



INSTITUTO FEDERAL
Rondônia



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia

Campus Ariquemes

Coordenação do Curso Bacharel em Agronomia

LUCAS SOBRAL DE FARIAS RODRIGUES DE LIMA

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR
VANTS E IMAGENS DE SATÉLITE COM ATRIBUTOS DO SOLO**

Ariquemes - RO

2025

LUCAS SOBRAL DE FARIAS RODRIGUES DE LIMA

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR
VANTS E IMAGENS DE SATÉLITE COM ATRIBUTOS DO SOLO**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Ariquemes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto ao Curso de Agronomia, sob a orientação do professor Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira do Orientador e Coorientador Acácio Bezerra Mira.

Ariquemes - RO

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

L732

Lima, Lucas Sobral de Farias Rodrigues de.
Correlação espacial entre índices de vegetação obtidos por Vants e imagens de satélites com atributos do solo / Lucas Sobral de Farias Rodrigues de Lima. - Ariquemes, 2025.
24 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.
Coorientador(a): Prof. Acácio Bezerra Mira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO, Ariquemes, 2025.

1. NDVI. 2. Geoestatística. 3. Sensoriamento Remoto. I. Oliveira, Ivanildo Amorim de (orient.). II. Mira, Acácio Bezerra (coorient.). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. IV. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Renilce Silva Moraes, CRB-11/906

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
RONDÔNIA *CAMPUS* ARIQUEMES**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Correlação espacial entre índices de vegetação obtidos por vants e imagens de satélite
com atributos do solo**

Acadêmico: Lucas Sobral de Farias Rodrigues de Lima

Orientador: Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira

Coorientadora: Acácio Bezerra Mira

Conceito Atribuído: Aprovado.

Ivanildo Amorim de Oliveira
Orientador

Acácio Bezerra Mira
Coorientador

Ludmila de Freitas
Membro da Banca

Igor Vilela Cruz
Membro da Banca

Data da Realização: 22 / 07 / 2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço à família, aos amigos, aos professores e a todos que estiveram comigo.
Agradeço a vida por cada passo dado, por cada momento vivido, por tudo que me trouxe até aqui.

CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR VANTS E IMAGENS DE SATÉLITE COM ATRIBUTOS DO SOLO

RESUMO

O sensoriamento remoto e o sistema de informação geográfica são ferramentas que auxiliam na tomada de decisão no campo. Atualmente existe grande diversidade de dados espaciais e um aumento do emprego de veículos aéreos não tripulados (VANTS) na agricultura. Assim, o objetivo do trabalho foi analisar a precisão das informações obtidas através de imagens Orbitais e VANTS na determinação de índices de vegetação em áreas de pastagem e sua correlação espacial com a textura do solo, estoque de carbono orgânico e densidade do solo no Vale do Jamari, RO. O trabalho foi realizado em área de pastagem, com malha amostral de 50 m x 100 m. As coletas de solos foram realizadas nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 metros, totalizando 66 pontos amostrais. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex, e sob cada ponto amostral foi realizado coleta de solos na profundidade de 0,0- 0,10 m, posteriormente realizado a análise da textura, carbono orgânico do solo e densidade do solo. A coleta de solos para determinação da umidade do solo foi realizada em época seca (julho) e chuvosa (abril). Foram utilizadas imagens dos satélites Sentinel-2 e VANTS (drone agrícola multiespectral) para determinação do Índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI). As avaliações dos dados foram realizadas através de ferramentas de estatísticas descritiva e geoestatística, e a correlação com o índice de vegetação. Observou-se que áreas com maior densidade do solo e maior estoque de carbono orgânico total apresentaram maiores valores de NDVI. Além disso, o uso de VANTS demonstrou maior precisão na análise da variabilidade espacial em áreas de pequena extensão, quando comparado às imagens do satélite Sentinel.

Palavras-chave: NDVI. Geoestatística. Sensoriamento Remoto.

SPATIAL CORRELATION BETWEEN VEGETATION INDEXES OBTAINED BY VANTs AND SATELLITE IMAGES WITH SOIL ATTRIBUTES

ABSTRACT

Remote sensing and geographic information systems (GIS) are tools that support decision-making in the field. Currently, there is a wide diversity of spatial data and an increasing use of unmanned aerial vehicles (VANTs) in agriculture. Thus, the objective of this study was to analyze the accuracy of information obtained through satellite and UAV imagery in determining vegetation indices in pasture areas and their spatial correlation with soil texture, organic carbon stock, and soil density in the Vale do Jamari region. The study was conducted in a pasture area using a sampling grid of 50 m × 100 m. Soil samples were collected at the grid intersection points, spaced regularly at 10-meter intervals, totaling 66 sampling points. The points were georeferenced using a Garmin Etrex GPS device, and soil samples were collected at each point at a depth of 0.0–0.10 m for subsequent analysis of texture, soil organic carbon, and bulk density. Soil moisture samples were collected during both the dry (July) and rainy (April) seasons. Sentinel-2 satellite images and UAV data (multispectral agricultural drone) were used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Data were analyzed using descriptive and geostatistical tools, and correlations with the vegetation index were assessed. It was observed that areas with higher soil density and greater total organic carbon stock showed higher NDVI values. Additionally, UAV imagery provided greater precision in analyzing spatial variability in small-scale areas when compared to Sentinel satellite images.

Keywords: NDVI. Geostatistics. Remote Sensing

INTRODUÇÃO

O setor pecuário tem se destacado com o crescente aumento da exportação, conforme a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC, 2025) no ano de 2024 o país registrou 2,9 milhões de toneladas de carne bovina exportada para mais de 150 países. Além disso, entorno de 95% da produção de carne é produzida em regime de pasto (ARAÚJO et al., 2017), em aproximadamente 164 milhões de hectares (MAPBIOMAS, 2021). O setor pecuário do estado de Rondônia se destaca com cerca de 18 milhões de animais, sendo liderado pela capital Porto Velho com a maior concentração de rebanho com cerca de 1,7 milhões de bovinos, seguido de Nova Mamoré com 1 milhão (IBGE, 2023).

Nesse aspecto, com o avanço e modernização da agricultura e pecuária, foram desenvolvidas tecnologias ou geotecnologias que auxiliam a gestão e manejo no campo. Dentre as tecnologias, o Sensoriamento Remoto (SR), proporciona o monitoramento e avaliação de características das plantas a distância, através de imagens capturadas por satélite, aeronaves, drones e Veículo Aéreo não Tripulado (VANTs) (MOLIN et al., 2015). O SR auxiliado por ferramentas do Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), podem contribuir no monitoramento e identificação de áreas de pastagem em degradação, auxiliando no manejo visando a recuperação no sistema de produção (DAL COLLETTTO et al., 2020).

Neste contexto, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) compreende as ferramentas utilizadas no geoprocessamento, que possibilita realizar a integração de dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados, transformando dados em informações que auxiliam na tomada de decisão para uso e manejo do solo (CÂMARA et al., 2001). Por outro lado, o Sensoriamento Remoto consiste na utilização conjunto de sensores, equipamentos de processamento, e transmissão de dados acoplados em satélites, drones e outros equipamentos que capitam a energia eletromagnética irradiada (REM) pelos objetos na superfície da terra (NOVO, 2010).

Entre os comprimentos de onda da REM, as regiões do visível e vermelho próximo do espectro eletromagnético são as que possui maior destaque da agricultura, utilizadas na determinação dos índices de vegetação ou indicadores biofísicos da vegetação (MOLIN et al., 2015). Neste sentido, os índices de vegetação são resultados de várias combinações matemáticas em diversas faixas espectrais, com o intuito de transformar os dados espectrais em informações que descrevem a vegetação (LIU, 2006).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o principal índice aplicado na agricultura, sendo descrito pela primeira vez por Rouse et al. (1974), e é baseado na relação entre a diferença da banda do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V). O

resultado da relação resulta em valores de -1 que representa ausência de vegetação, e 1 presença de vegetação densa (ROUSE et al., 1974). Com o uso das ferramentas de SR e SIG, é possível elaborar mapas e avaliar espacialmente, a estimativa da biomassa vegetal, produtividade, o monitoramento de estresse hídrico, vigor, avaliação do estágio fenológico, além da utilização na determinação dos atributos do solo como argila e matéria orgânica (BRANDÃO, 2009; LÓPEZ et al., 2005).

Além disso, algumas ferramentas estatísticas possibilitam avaliar a correlação espacial e a variabilidade espacial de atributos do solo e as propriedades avaliadas por SR. Dentre estas ferramentas, a geoestatística é um método que possibilita a avaliação de variabilidade espacial através da extração e organização dos dados conforme a relação entre os pontos georreferenciados (VIEIRA, 2000), possibilitando o estudo do grau de dependência espacial entre os pontos amostrais distribuídos em um esquema sistemático e georreferenciado de amostras (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

A aplicação da geoestatística no estudo da variabilidade espacial permite a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, levando em consideração a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (SOUZA et al., 2009), dessa forma permite indicar formas de uso e compreensão da variabilidade dos atributos e seu impacto no ambiente (SILVA NETO et al., 2012).

Neste aspecto, as novas tecnologias empregadas no SR têm proporcionado avanços no conhecimento sobre as diversas formas de análise espacial, decorrente de vários fatores, em destaque a maior capacidade de adquirir dados em tempo real e em larga escala (SAMPAIO et al., 2020), além da disponibilidade dos dados, visto que grande parte são fornecidos gratuitamente (SILVA JUNIOR et al., 2021). Além de dados orbitais, o emprego dos Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) tem demonstrado crescente utilização nos monitoramentos ambientais e em estudos agrícolas. A aplicação de VANTs nesses estudos resulta em maior qualidade das informações geradas pois permite o controle desde a altitude até as repetições de voos, dependendo das condições ambientais, com isso resultando em melhor escala espacial e temporal (GOMES et al., 2021a).

Neste contexto, com a diversidade de dados espaciais com diferentes resoluções e o aumento do emprego de VANTs na agricultura, nota-se a importância da análise da qualidade das informações adquiridas por meio dos índices de vegetação. Além disso, poucas são as pesquisas que atentam examinar a correlação espacial entre os índices de vegetação com a textura do solo estoque de carbônico orgânico e densidade do solo na região do Vale do Jamari, em especial, avaliações em época seca e chuvosa, resultando em informações que podem

auxiliar na tomada de decisão correta sobre as práticas de manejos.

Dessa forma, o trabalho teve como objetivo determinar a correlação espacial entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtidas através de imagens Orbital e VANTs com a textura, estoque de carbono orgânico, densidade do solo e umidade do solo em época seca e chuvosa, em área de pastagem na região do Vale no Jamari, RO.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em área sob cultivo de pastagem no Campos experimental do Instituto Federal de Rondônia - *Campus Ariquemes*, localizado nas coordenadas geográficas 9°57'08.9"S e 62°57'26.6"W, com altitude média de 135 m (Figura 1). O município está localizado na porção centro – norte do estado de Rondônia, com o clima segundo a classificação de Köppen, pertencente ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), possuindo tipo climático Aw1, com transição entre as classes Af e Aw, quente e úmido (chuvas do tipo monção com maiores quedas pluviométricas processadas no outono). Temperatura média de 25,62 °C com precipitação pluvial média anual de 2290 mm, e a umidade média relativa do ar de 81,02% (CARVALHO et al., 2016). O solo foi classificado segundo Santos *et al.* (2017), como Latossolo Amarelo.

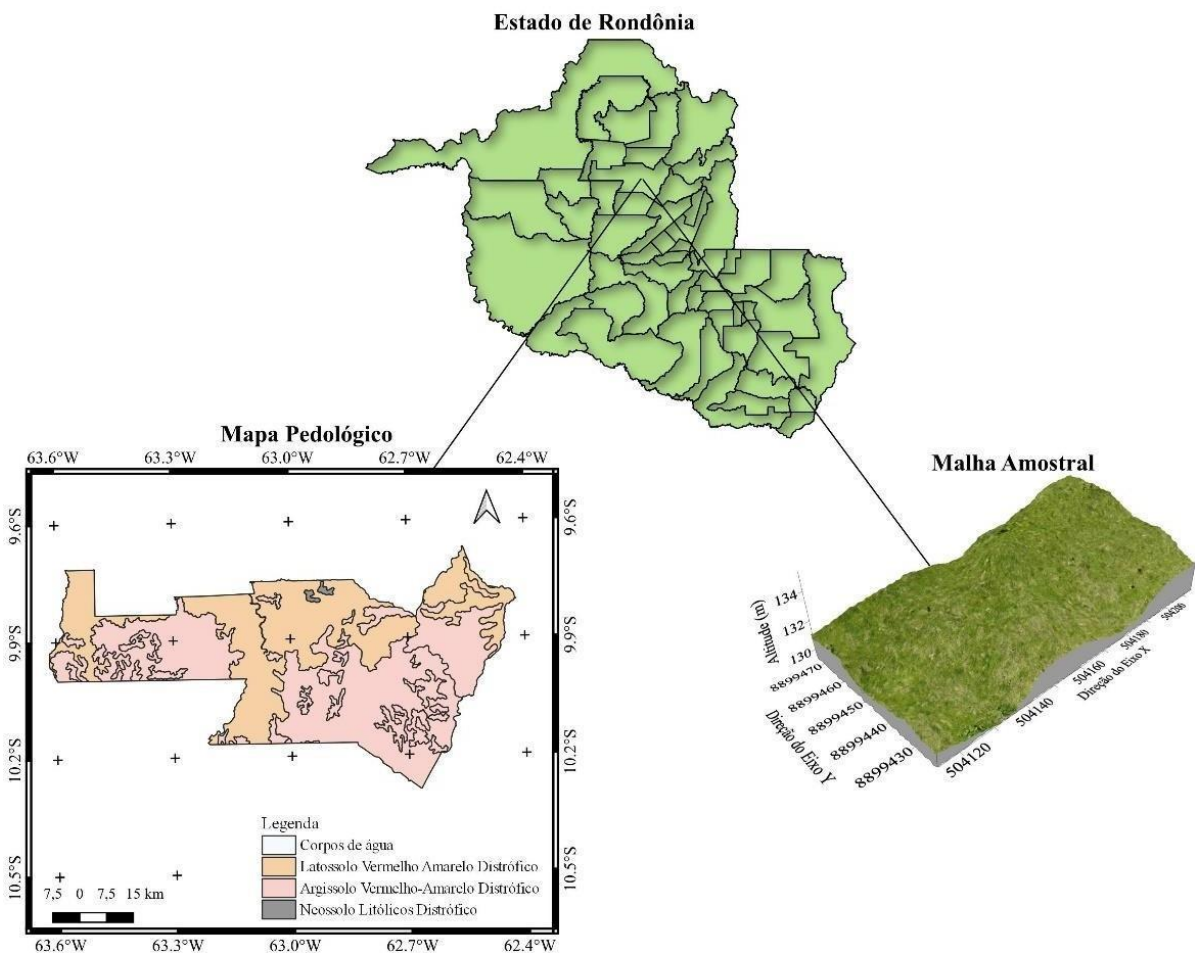


Figura 1. Mapa de localização mostrando o esquema de amostragem e classes de solos na região do vale do Jamari. Fonte: o autor (2025).

Inicialmente foi estabelecida uma malha amostral de 50 m x 100 m e o solo foi amostrado nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 metros,

gerando um total de 66 pontos amostrais na malha. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex (SIRGAS_2000). Por conseguinte, foi realizada sob cada ponto amostral a coleta de amostras de solos deformadas na profundidade de 0,0-0,10 m, e realizado a análise da umidade do solo (em %), sendo esta realizada em época chuvosa (abril de 2024) e seca (julho de 2024), textura (areia, silte e argila), estoque de carbono orgânico total (ECOT) e densidade do solo (Ds) conforme os métodos propostos pela Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017). Vale salientar que, o atributo silte não foi apresentado, neste trabalho, por não ter apresentado variabilidade e correlação espacial com os demais atributos.

As imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2, foram obtidas de forma gratuita do banco de dados Copernicus Data Space Ecosystem. Foram utilizadas imagens do dia 29/04/2024 para a época chuvosa e 03/07/2024 para a época seca.

As imagens de VANT foram obtidas pelo DJI Mavic 3 Multiespectral, equipado com a câmera RGB de 20 MP e quatro bandas 5 MP multi-espectrais (verde: 550nm+/- 40nm; Vermelho 660+/-40nm; Borda Vermelho (rededge): 735nm+/-10nm e infravermelho Próximo: 790nm+/-40nm)), além de possuir RTK para o registro da geolocalização dos dados. O plano de voo foi realizado a aproximadamente 120 m acima e perpendicular ao dossel das plantas, com sobreposição de 70% lateral e 80% frontal. As coletas das imagens foram realizadas no dia 26/04/2024 para a época chuvosa, e 03/07/2024 para a época seca.

Após a aquisição das imagens em campo, foi efetuado processamento por meio Software de SIG Agisoft PhotoScan, realizando o processo de alinhamento das fotos, nuvem de pontos, construção de modelo e textura, modelo digital de elevação (DEM) para a produção do Ortomosaico. Após o processamento das imagens de VANTs e satélites foi realizado o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que consiste na diferença das refletâncias entre as bandas do infravermelho próximo e a do vermelho visível, normalizada pela divisão da soma das bandas (ROUSE et al., 1974), expresso pela Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (1)$$

Onde:

NIR = refletâncias da banda do infravermelho próximo.

VIS = refletância da banda do vermelho.

Os dados dos solos foram submetidos a análise exploratória, calculando-se média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose, desvio padrão, variância e teste de normalidade através do aplicativo Minitab 12.2. O coeficiente de variação (CV%) foi calculado base no critério de Warrick e Nielsen (1980) que classifica o CV como baixo < 12%,

médio de 12% a 24% e alto > 24%. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Com a finalidade de determinar a existência da dependência espacial foram modelados semivariogramas, executando análise geoestatística através do método de krigagem (MATHERON, 1963; ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Equação 2:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

- $\gamma(h)$ - valor da semivariância para o vetor h ;
- $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;
- $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ;
- $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e simboliza o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985). A determinação da existência ou não da dependência espacial, foi realizada com o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considera-se o melhor R^2 (coeficiente de determinação) e coeficientes da validação cruzada (VC).

Os valores interpolados por meio da krigagem e ajustes de semivariogramas foram usados para construção de mapas dos atributos avaliados, com uso do programa Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE Inc., 1999).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), no qual os valores de $[(C_0/(C_0+C_1))*100]$ menores que 25 % são considerados dependência espacial forte, valores de $[(C_0/(C_0+C_1))*100]$ entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de $[(C_0/(C_0+C_1))*100]$ maiores que 75 % de dependência espacial fraca.

O parâmetro biofísico (NDVI) foi gerado com os repositórios de longa duração do software QGIS 3.22. O QGIS é um *software* para Sistema de Informações Geográficas gratuito e amplamente utilizado em trabalhos com dados geográficos. A geração destes mapas de índices de vegetação permitiu a correlação espacial com os mapas dos atributos do solo, facilitando as interpretações do comportamento da produção de biomassa da cultura avaliada por IV sob diferentes condições de umidade do solo e os atributos avaliados do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva para os atributos de argila, areia, estoque de carbono orgânico, densidade e umidade do solo (época chuvosa e seca) na área estudada estão apresentados na Tabela 1. Observou-se que a média e a mediana apresentaram valores próximos nos diferentes atributos analisados, indicando que a distribuição dos dados tende a ser simétrica. Esses resultados são reforçados pelos índices de assimetria e curtose, que apresentaram valores próximos de zero, o que sugere uma distribuição normal para os atributos estudados, corroborando com Souza et al. (2008), ao analisar variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo incluindo área de pastagem.

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por Warrick e Nielsen (1980), dentre os atributos analisados, areia, argila e Ds apresentaram CV baixo, concordando com os resultados obtidos por Aquino et al. (2014) na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. O ECOT apresentou CV médio, enquanto a umidade época chuvosa e seca, demonstrou CV médio e alto respectivamente, como observado Silva et al. (2019) ao analisar a variabilidade da umidade do solo em área de pastagem na região amazônica.

Tabela 1. Estatística descritiva para areia, argila, estoque de carbono orgânico, densidade do solo, umidade na época chuvosa e umidade na época seca.

Atributos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	Var.	CV	Ass.	Curtose	T
Areia	475,37	475	357,5	555,25	37,39	1398,25	7,87	-0,27	0,78	>0,150 ^{ns}
Argila	384,98	385,00	275,00	490,00	42,38	1795,73	11,01	-0,03	0,49	>0,150 ^{ns}
ECOT	36,82	37,53	47,29	24,77	4,649	21,615	12,63	-0,37	0,03	>0,150 ^{ns}
Densidade do solo	1,39	1,40	1,51	1,16	0,07	0,005	5,19	-0,94	0,82	<0,010*
Umidade época chuvosa (%)	26,32	25,66	19,43	40,21	4,35	18,90	16,52	1,01	1,05	0,021*
Umidade época seca (%)	10,61	10,94	2,60	16,36	3,16	9,96	29,74	-0,42	-0,22	>0,150 ^{ns}

ECOT = estoque de carbono orgânico total; DP: desvio padrão; Var.: variância; CV: coeficiente de variação; Ass.: assimetria; t: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; ns e *: não significativo e significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, respectivamente.

Os atributos analisados apresentaram normalidade na maioria dos casos, com exceção de Ds e da umidade época chuvosa (Tabela 1). Conforme afirmam Isaaks e Srivastava (1989), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística. Segundo Crissie (1991), a geoestatística permite observar maior precisão nas estimativas da krigagem por meio de seus valores médios.

Os semivariogramas ajustados podem ser visualizados na Figura 2. A partir da análise

geoestatística realizada, observa-se que os atributos apresentam dependência espacial, evidenciada pela variabilidade dos dados avaliados e ajustes de modelos de semivariogramas. Essa variância indica a presença de padrões espaciais significativos nas variáveis.

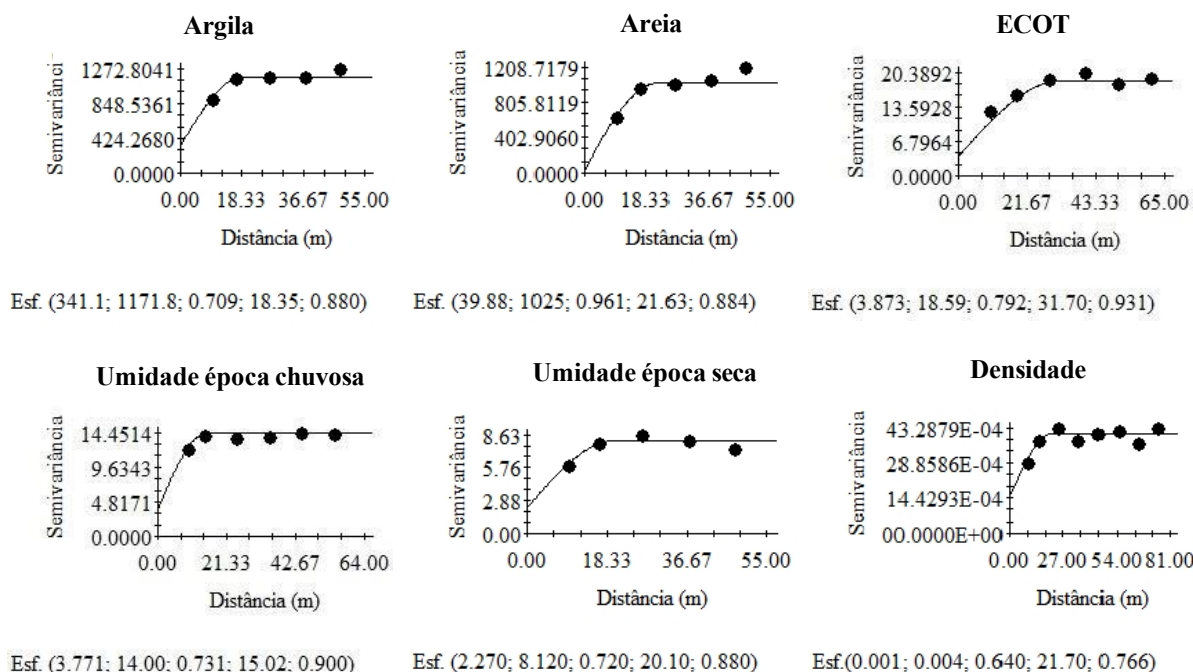


Figura 2. Semivariogramas da área de pastagem, profundidade 0-0, 0-0,10 m. ECOT = estoque de carbono orgânico total. Fonte: o autor (2025).

Os atributos analisados apresentaram bom ajustes ao modelo de semivariograma esférico (Figura 2). Conforme Isaaks e Srivastava (1989), os modelos esféricos são adequados para descrever propriedades com alta continuidade espacial, ou seja, menos erráticas em distâncias curtas. Grego e Vieira (2005) afirmam que os modelos de semivariograma esférico e exponencial são os que mais se ajustam aos dados dos atributos do solo. No trabalho de Araújo et al. (2022), avaliando os impactos na variabilidade espacial da densidade e porosidade do solo em função da transformação de floresta em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia, verificaram que, o modelo esférico melhor se ajustou aos dados, corroborando com este trabalho.

Para a análise do GDE das variáveis em estudo, adotou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), na qual os atributos argila, areia, Ds e ECOT apresentaram dependência espacial forte, enquanto as variáveis umidades nas épocas chuvosa e seca mostraram dependência espacial moderada (Figura 2).

O ECOT apresentou o maior alcance entre as variáveis, com 31,70 metros, indicando que a dependência espacial se estende por uma área mais ampla que o espaçamento adotado na

coleta (10,00 m) para todos os atributos avaliados neste estudo (Figura 2). De acordo com Vieira (2000), o alcance representa a distância máxima na qual os pontos ainda apresentam correlação. Os atributos estudados apresentaram dependência espacial em escalas que variam de 15 a 31 metros. O trabalho realizado por Soares et al. (2015) em área de terra preta arqueológica sob pastagem na região sul do Amazonas, evidenciou dependência espacial forte dos atributos avaliados em, indicando que a distribuição espacial desses atributos não é aleatória, além disso o alcance apresentou valores superiores à grade amostral. Dessa forma, demonstra a adequação do espaçamento utilizado para a caracterização da dependência espacial nestas condições de uso e manejo do solo.

A partir dos mapas de krigagem apresentados na Figura 3, foi possível analisar o comportamento dos atributos do solo e suas correlações com o NDVI (Figura 4). Observou-se que as regiões das áreas de maior Ds também apresentaram maior teor de areia. Nessas regiões, registraram-se os menores valores de NDVI, tanto nas imagens do VANT quanto do Sentinel, nas épocas chuvosa e seca, respectivamente. Além disso, verificou-se uma correlação entre as áreas de maior teor de argila (média de 384,98 g kg⁻¹ de argila, e variando de 310,00 a 450,00 g kg⁻¹), com maiores valores de ECOT e umidade nas duas épocas avaliadas.

A Ds apresentou média de 1,39 g cm⁻³ (Tabela 1) sendo considerada baixa segundo Blaiski et al. (2008), que destaca que valores superiores a 1,5 kg m³ podem restringir significativamente o desenvolvimento radicular das plantas. De acordo com Steinbeiss et al. (2009), solos com menor Ds tendem a apresentar maiores teores de carbono orgânico e maior atividade biológica. A Ds variou espacialmente de 1,24 a 1,84 g cm⁻³, e dessa forma, observou-se correlação espacial entre os maiores valores de NDVI e ECOT, com os menores valores de Ds e teor de areia, evidenciando a influência desses atributos no desenvolvimento da pastagem e, conseqüentemente, na geração de valores mais elevados de NDVI (Figuras 3 e 4).

O ECOT apresentou áreas semelhantes em comparação ao teor de argila e areia, onde regiões com maiores teores de argila e menor teor de areia, apresentaram maiores valores e ECOT, e conseqüentemente, essas zonas apresentaram maiores valores de NDVI. Em seu trabalho Wendling et al. (2012) relata que o COT em área de pastagem apresentou maior teor de carbono em relação a áreas de vegetação nativa e cultivada com pinus. Conforme os mesmos autores, a pastagem apresenta sistema radicular de ciclagem rápida, com concentração de material vegetal nas camadas superficiais, junto com a falta de preparo do solo após a implantação contribui para o estoque de carbono. Ao longo do tempo, esse processo promove melhorias nas propriedades físicas (SALES et al., 2018), químicas (SOUZA et al., 2018) e biológicas (BARBOSA et al., 2018) do solo, favorecendo o vigor da pastagem e

consequentemente gerando maior índice de NDVI.

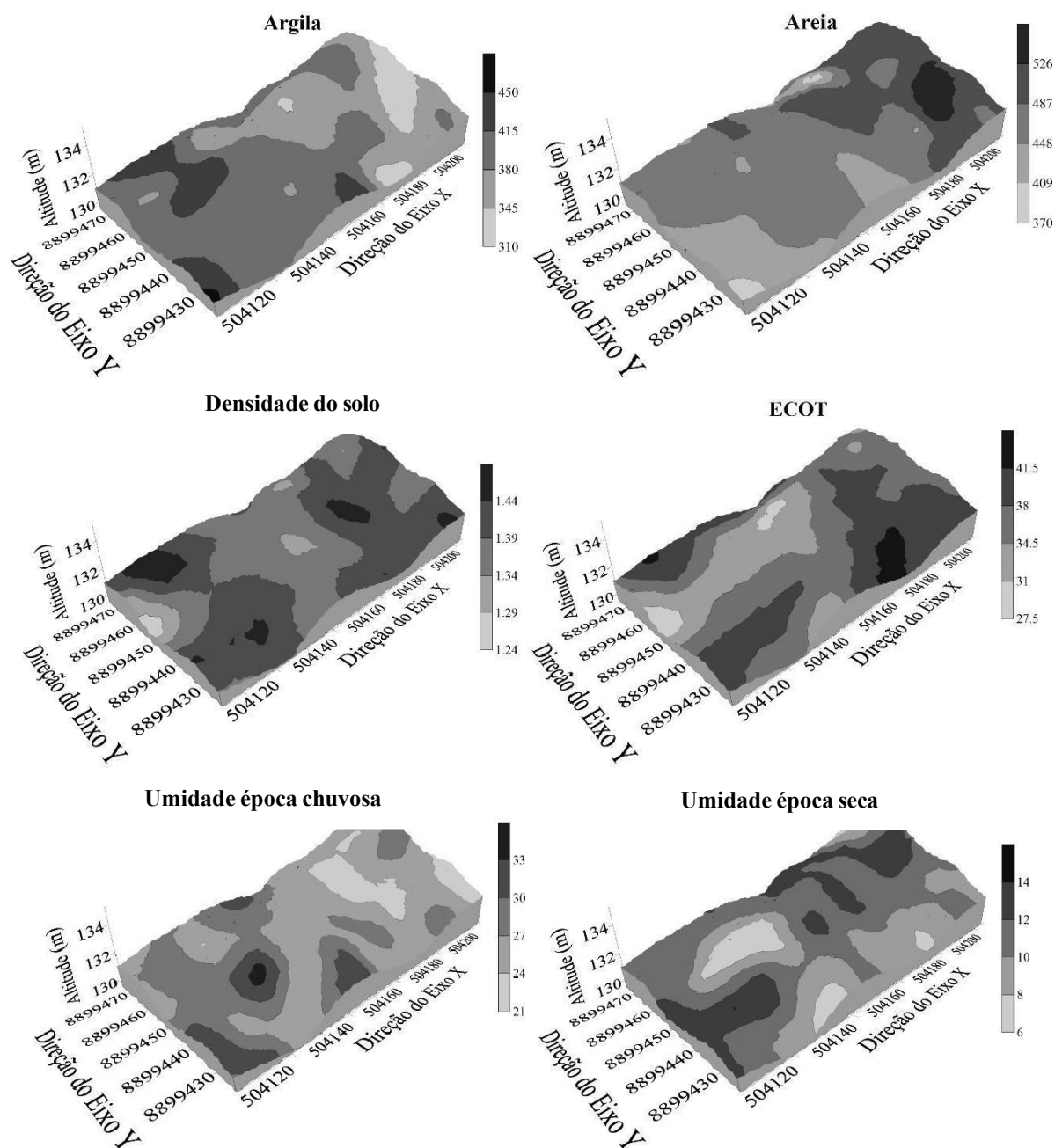


Figura 3. Mapa de krigagem dos atributos areia, argila, ECOT (estoque de carbono total), umidade na época seca e chuvosa da área de pastagem, na profundidade 0-0, 0-10 m. Fonte: o autor (2025).

O NDVI obtido por VANT e pela imagem do satélite Sentinel (Figura 4) apresentaram bom desempenho no monitoramento de pequenas áreas de pastagem, evidenciando zonas com padrões semelhantes. Os valores de NDVI variaram de -0,56 a 0,83 para o VANT e de 0,50 a 0,58 utilizando as imagens do satélite Sentinel na época chuvosa, respectivamente. Na época

seca, os valores de NDVI variaram de -0,58 a 0,82 a para o VANT e de 0,27 a 0,42 utilizando as imagens do satélite Sentinel, respectivamente. Na época seca, apesar de valores de NDVI semelhantes aos da época chuvosa, é possível perceber que, maiores áreas contínuas com valores de NDVI baixos. Além disso, na época seca, os valores de NDVI são mais elevados onde, se observou maiores valores de umidade, ECOT e argila, especialmente nas áreas mais baixas do terreno, evidenciando que, a retenção de água aumentada pelos teores de argila mais elevados, contribuiu para maior atividade fisiológica da cultura.

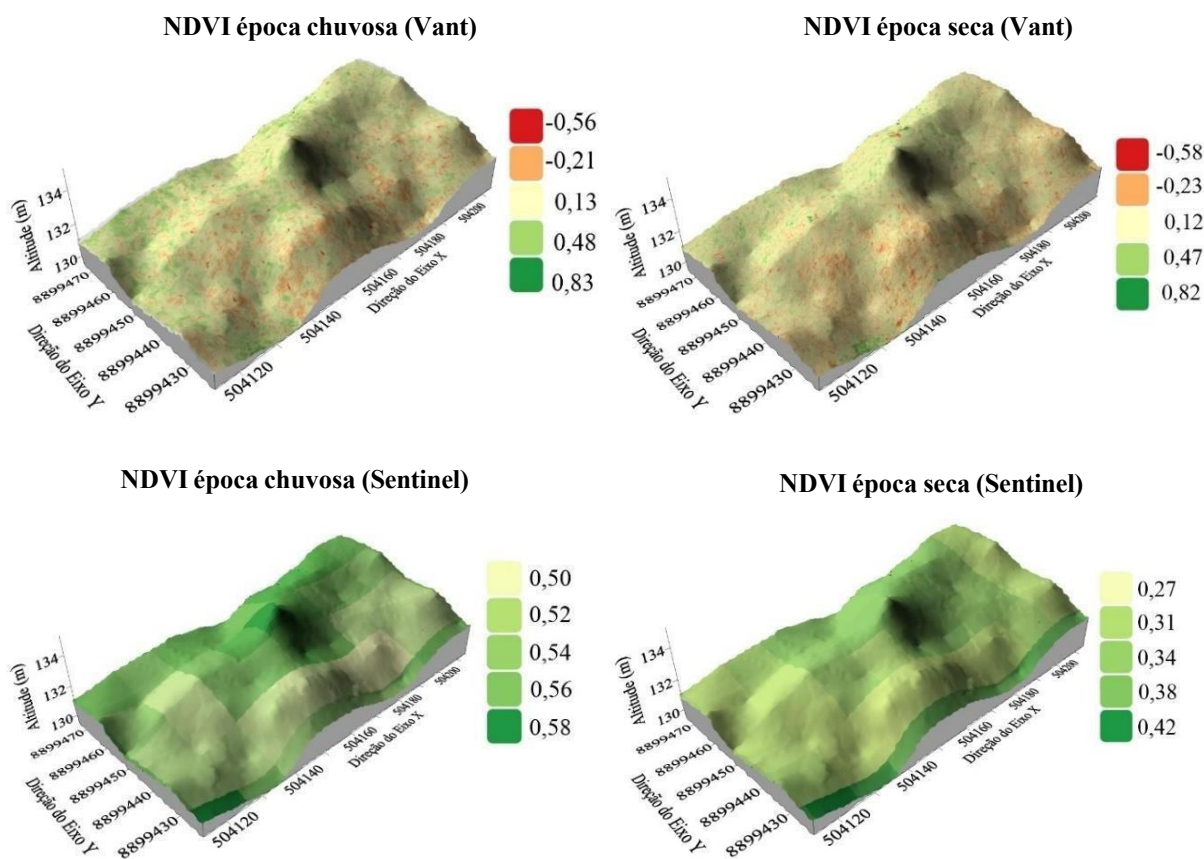


Figura 4. NDVI Vant e Sentinel 2 nos períodos chuvoso e seco respetivamente. Fonte: o autor (2025).

Ambos os sensores demonstraram utilidade na caracterização da vegetação, no entanto, a maior resolução espacial e espectral do VANT proporcionou um nível de detalhamento superior, favorecendo a identificação de variações locais com maior precisão. Por outro lado, o uso de imagens do Sentinel em áreas de pequena extensão apresentou limitações na interpretação das correlações espaciais entre os atributos, devido à generalização dos dados. Dessa forma, ressalta-se a complementaridade entre as ferramentas, com destaque para o VANT

em análises em áreas em pequena escala.

Estudo realizado por Gomes et al. (2021b) com NDVI por meio de imagens de satélite e VANT em videiras, constatou-se que o índice de vegetação obtido por sensores acoplados em VANT resultaram em melhor detalhamento da área estudada, expressando melhores resultados quando comparado as imagens obtidas por satélites a imagens VANTs. Dessa forma as resoluções dos sensores (VANTs) influenciaram nos resultados obtidos, visto que, com alta resolução, informações detalhadas são extraídas. A utilização de VANTs pode proporcionar melhor qualidade dos dados obtidos, por possuir maior controle do processo de aquisição das imagens, desde a altitude e a repetições dos voos, e desse modo, sucedendo em melhor escala espacial e temporal (GOMES et al., 2021b).

Diante disso, evidencia-se o potencial do uso integrado de ferramentas de sensoriamento remoto e análise estatística no mapeamento de atributos do solo e da vegetação. A associação entre essas técnicas permite uma caracterização espacial mais precisa, além de facilitar a identificação de padrões, correlações espaciais entre atributos do solo e da planta e zonas de manejo de áreas agrícolas. Trata-se de ferramentas auxiliares na interpretação dos dados, que contribuem diretamente para a tomada de decisão quanto ao uso e manejo do solo e das pastagens.

CONCLUSÕES

As áreas com maior densidade do solo apresentaram maior teor de areia e, conseqüentemente, menores valores de NDVI.

As regiões com maior ECOT demonstraram correlação com os teores de argila e areia, resultando em valores mais elevados de NDVI.

A época seca apresentou maiores áreas com menor atividade fisiológica da cultura, evidenciadas pelos valores de NDVI mais baixos.

A argila e estoque de carbono influenciaram no comportamento espectral da pastagem, especialmente na época seca, onde os locais com maiores teores de argila e estoque de carbono, resultaram em maior retenção de umidade, e conseqüentemente, maiores valores de NDVI.

O NDVI obtido por VANT destacou-se pelo maior nível de detalhamento das informações da área estudada, proporcionando uma análise mais precisa da variabilidade espacial, enquanto, os dados obtidos por imagem do satélite Sentinel, mostrou-se como uma ferramenta auxiliar na avaliação de pequenas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Exportações brasileiras de carne bovina**. 2025. Disponível em: < <https://abiec.com.br/exportacoes>>. Acesso em: 11 jul. 2025.

AQUINO, R. E. D., CAMPOS, M. C. C., MARQUES JÚNIOR, J., OLIVEIRA, I. A., MANTOVANELI, B. C., & SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.2, p. 397-406, 2014.

ARAÚJO, F. R.; ROSINHA, G. M. S.; BIER, D.; CHIARI, L.; FEIJÓ, G. L. D.; GOMES, R.C. **Segurança do Alimento Carne**. EMBRAPA Gado de Corte. Campo grande, 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/documents/10180/21470602/SegurancaAlimentoCarne.pdf/71de9327-7649-a22d-15ad-ffe18c8772fd>>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ARAUJO, W. O.; ALVARES, A. E. S.; EMERICK, H. F.; CRUZ, S. N.; OLIVEIRA, M. V.; SILVA, C. D. T.; ALMEIDA, W. S.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A. Impactos na variabilidade espacial da densidade e porosidade do solo em função da transformação de floresta em pastagem no Vale do Jamari, Rondônia. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 11, n, 15, p. e284111537170, 2022.

BARBOSA, E. A. A.; MATSURA, E. E.; SANTOS, L. N. S.; NAZÁRIO, A. A.; GONÇALVES, I. Z.; FEITOSA, D. R. C. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 2, p. 137-142, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xkwpc7r67bpPsBxjc7YZzNGH/?lang=en>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

BHATTI, A. U. MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.37, n.3, p.181-191, 1991. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442579190080P>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

BLAISKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. Quantificação de degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.3, p. 975-983, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KwCdrm3zzv5L8t7f5hBthjb/>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/8472?show=full>>. Acesso em: 10 fev. 2025.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE. p. 1-35, 2001. Disponível em: <<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2025.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. Disponível em: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

CARVALHO, R. L. S.; NASCIMENTO, B. I. S.; QUERINO, C. A. S.; SILVA, M. J. G.; DELGADO, A. R. S. Comportamento das séries temporais de temperatura do ar, umidade e precipitação

pluviométrica no município de Ariquemes (Rondônia-Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, n. 12, 2016. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/43228>>. Acesso em: 14 fev. 2025.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. John Wiley, 920p. 1991.

DAL COLLETO, L. C.; OLIVEIRA, J. E. S., BARROSO, P. A. V. Estimativa do NDVI utilizando imagens do Sentinel-2 e do SIG SNAP para avaliação de estádios de degradação de pastagens em Alcinópolis-MS. In: Congresso interinstitucional de iniciação científica, 14. **Anais [...]**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1126290>>. Acesso em: 15 fev.2025.

GOLDEN SOFTWARE INC. **SURFER for Windows: realese 7.0: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide**. New York.1999.

GOMES, A., QUEIROZ, D. M. D., VALENTE, D. S., PINTO, F. D. A. D. C., ROSAS, J. T. Comparing a single-sensor camera with a multisensor camera for monitoring coffee crop using Unmanned Aerial Vehicles. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. 41, n.1, p. 87-97, 2021a. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/JL7zQzY3mRXdBvxv4YMWLMd/?lang=en#ModalHowcite>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

GOMES, M. D. A.; ROMÁN, R. M. S.; TORRES-RUA, A. ÁLVIS, E. S.; MCKEE, M. Comparação do NDVI obtido por meio de drone e satélite nas fases fenológicas da videira. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 3, p.605-619,2021b. Disponível em: <<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4460>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

GREGO, C.R., VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v., 29, n.2, p.169-177. 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/tKgsKVT4V4kJd3LJVzZVJvk/>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

IBGE – DESCREVER POR EXTENSO. Sistema de recuperação automática – SIDRA. Pesquisa da Pecuária Municipal 202. **Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho**. 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>>. Acesso em: 10 de jul. 2025.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. p. 908.

LÓPEZ, G. F.; JURADO, E. M.; PEÑA, B. J. M.; GARCÍA, T. L. Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. **European Journal of Agronomy**, Córdoba, v. 23, n. 3, p. 279-289, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030104001340>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MAPBIOMAS – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. **Evolução da pastagem nos últimos 36 anos**. Coleção 6. 2021. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_PASTAGEM_13.10.2021_ok_ALTA.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Virginia, v.58, n.8, p. 1246-1266, 1963.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLACO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos. p.238, 2015.

NOVO, E.; M.; L.; M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4º ed. São Paulo: Blucher. p. 388, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 126 p.

ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998, 152 p.

ROUSE J. W.; HAAS R. H.; SCHELL J. A.; DEERING D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Remote Sensing Center**, Bizzell Street, n. 74, p.309-317, 1974. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2025.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2018. Disponível em: <<https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1989>>. Acesso em: 10 mar. 2025

SAMPAIO, H. S., BOURSCHEIDT, V., SARRACINI, L. H., JORGE, L. D. C., BETTIOL, G. M., BERNARDI, A. D. C. Comparação entre Índices de Vegetação obtidos por imagens aéreas com Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) e Satélite. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**. São Paulo, 14, n. 2, p. 111-124, 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1138685/comparacao-entre-indices-de-vegetacao-obtidos-por-imagens-aereas-com-veiculo-aereo-nao-tripulado-vant-e-satelite>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SANCHES, I.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F.; RODRIGUES, C. A. G. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais**. São José dos Campos, SP. INPE, 2005. p 7564-7571. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/902348/analise-comparativa-de-tres-metodos-de-correcao-atmosferica-de-imagens-landsat-5---tm-para-obtencao-de-reflectancia-de-superficie-e-ndvi>>. Acesso em: 11 fev. 2025.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2017. 356p.

SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SANTOS, L. A. C.; SOARES, M. D. R.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área sob pastagem na região Amazônica, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 1, n.2, p. 119–126, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10155>. Acesso em: 19 mai. 2025.

SILVA JUNIOR, U. J.; GONÇALVES, R. M., OLIVEIRA, L. M. M., SILVA JUNIOR, J. A. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II–PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Viçosa, v.73, n. 1, p. 17–35, 2021. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/55252>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES, N. D. N.; SILVA, J. E. C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 41–53, 2012. Disponível em:

<<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/12587>>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M.; BRITO, W. B. M.; FRANCISCON, U.; CASTIONI, G. A. F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias**. São Carlos, v. 58, n. 4, p. 434-441. 2015.

SOUZA, G. F.; GUTIERREZ, L. A. R.; BARBASSA, A. P.; PEREIRA, L. E.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; JÚNIOR, J. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Uso de Diferentes Sensores de Satélite na Discriminação de Alvos Naturais. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 39, n.1, p. 13-22. 2016. Disponível em: <<https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/8473>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SOUZA, L. C.; FERNANDES, C.; MOITINHO, M. R.; BICALHO, E. S.; LA SCALA JR, N. Soil carbon dioxide emission associated with soil porosity after sugarcane field reform. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Zurique, v.24, n.12, p. 1-15, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/179813>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

SOUZA, L. D. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo**. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 17. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=655508&biblioteca=vazio&busca=655508&qFacets=655508&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 18 mai. 2025.

SOUZA, Z. M.; MARQUES J. J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n.1, p. 48-56, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/nGCpYQQ57R8JQyv8s6spYw/?lang=pt#>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdã, v. 41, n., p.1301-1310, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071709001242>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

TEIXEIRA, P. C. TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, p. 573, 2017. Disponível em: Acesso em: 20 jan. 2025.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.38, n.1, p.54-94, 1985.

VALERIANO, M. M. PADRO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 997-1005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rF79YDCqmTP7tH7LJ3dMK3h/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 10 fev. 2025.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. p.319-344. Disponível em: <<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2159365>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

WENDLING, B.; VINHA-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. de; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 28, p.256- 265, 2012. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13277>>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ZANZARINI, F.; PISSARRA T. C. T.; BRANDÃO, F.J.C.; TEIXEIRA D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.6, p.608–614, 2013. Disponível em: Acesso em: 20 fev. 2025.