestabelecimento da pastagem e aumento do suporte forrageiro ainda no primeiro ano, com isso chegando a patamares de 20 t.ha¹.ano de matéria seca o que eleva a taxa de lotação de 0,1 para 0,6 UA.ha¹ como demonstra os cálculos a seguir

A atual média de 786,3 kg.ha¹ de matéria seca (MS), considerando perda de 50%, por diferentes circunstâncias entre ela pisoteio, senescência, déficit hídrico, competição, sombreamento, pisoteio, urina e fezes dos animais no pastejo e consumo animal de 2,5% do

peso vivo, uma unidade animal (UA) com peso de 450kg, consome 11,25kg de matéria seca dia.

$$MS = 786,3\text{kg}$$

$$\text{Perca de MS} = 50 \%$$

$$\text{Consumo MS. UA} = 11,25\text{kg} \times 365 \text{ dias} = 4.106 \text{ kg. ano}$$

$$\text{Suporte Forrageiro (SF)} = ? (\text{x UA.ano})$$

$$SF = \frac{MS \times \left(\frac{50}{100}\right)}{\text{Consumo MS. ano}} = \text{x UA. ano}$$

$$SF = \frac{786,3 \times \left(\frac{50}{100}\right)}{4.106} = 0,1 \text{ UA. ano}$$

Com a produção estimada de 20 t.ha¹.ano de material natural, considerando que 25% é MS, e que a perca de 50%, consumo de 4.106 kg.MS.ano, o suporte forrageiro é de 0,6 como demonstra o cálculo a seguir

$$MS = 5.000 \text{ kg.ha}$$

$$\text{Perca de MS} = 50\%$$

$$\text{Consumo MS.UA.ano} = 4.106 \text{ kg.ano}$$

$$SF = ?$$

$$SF = \frac{5.000 \times \left(\frac{50}{100}\right)}{4.106} = 0,6 \text{ UA. ano}$$

4 CONCLUSÃO

A aplicação de *Machine Learning* neste estudo proporcionou um diagnóstico preciso das condições da área de produção de pastagens. A análise estatística, combinando dados de estatística clássica e geoestatística, revelou padrões espaciais significativos e forneceu parâmetros para o entendimento da variabilidade dos atributos do solo.

O teste de Kolmogorov-Smirnov indicou distribuições não normais na maioria dos atributos, sugerindo impactos adversos do manejo extrativista adotado ao longo das décadas. A

degradação da pastagem tornou-se evidente, refletida nos baixos índices de matéria seca encontrados. No entanto, a fertilidade do solo permanece adequada, com exceção do fósforo, destacando a necessidade de correção específica.

Os modelos de semivariogramas ajustados e o grau de dependência espacial (GDE) classificado reforçaram a heterogeneidade do solo, indicando alcances variados para diferentes atributos. O diagnóstico identificou áreas críticas com baixa produção, possibilitando a proposição de intervenções específicas. A fusão de imagens e a classificação do uso do solo, corroboraram a distribuição desigual da pastagem, fornecendo informações para a tomada de decisões.

Os resultados ressaltam a urgência de estratégias de manejo, incluindo controle de plantas daninhas, divisão de áreas e ajuste de lotação animal. A precisão do diagnóstico permitiu a identificação de áreas críticas, representando mais de 76% da área total explorada. A implementação de práticas sustentáveis é essencial para reverter a degradação, aumentar a produtividade e garantir o bem-estar animal.

A combinação das tecnologias utilizadas neste estudo, análises estatísticas e *Machine Learning* demonstra ser uma metodologia eficaz para avaliação e intervenção em pastagens degradadas. A integração dessas ferramentas oferece não apenas diagnósticos precisos, mas também orienta estratégias de manejo, promovendo a sustentabilidade e a resiliência na produção de pastagens. Além de propor ajuste de manejo com sugestões relevante no aumento da produtividade.

Em suma, ressalta-se a relevância no uso de técnicas de mapeamento e geoestatística, com modelos e parâmetros estimados, para possibilitar diagnósticos de áreas de forma rápida e precisa. Essas ferramentas tornam o trabalho técnico mais eficiente no ajuste de manejo e recuperação de áreas degradadas, viabilizando a atuação em zonas específicas de manejo. Isso não apenas proporciona maior economia ao produtor, mas também fortalece a bovinocultura de forma sustentável, com ganhos significativos na produtividade das áreas de pastagens. Finalmente, este estudo destaca a relevância dessas abordagens inovadoras para enfrentar os desafios contemporâneos na agricultura, proporcionando novas ferramentas para a gestão eficiente de sistemas de produção pecuária, não apenas no município de Campos Belos, mas em nível de Brasil e mundo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Liaw and M. Wiener (2002). Classification and Regression by randomForest. R News 2(3), 18--22.

ALMEIDA, M. C. S.; MAY, P. H. (orgs). Gestão e governança local para a Amazônia sustentável: notas técnicas. 3. Rio de Janeiro: **IBAM**, 2016.

ALVES, S. M. de F.; QUEIROZ, D. M.; ALCÂNTRA, G. R.; REIS, E. F. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do Solo usando técnicas de análise de componentes principais e geoestatística. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, supplement 1, p. 22-30, June/14.

ANDRADE, A. R. S de.; NETO, A. H. G.; CRUZ, A. F. da S.; ANDRADE, E. K. P. de.; SANTOS, V. F. dos.; SILVA. T. N. P. da. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no Agreste pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. V. 03, N. 01, 126-145. 31 de janeiro 2018. doi: 10.24221/jeap.3.1.2018.1668.126- ISSN: 2525-815X 145.

AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. *Pesquisa Agropecuária Tropical*., Goiânia, v. 44, n. 1, p. 32-41, jan./mar. 2014.

ARAÚJO, D. C. dos S.; MOTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. de A.; SILVA JUNIOR, V. de P. e.; DOS SANTOS, S. M. Spatial variability of soil attributes in an experimental basin in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. v.22, n.1, p.38-44, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p38-44>.

ATAÍDES, D. H. dos S.; ARAÚJO, E. J. G.; MONTE, M. A. CURTO, R. de A. MENDONÇA, B. A. F.; MORAIS, V. A. Spatial dependence of dendrometric variables in different ages and sample intensities on a eucalyptus stand. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 32, n.4, nov. 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509837867>.

AYRES, M. BioEstat 5.3: statistical applications in areas of biological and medical sciences. 5ed. Belém: Publicações Avulsas do Mamiraua, 2011, 361p.

BARBOSA, D. P.; BOTTEGA, E. L.; VALENTE, D. S. M.; SANTOS, N. T.; GUIMARÃES, W. D.; FERREIRA, M. P. Influence geometric anisotropy in management zones delineation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 4, p. 543-551, out-dez, 2019. DOI: 10.5935/1806-6690.20190064.

BATISTA, C. H.; SILVEIRA JUNIOR, O.; LIMA, I. C. S.; CARDOSO, L. A. F.; CRUZ, R. S. da.; SANTOS, A. C. Spatial variability of the horizontal structure and production of biomass in Massai grass in an agropastoral system. **Revista Verde**. v. 16, i. 3, july.-sept, p.238-244, 2021. doi: 10.18378/rvads.v16i3.8684.

BENEDUZZI, H. M.; SOUZA, E. D. de.; MOREIRA, W. K. O.; SOBJAK, R.; BAZZI, C. L.; RODRIGUES, M. Fertilizer Recommendation Methods For Precision Agriculture – A Systematic Literature Study. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.42, n.1, 2022. Doi:org/10.1590/1809-4430.

BRITO, B. N. de.; BRITO, J. L. S. Mapeamento de qualidade em pastagens do Cerrado por meio de imagens Sentinel. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 24, e. 44, 2020. DOI:10.5902/2236499443352.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de.; PINTO, F. de A. de C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan-mar, 2013.

CABRAL, C. E. A.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; MOTTA, A. M.; MOTA, L. G. Impactos técnico-econômicos da adubação de pastos. **Nativa, Sinop**, v. 9, n. 2, p. 173-181, mar./abr. 2021. doi: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.12047>.

CHAGAS, C. S.; VIEIRA, C. A. O.; FERNANDES FILHO, E. L.; CARVALHO JÚNIO, W. de.; Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.13,n.3, p.319-327, 2009.

CAJAZEIRA, J. P.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 258267, 2011.

CASADEI, E.; BACHA, A. L.; RODRIGUES, J. S.; SANTOS, R. T. S.; ALVES, P. L. C. A.; ARTHUR, B. C. F. Redroot pigweed interference with lettuce crop. **Planta Daninha**. 2020;38:e020222945. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100058>

CATI, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Mapa de Classes de Capacidade Potencial de Uso das Terras Agrícolas do Estado de São Paulo. São Paulo. 2017.

CHIAVEGATO, M. B.; CONGIO, G. F. de S.; SILVA, S. C. da.; Estratégias de manejo do pastejo para redução de impactos ambientais. **IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES NO CERRADO**. Uberlândia-MG, 12 e 13 de abril de 2018.

COSTA, N. V.; COSTA, A. C. P. R.; COELHO, E. M. P.; FERREIRA, S. D.; BARBOSA, J. de A. Métodos de controle de plantas daninhas em sistemas orgânicos. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.17, n.1, p.25-44, jan./mar. 2018 DOI: <https://doi.org/10.7824/rbh.v17i1.522>

DA SILVA, S. C.; CHIAVEGATO, M. B; PENA, K. S.; SILVEIRA, M. C. T.; BARBERO, L. M.; SOUZA JUNIOR, S. J.; RODRIGUES, C. S.; LIMA, V. A.; PEREIRA, L. E. T. Tillering dynamics of Mulato grass subjected to strategies of rotational grazing management. **The Journal of Agricultural Science**, 155(7), 2017. doi:10.1017/S0021859617000223

DIAS-FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira Challenges of animal production in pastures in the Brazilian agricultural Frontier. **Revista Brasileira de Zootecnia**. January 2011.

EMBRAPA, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.]. – 5. ed., rev. E ampl. – Brasília, DF: **EMBRAPA**, 2018.

EMERECIANO NETO, J. V.; BEZERRA, M. G. S.; FRANÇA, A. F.; AGUIAR, E. M.; DIFANTE, G. S. Características estruturais e produtivas em híbridos intraespecíficos e interespecíficos de capim-elefante. **Cienc. anim. bras.**, Goiânia, v.20, 1-11, e-46788, 2019.

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; VITOR, C. M T.; MORAIS, R. V.; MISTURA, C.; REIS, G. C.; MARTUSCELLO, J. A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p.397-403, 2005.

FEITOSA, O. de S.; LEITE, R. da C.; ALEXANDRINO, E.; PIRES, S. T. de J.; OLIVEIRA, L. B. T.; PAULA NETO, J. J.; SANTOS, C. A. Forage performance and cattle production as a function of the seasonality of a Brazilian tropical region. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 44, e53779, 2022. doi: 10.4025/actascianimsci.v44i1.53779.

FERNANDES, G. A.; ASSIS, J. R.; SILVA, E. B.; MORALES, R. L.; COSTA, F. M. OLINI, L. M. G.; PADILHA, V. H. T. da C.; NUNES, D.; DIAS, M. R. Influence of the time of the year on the nutritional value of forage consumed by beef cattle raised on grassland. **Scientific Electronic Archives**. Vol.15. May 2022. <http://dx.doi.org/10.36560/15520221537>

FLORES, R. S.; EUCLIDES, V. P. B.; ABRÃO, M. P. C.; GALBEIRO, S.; DIFANTE, G. S.; BARBOSA, R. A. Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 8, p. 1355-1365, 2008.

FALEIRO, E. A.; LAMEGO, F. P.; SCHAEDLER, C. E.; VALLE, T. A. D.; AZEVEDO, E. B. de. Individual and integrated methods on tough lovegrass control. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.52:9, 2022. doi:10.1590/0103-8478cr20210490.

HAGHNAMA, K.; MENNAN, H. Herbicide resistant barnyardgrass in Iran and Turkey. **Planta Daninha**. July 2, 2020. doi: 10.1590/S0100-83582020380100060.

INSUA, J. R.; UTSUMI, S. A.; BASSO, B. Estimation of spatial and temporal variability of pasture growth and digestibility in grazing rotations coupling unmanned aerial vehicle (UAV) with crop simulation models. **PLOS ONE**. March 13, 2019. doi: 0.1371/journal.pone.0212773

JACINTHO, J. L.; FERRAZ, G. A. S.; BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, P. F. P.; SANTOS, S. A.

Spatial Variability Of Chlorophyll Content In A Tifton 85 Bermudagrass Pasture In A Tropical Region. *Revista Engenharia na Agricultura*. Viçosa, MG, v.29, 2021. doi: 10.13083/reveng.v29i1.12556

JUSTO, J. F. A.; BARRETO, A.C.; SILVA, J. F.; FERREIRA NETO, M.; SÁ, F. V. S.; OLIVEIRA, R. P. Identification and diagnosis of salt-affected soils in the Baixo-Açu irrigated perimeter, RN, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.25, n,7, 2021. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p480-484

KÖPPEN e GEIGER CLIMA-DATA.ORG. Clima Monte Alegre de Goiás (BRASIL). Disponível em: <Clima Monte Alegre de Goiás: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Monte Alegre de Goiás - **Climate-Data.org**>. Acesso (2022).

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. *Terrae Didática*, v.2, n.1, 2006. Disponível em: <ppegeo.igc.usp.br/index.php/TED/article/view/8334/7607>. Acesso (2023).

LEE, M. A. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. *Jornal of Plant Research*. March 2018. <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1024-y>

LIMA, E. de S. SOUZA, Z. M de S. MONTANARI, OLIVEIRA, S. R. de S.; LOVERA, L. H.; FARHATE, C. V. V. Classification of the initial development of eucalyptus using data mining techniques. *CERNE*. v. 23 n. 2. 2017. doi:10.1590/01047760201723022296.

MCHUGH, M, L. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia medica: Biochemia medica* 2012;22(3):276-82.

MARCHI, S. R.; MARQUES, R. F.; ARAÚJO, P. P. dos S.; SILVA, I. T. D.; MARTINS, D. Weed interference in Marandu palisade grass pastures under renewal or maintenance conditions. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V.26, n.3, 2022. doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v26n3p166-172

MARQUES, S. de F.; PITOMBO, C. S. Applying multivariate geostatistics for transit ridership modeling at the bus stop level. **Bulletin of Geodetic Sciences**. 2021. Doi: 10.1590/1982-21702020-0069.

MATHERON, G. (1963). Princípios de Geostática. **Economic Geology** 58(8): 1246-1266.

MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; ANDRADE, F. R.; BAPTISTEL, A. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agroambiental Online**, Boa Vista-RR, v. 9, n. 1, p. 17-26, 2015.

MATIAS, S. S. R.; MATOS, A. P.; LANDIM, S. F. F.; ALVES, M. A. B.; SILVA, R. L. Recomendação de calagem com base na variabilidade espacial de atributos químicos do solo no Cerrado brasileiro. **SCAP**. 42. 2019. doi.org/10.19084/rca.17735

MCHUGH, M. L. Interrater reliability: the kappa statistic. **Biochemia Medica**. Department of Nursing, National University, Aero Court, San Diego, California, 2012: 276-282.

NOGUEIRA, D. C. S.; TAVANTI, R. F. R.; MONTANARI, R.; NETO, M. C.; SCALA, N. L. Jr.; PANOSSO, A. R. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em sistema silvipastoril e pastagem degradada na região do cerrado. V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo. Viçosa/MG, 2020.

NETO, J. R. C.; LUFT, L.; CONFORTIN, T. C.; TODERO, I.; MAZUTTI, M. A. ZABOT, G. L.;

TRES, M. V. Resistência De Plantas Daninhas A Herbicidas E Controle Alternativo. **Revista Científica Rural**. Bagé-RS, volume21, nº 3, ano 2019. <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i3.3124>

OLIVEIRA, G. G.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; BARBOSA, S. M.; SILVA, B. M. Indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens nas regiões leste e sul de Minas Gerais. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 58, n. 4, p. 388-395, 2015.

ODDI, L.; CREMONESE, E.; ASCARI, L.; FILIPPA, G.; GALVAGNO, M.; SERAFINO, D. CELLA, U. M. Using UAV Imagery to Detect and Map Woody Species Encroachment in a

Subalpine Grassland: Advantages and Limits. **Remote Sensing**. 13. 2021. doi.org/10.3390/rs13071239

PARIS, J. O.; GONTIJO, I. PARTELLI, F. L.; FACCO, A. G. Variability and spatial correlation of soil micronutrients and organic matter with macadamia nut production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.24, n.1. 2020. doi:10.1590/18071929/agriambi.v24n1p3136

PEREIRA, L. F.; FERREIRA, C. F. C.; GUIMARÃES, R. M. F. Manejo, qualidade e dinâmica da degradação de pastagens na Mata Atlântica de Minas Gerais – Brasil. **Nativa**, Sinop, v.6 n.4, jul/ago. 2018. doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5542

RAMOS, R. F.; KASPARY, T. E.; BALARDIN, R. R.; NORA, D. D.; ANTONIOLI, Z. I.; BELLÉ, C. Plantas daninhas como hospedeiras dos nematoides-das-galhas. **Revista Agronomia Brasileira**. v. 3, março, 2019. doi: 10.29372/rab201906

ROBERTSON, G. P. GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design, 1998.

RODRIGUES, M. S. R.; CASTRIGNANO, C.; BELMONTE, A.; SILVA, K. A.; LESSA, B. F. T. Geostatistics and its potential in Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020. doi: 10.5935/1806-6690.20200095

SAHU, B.; KUMAR, A.; SEEMA. Deterministic and geostatistical models for predicting soil organic carbon in a 60 ha farm on Inceptisol in Varanasi, India. *Geoderma Regional* 26. 11 June 2021.

SANTOS, C. M. dos. Variabilidade espacial de parâmetros físicos do solo sob pastagem em sistema de produção de bubalinos: impactos na produtividade do capim mombaça / Crissogno Mesquita dos Santos - Parauapebas, 2019.

SILVA, M. B.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; CALDAS, M. M. Nutritional balance and its relationship to yield in a coffee field: Inferences from geospatial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.24, n.12, p.834-839, 2020.

doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p834-839

SOUZA, P. T.; SILVA, T. C.; TROLEIS, M. J. B.; SENA, K. N.; SILVA, A. C. R.; SANTOS, T. E. B. MONTANARI, R. Variabilidade espacial da biomassa e atividade microbiana do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 31, n. 4, out./dez. 2021.

SOUSA, D. M. De.; LOBATO, E. Cerrado Correção do Solo e Adubação, 2. ed, Brasília, DF: **Embrapa** informação Tecnológica, 143 pg, 2004.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54, 2000.

Vieira, SR; Hatfield, JL; Nielsen, DR; Biggar, JW (1983). Teoria geoestatística e aplicação à variabilidade de algumas propriedades agronômicas. **Hilgardia** 51(3): 1-75. 1983. [10.3733/hilg.v51n03p075](https://doi.org/10.3733/hilg.v51n03p075).

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. New York: Academic, cap. 2, p. 319-344. 1980.

WEIRICH NETO, P. H.; BUZOLINI JUNIOR, O.; ROCHA, J. J. V. da.; BORGHI, E.; SVERZUT. Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. **Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 12, n. 1, p. 41-49, 2006.