

Campus Ariquemes
Coordenação do Curso Bacharelado em Agronomia

THIAGO SENA DE OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO, ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS E
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EM ÁREAS DE CULTIVOS DISTINTOS, NO VALE DO
JAMARI, EM RONDÔNIA**

THIAGO SENA DE OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO, ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS E
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EM ÁREAS DE CULTIVOS DISTINTOS, NO VALE DO
JAMARI, EM RONDÔNIA**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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.

ARIQUEMES - RO

2026

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

Oliveira, Thiago Sena de.

Resistência do solo à penetração, atributos físicos de solos e índice de vegetação em áreas de cultivos distintos, no Vale do Jamari, em Rondônia / Thiago Sena de Oliveira. - Ariquemes, 2026.
28 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia IFRO, Ariquemes, 2026.

1. Densidade do solo. 2. Estabilidade de agregados. 3. Manejo físico do solo. 4. Compactação do solo. 5. Índice de vegetação por diferença normalizada. I. Oliveira, Ivanildo Amorim de (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

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

THIAGO SENA DE OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO, ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS E
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EM ÁREAS DE CULTIVOS DISTINTOS, NO VALE DO
JAMARI, EM RONDÔNIA**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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.

Aprovado em: 30 / 06 / 2026 pela banca examinadora.

Membro da Banca

Membro da Banca

Orientador

AGRADECIMENTOS

À minha família, por me prestar apoio nessa longa jornada de 5 anos cursando Agronomia; ao meu orientador e Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira; ao Grupo de Pesquisa: Solos e Água em Ambientes Amazônicos;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -*Campus* Ariquemes (IFRO), por disponibilizar o espaço para que o trabalho fosse realizado, e à Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação (PROPESP-IFRO), por disponibilizar bolsas de iniciação científica, ao qual parte deste trabalho estava vinculado.

RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO, ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO EM ÁREAS DE CULTIVOS DISTINTOS, NO VALE DO JAMARI, EM RONDÔNIA

RESUMO: Os solos altamente intemperizados apresentam características favoráveis ao desenvolvimento radicular das plantas, o que pode ser alterado devido ao manejo. Na região do Vale do Jamari, RO, os solos são inférteis e, em muitos casos, acidificados. Nesta região, a pecuária é um dos pilares na economia, tendo a pastagem como base na alimentação. Pela ausência de manejo correto, essas pastagens estão apresentando sinais e níveis de degradação. Disposto a descobrir a causa da degradação destas pastagens e, além disso, analisar e relacionar o uso de pastagem em consórcio com culturas perenes, como o uso de goiabeiras, este trabalho analisou os atributos físicos e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em áreas de cultivos de goiaba em consórcio com pastagem e área sob pastagem, no Vale do Jamari, em Rondônia. Foram realizadas coletas com anéis volumétricos para a determinação da densidade do solo (Ds), macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), e amostras deformadas para a determinação da textura do solo, bem como a coleta de amostra indeformada na forma de torrão para determinar a estabilidade de agregados (diâmetro médio ponderado – DMP), em 35 pontos da pastagem e em 50 pontos da área de goiaba, com espaçamentos equidistantes de 45 m e 15 m respectivamente. A resistência do solo à penetração foi estimada em campo através do uso de um penetrômetro de impacto. Para a análise, utilizou-se a geoestatística para a confecção de semivariogramas de mapas de Krigagem, levando em consideração duas profundidades coletadas (0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m). O NDVI foi obtido a partir de imagens de sensores multiespectrais adquiridas por drone. Concluiu-se que os manejos empregados nas áreas, principalmente na área de goiaba em consórcio com a pastagem, contribuíram para degradar os solos e diminuir a produção das culturas. Os índices de vegetação apresentaram forte relação com os atributos físicos do solo, sendo mais evidente na área de pastagem, porém, na área de pastagem em consórcio com goiabeira, as relações espaciais entre o NDVI não foram tão claras, sendo o NDVI mais relacionados a densidade do extrato arbóreo da goiabeira.

Palavras-chave: densidade do solo; estabilidade de agregados; manejo físico do solo; compactação do solo; índice de vegetação por diferença normalizada.

SOIL RESISTANCE TO PENETRATION, PHYSICAL ATTRIBUTES AND VEGETATION INDEX IN AREAS WITH DIFFERENT CROPS, IN THE JAMARI VALLEY, RONDONIA

ABSTRACT: Highly weathered soils have characteristics favorable to plant root development, which can be altered due to management. In the Jamari Valley region, RO, the soils are infertile and, in many cases, rough. In this region, livestock farming is one of the pillars of the economy, with pasture as the basis for food. Due to the lack of correct management, these pastures are showing signs and levels of degradation. Willing to discover the cause of the degradation of these pastures and, in addition, analyze and relate the use of pasture in consortium with perennial crops, such as the use of guava trees, this work analyzed the physical attributes and the normalized difference vegetation index (NDVI) in guava crop areas in consortium with pasture and

area under pasture, in the Jamari Valley, in Rondônia. Collections were carried out with volumetric rings to determine soil density (Ds), macroporosity, microporosity and total porosity (PT), and deformed samples to determine soil texture, as well as the collection of undeformed samples in the form of clods to determine the stability of aggregates (weighted average diameter – DMP), at 35 points in the pasture and at 50 points in the guava area, with equidistant spacings of 45 m and 15 m respectively. Soil penetration resistance was estimated in the field using an impact penetrometer. For the analysis, geostatistics was used to create semivariograms of Kriging maps, taking into account two collected depths (0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m). NDVI was obtained from multispectral sensor images acquired by drone. It was concluded that the managements employed in the areas, especially in the guava area in consortium with pasture, contributed to degrade the soils and decrease crop production. The vegetation indices showed a strong relationship with the physical attributes of the soil, being more evident in the pasture area, however, in the pasture area in consortium with guava, the spatial relationships between the NDVI were not so clear, with the NDVI being more related to the density of the arborio extract of guava.

Keywords: Soil density; aggregate stability; physical soil management; soil compaction; normalized difference vegetation index.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 METODOLOGIA	10
2.1 Caracterização da área da pesquisa	10
2.2 Metodologia de campo	11
2.3 Análise física laboratorial.....	13
2.4 Análises estatísticas descritivas e geoestatísticas	13
2.5 Processamento de imagens e cálculo do índice de vegetação	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
3.1 Estatística descritiva dos dados.....	16
3.2 Caracterização da variabilidade espacial	20
3.3 Relações espaciais: mapas de krigagem e NDVI	23
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

Rondônia mostrou-se como um importante estado em questão econômica e geográfica para o país, sendo um estado dividido em 4 territórios, dentre esses o Vale do Jamari apresenta uma vasta área de ocupação agrícola e ambiental (MDA, 2014). A região é encoberta com a Floresta Amazônica, que possui características marcantes, como suas árvores de porte grande, e uma extensão territorial total de 4,1 milhões de km², tendo como solos predominante os Latossolos, caracterizados por serem profundos, de baixa fertilidade natural e argilosos (Veríssimo; Pereira, 2014). O Vale do Jamari, segundo a Embrapa (2021), tem como eixo principal para sua economia a agricultura e a pecuária, a qual tem enfoque no uso de pastagem. Outra característica importante a ser considerada em Rondônia foi seu clima, o qual, pela classificação de Köppen Geiger, se trata de um clima tropical quente e úmido, tendo uma média de chuvas de 1.400 a 2.600 mm anualmente. A temperatura média é de 30°C, com umidade relativa do ar média em 80% (SEDAM, 2025).

No estado de Rondônia, a pastagem foi de importância inexorável para o desenvolvimento da pecuária. O aumento de áreas de pastagem permitiu que, em 2021, o valor bruto da produção agropecuária chegasse a R\$ 19,1 bilhões, resultando em uma crescente de 12,9% a mais que o ano anterior. Desse montante de R\$ 19,1 bilhões, a bovinocultura foi responsável por 57,4% (Embrapa, 2021). Foi nesse contexto que entrou a preocupação com o bom manejo da pastagem, porque um dos grandes desafios para a bovinocultura que atenta os produtores está relacionado à diminuição da produção e capacidade suporte das pastagens (Dias-Filho, 2017).

A diminuição de produtividade da pastagem (degradação) pode ser dividida em quatro estádios: estágio 1, no qual a pastagem ainda apresenta certo vigor, porém é possível ver pontos de solo exposto na área; estágio 2, possui uma pastagem de menor vigor e com a presença de plantas invasoras; estágio 3, apresenta morte das forrageiras; estágio nível 4, contém muitos pontos de solo exposto e com a presença de erosões (Dias-Filho, 2017). Essa degradação só aumenta de nível, devido ao manejo incorreto ou ausência do mesmo, dentro do manejo inadequado das áreas de pastagem é possível destacar a presença de queimadas e o superpastejo (Marchão *et al.*, 2009; Fonseca *et al.*, 2018). O solo mal-conservado resulta negativamente na produção da pastagem, pois interfere diretamente nos atributos do solo, como aumento da compactação do mesmo, além de que seus atributos, devido ao manejo inadequado, podem afetar o desenvolvimento radicular das culturas, o que reduz a

produção (Braga *et al.*, 2024).

Além da pastagem, outra cultura que precisa de atenção é a da goiabeira, uma vez que a produção rondoniense se encontra muito baixa em relação à produção brasileira. O estado de Rondônia teve apenas 867 toneladas de produção em uma área total de 87 hectares. A média brasileira foi de 24,24 toneladas de goiaba por hectare, enquanto Rondônia teve uma média de apenas 9,97 toneladas por hectare, nota-se que a produção estadual representou cerca de 0,16% da produção nacional (IBGE, 2024). A causa de tal diferença na produção entre a média estadual e a nacional é a ausência de interesse e de manejos agrícola dos solos, nas áreas de produção da cultura, resultando em solos compactados, com baixa agregação e estrutura instável, o que pode estar impactando no rendimento produtivo da cultura.

Além da compactação, outros atributos físicos podem estar relacionados à produtividade das culturas agrícolas, como a porosidade do solo (microporosidade, macroporosidade e porosidade total), RSP e a agregação do solo, a qual pode ser analisada através do diâmetro médio ponderado (DMP), que está ligado à quantidade de agregados grandes (Bocuti *et al.*, 2019; Freitas *et al.*, 2021; Sousa *et al.*, 2022).

No contexto de diminuição da produtividade das culturas e degradação do solo é que surgem ferramentas tecnológicas e estatísticas, como a geoestatística, que ajuda a entender os atributos do solo e a determinar o melhor manejo a ser seguido. A geoestatística é uma ferramenta utilizada para estimar valores para atributos do solo, interpolando valores intermediários entre os pontos de coletas, gerando mapas 3D (latitude, longitude e altitude), mostrando locais dentro de uma área que possuem maior ou menor concentração dos atributos do solo, como é proposto por Krige (1951).

Outra ferramenta utilizada para verificar o desempenho das culturas e relacionar aos atributos físicos do solo, são os índices de vegetação, como o índice por diferença normalizada (NDVI), que são os mapas de índices espectrais (reflectância) da vegetação, que permitem a visualização espacial das propriedades fotossintéticas das culturas. O NDVI utiliza o infravermelho próximo e o vermelho, e representa objetos inanimados (-1 a 0), como solo exposto, rochas ou plantas mortas, plantas doentes (0 a 0,33), plantas com algum estresse (0,33 a 0,66) e, por fim, plantas saudáveis (0,66 a 1,00) (Boratto; Gomide, 2013).

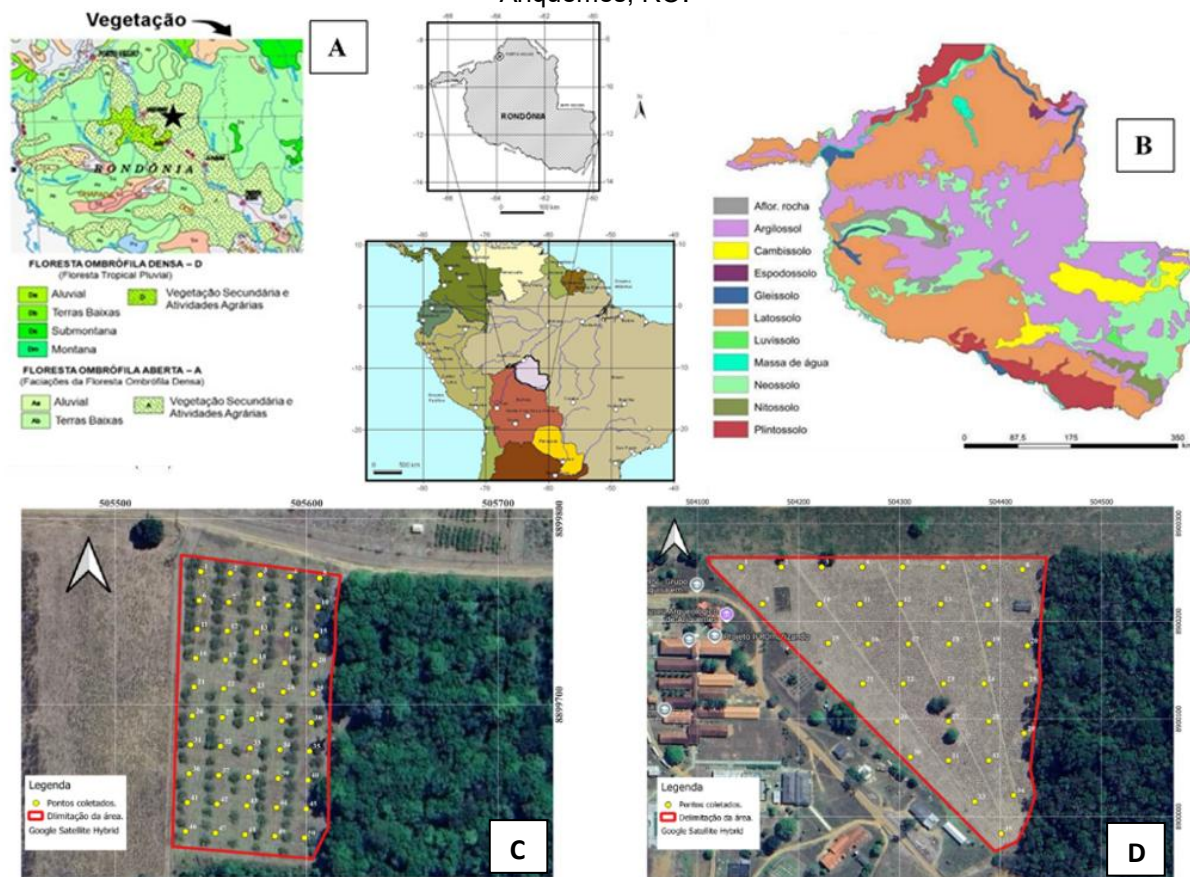
Diante do exposto, o presente trabalho analisou a resistência do solo à penetração, atributos físicos e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em áreas de cultivos distintos, no Vale do Jamari, em Rondônia.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área da pesquisa

A pesquisa foi realizada em área de pastagem e goiabeira em consórcio com pastagem, nas áreas experimentais do Instituto Federal de Rondônia – *Campus Ariquemes*, o qual se localiza nas seguintes coordenadas geográficas: 9°57'08.9"S e 62°57'26.6"W, com uma altitude média de 135 m (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área da pesquisa e coleta das amostras com a malha amostral, em Ariquemes, RO.



Legenda: A – Vegetação de Rondônia; B – Solos que compõem Rondônia; C – Localização do estado; D) Área de plantio de goiaba; E) Pastagem. **Fonte:** Adaptado de Quadros e Rizotto (2007); Cessa *et al.*, 2021); o autor (2026).

A região apresenta variados relevos, desde formas de colinas, interflúvios relevos variados e tabulares e cristas, também com formas pediplanadas, no qual destacam-se relevos residuais no tipo *inselberg* (Brasil, 1978). Quanto à vegetação local (Figura 1A), é caracterizada por possui uma densa vegetação, com a presença de árvores de porte grande (25 a 35 m de altura), sendo uma floresta tropical. Referente à geologia local, segundo Brasil (1978), é caracterizada por possuir a presença de granulitos, granitos, migmatitos, adamelitos e granodioritos. Correlacionado à geologia, Pereira (2024) cita que o solo predominante da região é o

Latossolo (Figura 1B), mais especificamente o Latossolo Vermelho-Amarelo na região de Ariquemes.

Segundo Dantas e Adamy (2010), o estado de Rondônia, com ênfase na geografia física, caracteriza-se por possuir um extenso domínio de terrenos de cotas modestas, em grande parte formados por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares de diversas idades, o que é resultado de longos tempos de aplainamento generalizado do relevo local. Os autores, ainda, ressaltam que há um conjunto expressivo de terrenos dissecados em relevos residuais, os quais são modelados sob o embasamento ígneo-metamórfico de idade paleoproterozoica a Mesoproterozoica, e planaltos elevados em coberturas sedimentares plataformais de idade mesoproterozoica a cretácica. São esses materiais que formaram os solos do estado e da cidade de Ariquemes, em especial os Latossolos.

As áreas de estudo incluem uma área de pastagem e de goiaba em consórcio com pastagem (sistema de integração lavoura pecuária - ILP). A área de pastagem, era uma pastagem degradada e passou por um processo de recuperação no ano de 2020. Inicialmente, foi realizado o plantio de milho para produção de silagem. Após a colheita, o solo foi preparado com aração e gradagem, além da aplicação de calcário e adubação conforme necessidades nutricionais para cultivo do capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça). Desde então, não houve novo revolvimento do solo, sendo feito apenas o manejo dos animais na área. No momento da coleta, a pastagem estava em uso contínuo há cerca de cinco anos.

A área cultivada com goiaba (*Psidium guajava* L), e o plantio possui espaçamento de 7 x 7 m (fora do recomendado, pois foi realizado para facilitar o acesso de implementos agrícolas entre todas as linhas de plantio). Até o ano de 2020 foram realizadas adubação, calagem e poda de produção. Já nos anos de 2021, 2022, 2023, 2024 e 2025 foram executadas somente as práticas culturais como, poda de produção e a roçagem das gramíneas plantadas nas entrelinhas, sendo essa uma atividade frequentemente realizada, além do pastoreio com bovinos, de forma recorrente. A colheita é realizada com auxílio de trator agrícola e carretinha de arraste, para retirada dos frutos. Está em cultivo efetivo há mais de 16 anos.

2.2 Metodologia de campo

A pesquisa foi realizada em duas áreas, com diferentes malhas amostrais e quantidades de pontos. A pastagem, com aproximadamente 5,5 ha⁻¹, foi estabelecida

uma malha amostral e coletado amostras deformadas e indeformadas com espaçamento regulares de 45 metros, totalizando de 35 pontos de amostragem (Figura 1C). Já na área de goiaba, com aproximadamente $1,23 \text{ ha}^{-1}$, foi estabelecida uma malha amostral de 75 m x 150 m com espaçamentos de coleta de amostras de solos regulares de 15 m, totalizando 50 pontos amostrais (Figura 1D). Essa diferença entre os espaçamentos de coleta se deve ao fato de que já tinham sido obtidos resultados referentes aos alcances dos atributos em outras áreas de pastagem com a mesma classe de solos, sendo esses resultados utilizados na estimativa de espaçamentos maiores para a área de pastagem (45 m). Para a área de goiaba, por não se ter conhecimento da variabilidade espacial, foi utilizado um espaçamento mais adensado, com intuito de verificar e caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo estudado.

Posterior à confecção das malhas, os pontos amostrados foram georreferenciados pelo GPS Garmin Etrex (Datum Sirgas_2000). Para a coleta, usou-se o aplicativo Avenza Maps, para máxima precisão da localização dos pontos dentro das áreas. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas usando anéis volumétricos e torrão em duas profundidades de 0,0-0,10 m e de 0,10-0,20, visando determinar a textura, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, densidade do solo (Ds) e o diâmetro médio ponderado (DMP).

Para a determinação da RSP, foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com ângulo de cone de 30° . A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida segundo Stolf (1991), em duas profundidades, respectivamente de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, aplicando a Equação 1:

$$\text{RSP} = \{5,6 + 6,89 [N/(P-A)) 10]\} 0,0981 \quad (1)$$

onde:

RSP - resistência do solo à penetração, kgf cm^{-2} ($\text{kgf cm}^{-2} \times 0,098 = \text{MPa}$); N – número de impactos por camada avaliada; P – profundidade inicial (na camada avaliada); A – profundidade final (na camada avaliada).

2.3 Análise física laboratorial

Nas amostras deformadas de solo coletadas, foram realizadas a análise granulométrica pelo método da pipeta, utilizando dispersão química com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação mecânica lenta por 16 hora a 50 rotações por minuto, para caracterização da textura do solo (Teixeira *et al.*, 2017). Nas amostras indeformadas, coletadas na forma de anel volumétrico, foram determinados a densidade do solo (Ds), sendo a macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) determinadas pelo método da mesa de tensão, seguindo a os procedimentos descritos por Teixeira *et al.* (2017).

As amostras de solos coletadas na forma de torrão foram secas à sombra, destorroadas manualmente e passadas por um conjunto de peneiras com diâmetros de malha de 8,00 e 4,00 mm. O material retido na peneira de 4,00 mm foi utilizado para analisar a diâmetro médio ponderado (DMP), por via úmida sendo submetidos ao contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm por 15 minutos e com 32 oscilações por minuto, em um aparelho Yoder (SOLOTEST) em agitação vertical, utilizando o método de Kemper e Chepil (1965), com adaptações nas seguintes classes de diâmetro das peneiras: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm. O material retido em cada peneira foi colocado em estufa a 105°C por 24 horas, em seguida foram mensuradas as respectivas massas em uma balança digital de precisão, para determinação do diâmetro médio ponderado (DMP).

2.4 Análises estatísticas descritivas e geoestatísticas

Foi realizada análise exploratória dos atributos do solo, calculando-se média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose, desvio padrão, variância e teste de normalidade. Quanto ao cálculo do coeficiente de variação (CV), a metodologia utilizada foi 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 KolmogorovSmirnov, a 5% de probabilidade.

O seguinte passo foi a definição do modelo teórico do semivariograma, que sob teoria da hipótese intrínseca, descrito por Isaaks e Srivastava (1989), o semivariograma experimental foi estimado pela equação:

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

Onde: $\gamma(h)$ -valor da semivariância para o vetor h ; 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 $\gamma(h)$ 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 representa 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 à distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (Vieira *et al.*, 2000; Trangmar *et al.*, 1985).

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, foi utilizado o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (Robertson, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, foi considerado o melhor R^2 (coeficiente de determinação) e coeficientes da validação cruzada (VC) (dados de VC não apresentados neste trabalho). Na análise do grau de dependência espacial ($GDE = [(C_1/(C_0+C_1))*100]$) das variáveis utilizou-se a classificação de Zimback (2001), onde valores de $GDE < 25\%$, 25 e 75% e $> 75\%$ são considerados dependência espacial fraca, moderada e forte, respectivamente.

Com o semivariograma de cada atributo de sua respectiva profundidade e área, através do método de Krigagem (Krige, 1951), foi realizada a interpolação para, após isso, ser realizada a confecção dos mapas, chamado de isolinhas, para também ajustar os semivariogramas dos valores de atributos físicos da área de goiaba e pastagem. 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). A construção dos mapas espaciais ou mapas de isolinhas serviram de base para visualização das relações espaciais entre os atributos e entre o índice de vegetação e os atributos dos solos das áreas estudadas.

2.5 Processamento de imagens e cálculo do índice de vegetação

Os dados de reflectância do dossel da pastagem foram coletadas utilizando um sensor multiespectral que opera em quatro bandas multi-espectrais (verde: 550nm+/- 40nm; Vermelho 660+/- 40nm; Borda Vermelho (rededge): 735nm+/-10nm e

infravermelho Próximo: 790nm+/-40nm)), acoplado ao drone DJI Mavic 3 Multi-espectral. A leitura da radiação foi realizada (abril de 2025 para a área de pastagem e abril de 2024 para a área de goiaba) com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do índice de vegetação da pastagem e goiaba.

As imagens foram obtidas a aproximadamente 120 m de altura, com o sensor posicionado perpendicularmente ao dossel das plantas. Foi utilizado um sistema de posicionamento global (GPS) para obter as coordenadas geográficas de cada medição de reflectância. A partir das medidas foi calculado o índice de vegetação (IV) (parâmetros biofísicos) descritos na equação 3.

$$NDVI = (Nir760 - Vis670)/(Nir760 + Vis670) \quad (3)$$

Onde: NDVI = Normalized difference vegetation index ou Índice de diferença de vegetação normalizado, relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico (Rouse *et al.*, 1973); Nir760 e Vis670 são as refletâncias das bandas nos comprimentos de luz de 760 e 670 nm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estatística descritiva dos dados

As variáveis da estatística descritiva das duas áreas estudadas (pastagem e goiaba) estão apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2. A avaliação dos atributos solos pela estatística descritiva, possibilita identificar previamente, a variabilidade dos dados. Em seu trabalho, Guimarães (2013) cita que a estatística descritiva é de suma importância no mapeamento da variabilidade espacial dos atributos físicos de qualquer área estudada e destaca que esta técnica permite fazer uma análise quanto à dependência espacial dos atributos ao longo da área.

Tabela 1. Atributos físicos do solo sob área de pastagem, nas profundidades de 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, no Vale do Jamari, RO.

Estatísticas	Areia	Argila	Ds	Macro	Micro	PT	DMP	RSP
	g kg ⁻¹		g cm ⁻³		%		mm	Mpa
----- 0,0-0,10 m -----								
Média	192,50	581,16	1,34	13	36,44	49,44	5,09	3,91
Mediana	192,00	582,15	1,33	12,83	36,88	49,94	5,24	3,93
Mínimo	109,25	454,00	1,26	7,29	31,15	42,59	3,89	1,9
Máximo	277,00	749,25	1,48	23,22	40,45	56,85	5,76	5,96
DP	44,78	69,36	0,05	3,5	2,17	2,67	0,44	1,04
CV (%)	23,00	12,00	3,76	26,95	5,97	5,4	8,65	26,69
Var.	2005,21	4810,59	0,00	12,28	4,73	7,13	0,19	1,09
Curtose	-1,05	-0,21	0,19	0,52	-0,5	1,64	0,96	-0,52
Ass.	0,01	0,33	0,52	0,62	-0,28	0,23	-1,21	0,36
d	0,11*	0,09 ^{NS}	0,21*	0,24*	0,59*	0,28*	0,18*	0,02 ^{NS}
----- 0,10-0,20 m -----								
Média	157,29	625,81	1,35	12,3	36,29	48,59	5,22	4,49
Mediana	166,00	621,10	1,35	11,75	36,69	48,6	5,44	4,6
Mínimo	31,50	532,10	1,21	6,94	31,17	39,87	2,62	2,58
Máximo	240,50	725,00	1,44	20,51	41,03	56,29	5,83	7,31
DP	43,13	52,94	0,05	3,7	2,52	3,02	0,7	1,07
CV (%)	27,00	8,00	3,9	30,11	6,95	6,22	14,53	23,81
Var.	1860,37	2802,34	0	13,71	6,37	9,14	0,58	1,14
Curtose	0,77	-1,04	0,41	-0,33	-0,27	1,5	4,8282	0,27
Ass.	-0,58	0,03	-0,73	0,68	-0,44	-0,14	-2,28	0,26
d	0,10 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,11*	0,03 ^{NS}	0,20*	0,55*	0,29*	0,13*

Var.: variância; DP: desvio-padrão; CV.: coeficiente de variação; Ass.: assimetria; d: teste de normalidade; NS e *: não significativo e significativo pelo teste de normalidade, respectivamente. Ds: densidade do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; RSP: Resistência do Solo à Penetração. **Fonte:** O autor (2025).

A média e mediana apresentaram valores aproximados, significando que os dados foram, ao máximo possível, simétricos. As áreas apresentaram textura argilosa, com argila variando de 581,16 g kg⁻¹ (0,0-0,10 m) a 625,81 g kg⁻¹ (0,10-0,20 m) em média na pastagem (Tabela 1), e de 484,35 g kg⁻¹ (0,0-0,10 m) a 492,11g kg⁻¹ (0,10-0,20 m) em média na área com goiabeira em consórcio com pastagem (Tabela 2). A

Ds, RSP e o DMP apresentaram valores elevados, com maiores valores na área de goiaba em consórcio com pastagem, o que pode ser explicado devido ao pisoteio animal e da falta de práticas de controle da compactação na área, e além disso, a área de pastagem passou por práticas de manejo do solo, como aração e gradagem, o que pode ter contribuído para os menores valores destes atributos. Práticas de manejo como o pastejo animal e o tráfego de máquinas podem influenciar os valores de Ds, corroborando com resultados de Araújo *et al.* (2022), que ao avaliarem atributos físicos do solo em áreas de floresta nativa e pastagem no Vale do Jamari, Rondônia, verificaram que a área de pastagem apresentou maiores valores de Ds em comparação à floresta nativa, com aumento da Ds em profundidade, evidenciando alterações nas propriedades físicas do solo decorrentes do uso e manejo da área, principalmente em razão do pisoteio animal.

Tabela 2. Atributos físicos do solo sob produção de goiaba em consórcio com pastagem, nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, no Vale do Jamari, RO.

Estatísticas	Areia	Argila	Ds	Macro	Micro	PT	DMP	RSP
	----- g kg ⁻¹ -----		g cm ⁻³	----- % -----			mm	Mpa
-----0,0-0,10 m -----								
Média	328,52	484,35	1,35	10,80	38,00	48,81	5,71	8,20
Mediana	348,87	482,10	1,38	9,97	38,18	48,43	5,79	7,98
Mínimo	175,82	303,80	1,06	4,37	12,44	30,69	5,04	0,55
Máximo	498,54	644,00	1,53	28,81	44,79	60,07	5,96	14,74
DP	67,17	68,17	0,10	4,28	4,52	4,33	0,24	3,41
CV (%)	20,45	14,07	7,20	39,66	11,90	8,88	4,18	41,58
Var.	4512,24	4646,81	0,01	18,35	20,46	18,78	0,06	11,63
Curtose	-0,10	0,51	0,53	5,72	20,88	5,91	1,39	-0,51
Ass.	-0,36	-0,08	-0,78	1,99	-3,79	-0,92	-1,46	0,16
d	0,14*	0,08 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,16*	0,31*
-----0,10-0,20 m -----								
Média	309,97	492,11	1,38	10,99	36,62	47,61	5,30	8,50
Mediana	330,47	502,80	1,40	10,06	35,92	46,52	5,29	8,32
Mínimo	113,87	330,40	1,08	5,09	30,79	39,99	4,36	2,58
Máximo	471,50	657,50	1,52	20,73	58,08	73,52	5,91	14,74
DP	72,91	75,50	0,10	3,81	3,78	4,95	0,42	3,17
CV (%)	23,52	15,34	6,92	34,62	10,32	10,39	7,87	37,34
Var.	5315,38	5700,93	0,01	14,48	14,29	24,49	0,17	10,07
Curtose	0,34	-0,17	1,32	0,80	21,13	14,80	-0,56	-0,78
Ass.	-0,54	-0,03	-0,98	1,07	3,79	3,09	-0,42	0,20
d	0,12*	0,11*	0,01 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,27*

Var.: variância; DP: desvio-padrão; CV.: coeficiente de variação; Ass.: assimetria; d: teste de normalidade; NS e *: não significativo e significativo pelo teste de normalidade, respectivamente. Ds: densidade do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; DMP: Diâmetro Médio Ponderado; RSP: Resistência do Solo à Penetração. **Fonte:** O autor (2025).

Em relação a o diâmetro médio ponderado (DMP), é possível notar que a área de goiaba com pastagem (Tabela 2) obteve os maiores valores (5,71 mm em 0,0-0,10 m e 5,30 mm em 0,10-0,20 m) em comparação com a área de pastagem

(5,09 e 5,22 mm em 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente), isso indica que a área com a cultura arbórea possui um solo com maior porcentagem de agregados maiores do que a área que apresenta apenas a pastagem. Esse resultado pode ser confirmado e comparado com o de Santos (2021), que analisou o DMP em áreas de pastagem e mata nativa, em 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, resultado que se acentua de acordo com a profundidade, sendo mais nítido em 0,10-0,20 m, segundo o autor. Esse resultado se deve ao fato de que, na área com goiaba, por causa do ambiente, o acúmulo de matéria orgânica no solo, contribui na formação de agregados, pois a matéria orgânica age como agente cimentante, o que confere maior estabilidade de agregados.

Considerando ainda, os valores médios, os resultados de D_s , de $1,34 \text{ g cm}^{-3}$ em 0,0-0,10 m e $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ em 0,10-0,20 m na pastagem (Tabela 1) e $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ em 0,0-0,10 m e $1,38 \text{ g cm}^{-3}$ em 0,10-0,20 m na área de goiaba em consórcio com pastagem (Tabela 2), foram considerados dentro do limite crítico para desenvolvimento das culturas, que é de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ em solos argilosos, como proposto por Richart *et al.* (2005). Em relação à RSP, variando de 3,91 a 4,49 Mpa na área de pastagem (Tabela 1), em 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente, e de 8,20 a 8,50 Mpa em área de goiaba em consórcio com pastagem de 0,0-0,10 m a 0,10-0,20 m (Tabela 2), respectivamente, foram considerados muito acima do nível crítico, que é considerado de 2,0 a 2,5 Mpa nos solos argilosos, como é o nível proposto pelos autores Tormena *et al.* (2007).

Além do mais, os dados seguiram uma distribuição simétrica nas áreas, com curtose e assimetria próximos do valor zero, indicando que a geoestatística pode ser aplicada na análise das áreas estudadas (Tabela 1 e Tabela 2). Os maiores valores de assimetria foram encontrados na área de goiaba, nas duas profundidades, chegando a um máximo de apenas 3,79, negativo e positivo (Tabela 2). O trabalho de Guimarães *et al.* (2010), ao encontrar também valores distantes de zero na curtose e assimetria, evidencia que a distribuição dos dados não é normal nos sistemas de plantio.

Com relação ao desvio padrão (DP) das amostras na Tabela 1 e Tabela 2, foram dados com pouca variação nas duas profundidades, sendo os menores valores apresentados pela D_s , apresentando um máximo de 0,10 para este atributo, também imutável nas duas profundidades, e os maiores valores para os atributos granulométricos. Este mesmo resultado pode ser constatado pelo trabalho de Alvares

et al. (2024), que encontraram, assim como neste trabalho, DP na casa dos valores 4, se tratado da resistência do solo à penetração (RSP).

É possível, quando analisado o CV dos atributos das áreas, relatar uma alta heterogeneidade, evidenciando a alta variabilidade dos atributos dos solos. Camargo *et al.* (2008) cita que o coeficiente de variação permite fazer uma comparação a variação entre as amostras das áreas. Considerando a metodologia Warrick e Nielsen (1980), o coeficiente de variação resultou em valores baixos (menor que 12%) na Ds, microporosidade, macroporosidade e PT nos dois locais analisados (goiaba e pastagem) e nas duas profundidades (0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m), DMP na pastagem (0,0-0,10 m) e na goiaba nas duas camadas.

Os valores médios de CV foram encontrados na areia e argila de 0,0-0,10 m (23,00% e 12,00%, respectivamente), na RSP e DMP de 0,10-0,20 m (23,81% e 14,53%, respectivamente) da pastagem (Tabela 1), e na goiaba, argila nas duas profundidades (14,07% e 15,34%, respectivamente) e argila de 0,10-0,20 m (15,34) (Tabela 2). O maior o CV foi encontrado na RSP da área de goiaba de 0,0-0,10 m (41,58%), sendo que os demais atributos apresentaram valores de CV considerados altos (maiores que 24%). De forma geral, o CV foi maior da área de goiaba (média de 18,49% e 18,29% nas duas profundidades, respectivamente), enquanto a área de pastagem, apresentou valores médios dos atributos de 14,05% e 15,06% nas duas profundidades analisadas, respectivamente. O trabalho de Alvares *et al.* (2024) relata que foram encontrados valores altos de coeficientes de variação na resistência do solo à penetração. Segundo os autores, estes altos resultados encontrados no CV (%) são indicativos de que há uma alta variabilidade na área, o que pode influenciar diretamente nos métodos ou até na quantidade de amostragens para a determinação dos atributos nas áreas estudadas, tendo que diminuir o espaçamento da coleta de amostras.

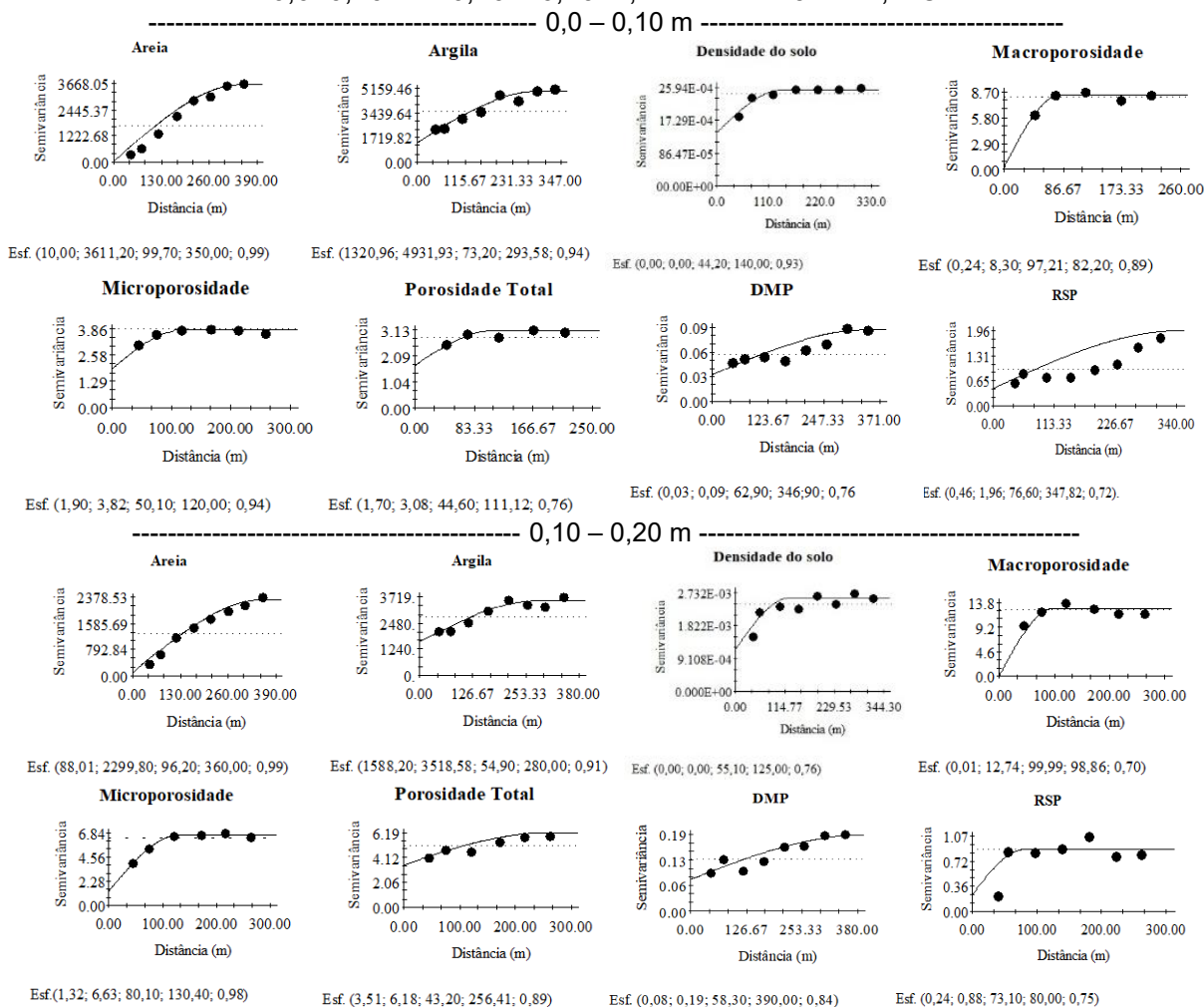
O teste de normalidade demonstrou que houve normalidade para quase todos os atributos da área de goiaba nas duas profundidades, com excessão da RSP, que teve resultados significativos para o teste nas duas profundidades. Na área de pastagem, a maioria dos resultados foram significativos ao teste de normalidade, com excessão da areia, argila e macroporosidade (0,10-0,20 m), além da argila e RSP em 0,0-0,10 m. Os autores Araújo *et al.* (2022) encontraram resultados semelhantes ao analisarem uma pastagem no Vale do Jamari, foram encontrados resultados significativos no teste de normalidade para a Ds, macroporosidade, microporosidade

e porosidade total. Segundo Crissie (1991), a normalidade dos dados permite que sejam observadas melhores precisões quando for estimada a krigagem, sendo, assim, importante para o decorrer do trabalho. No entanto, Isaaks e Srivastava (1989) citam que uma anormalidade nos dados não significa que técnicas de geoestatísticas não possam ser empregadas e contribuir para o decorrer do trabalho.

3.2 Caracterização da variabilidade espacial

É possível, ao se analisar a Figura 2 e Figura 3, observar que o patamar de quase todos os semivariogramas foram bem definidos, com um expressivo efeito pepita, assim como pode-se também observar no trabalho de Alvares *et al.* (2024) quando os autores confeccionaram semivariogramas no modelo esférico, em especial para a resistência do solo à penetração (RSP).

Figura 2. Semivariogramas dos atributos físicos da pastagem, nas profundidades de 0,0–0,10 m e 0,10 – 0,20 m, no Vale do Jamari, RO

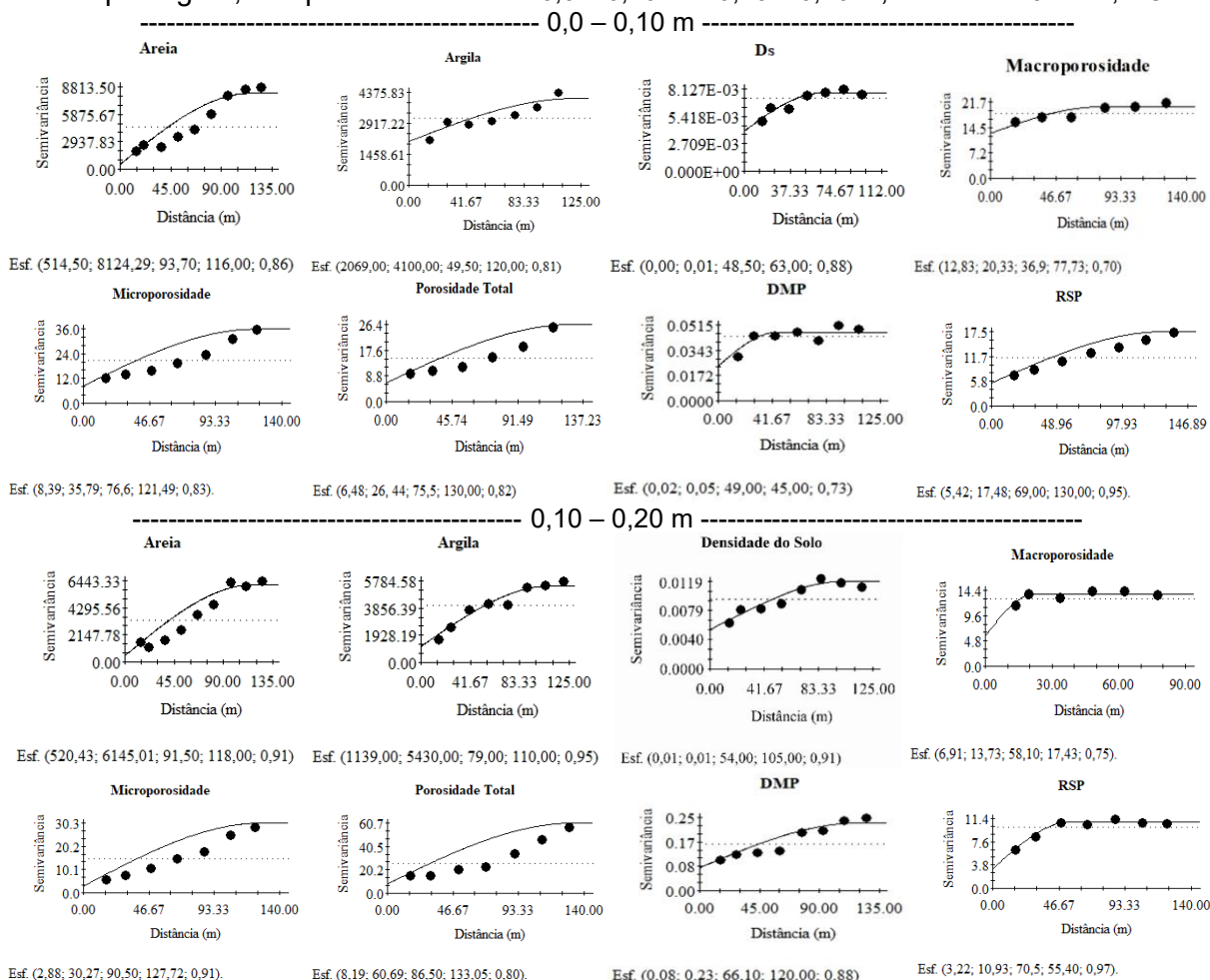


O grau de dependência espacial (GDE) apresentou valores variando de 36,90% a 99,99% entre as áreas estudadas, o que indica dependência espacial moderada e forte (Figura 2 e 3). A área de pastagem apresentou GDE forte para os atributos de areia e macroporosidade em ambas as camadas e para a RSP na camada de 0,0-0,10 m e microporosidade na camada de 0,10 – 0,20 m, sendo que os demais atributos das duas camadas foram classificados com GDE moderada. Na área de goiaba foram observados fortes GDE's para areia, microporosidade e PT nas duas camadas, argila na camada de 0,10-0,20 m, e todos os outros atributos se enquadram com GDE moderada. Valores de forte GDE, encontrado na pastagem no atributo areia nas duas profundidades (0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m) e RSP (0,00-0,10 m) condizem com os fortes valores encontrados para os mesmos atributos no trabalho de Montanari e Mário (2024).

Quanto ao coeficiente de regressão (R^2), o qual indica a porcentagem da variabilidade dos dados obtidos a partir da pesquisa, sendo importante conseguir coeficientes de regressão maiores ou iguais a 0,60 (60%) (Figura 2 e 3), assim como é descrito Alencar, Silva e Oliveira (2006). O maiores R^2 encontrados foram na areia da pastagem, nas duas profundidades (0,99 em 0,00-0,10 m e 0,10-0,20). Além disso, os outros resultados, referentes ainda ao R^2 , foram acima de 0,90 para os atributos areia e argila, com exceção da argila 0,00-0,10 m da área de goiaba (0,81). Esses altos valores de coeficiente de regressão (R^2), maiores que 0,80, para os atributos de textura também apareceram no trabalho de Silva (2021), que analisou pastagens e floresta.

O maior alcance encontrado neste trabalho foi para a PT, na área de pastagem de 0,10-0,20 m de profundidade (390 m) (Figura 2), já o menor foi encontrado na macroporosidade da goiaba de 0,10-0,20 m (17,43 m) (Figura 3). Vale destacar que, a área de pastagem o espaçamento de coleta, bem como a área de coleta foi, em média, 3,5 vezes maior que a área de goiaba, e mesmo assim, considerando os valores médios, a área de goiaba apresentou valores menores de alcance, conferindo maior heterogeneidade e variabilidade espacial dos atributos do solo neste ambiente, confirmando os valores de CV encontrados nos atributos (Tabela 1 e Tabela 2). Assim, em geral, a pastagem obteve os maiores valores de alcance (Figura 2), resultado o qual também pode ser observado no trabalho de Araújo *et al.* (2022) quando se foi comparada uma área de mata nativa com uma área de pastagem, também no Vale do Jamari.

Figura 3. Semivariogramas dos atributos físicos do solo da área de de goiaba em consórcio com pastagem, nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, no Vale do Jamari, RO.



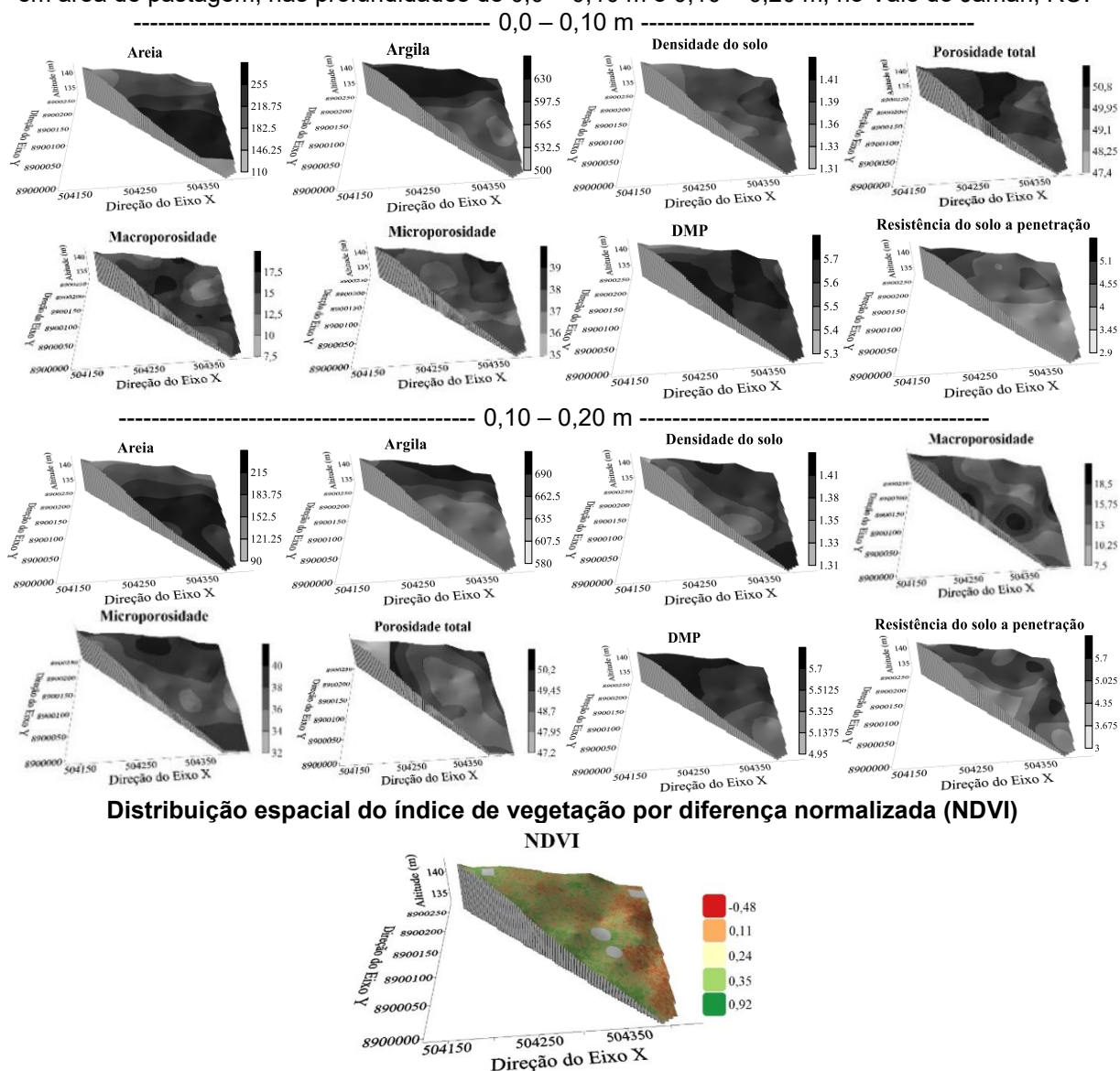
Esf. = Esférico (Efeito pepita; patamar; grau de dependência espacial – GDE; alcance em m; coeficiente de regressão – R^2); DMP = diâmetro médio ponderado; RSP: Resistência do Solo à Penetração. **Fonte:** O autor (2026).

Vale destacar que, o alcance de variabilidade espacial encontradas nos ajustes de semivariogramas para os atributos dos solos, podem ser utilizados para determinar a densidade amostral de coleta (Figura 2 e 3). Isso é importante no manejo específico de solos, em especial, no planejamento estratégico de amostragem de solo visando a caracterização da variabilidade espacial de seus atributos e na economia com amostragem menos intensiva, e que sejam suficientes para seu mapeamento. Segundo Dallacort *et al.* (2012), os valores de alcance determinados pelos semivariogramas, determinam o limite da dependência espacial, assim, estando associado à existência de estrutura de dependência e determinando a distância que cada atributo analisado pode ser coletado.

3.3 Relações espaciais: mapas de krigagem e NDVI

Os mapas de krigagem, também denominados mapas de isolinhas, representam a distribuição dos atributos no espaço, caracterizando a variabilidade espacial. Nas Figuras 4 e 5, na representação dos valores dos atributos, os locais com cores mais escuras nos mapas de Krigagem demonstram a maior concentração do atributo. Neste sentido, é possível relacioná-los e verificar a dependência entre os atributos.

Figura 4. Mapas de krigagem dos atributos do solo e índice de vegetação por diferença normalizada em área de pastagem, nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, no Vale do Jamari, RO.



Legenda: DMP = diâmetro médio ponderado; Pontos de coloração cinza na área de NDVI: recorte de árvores e estruturas. **Fonte:** o autor (2026).

Observa-se uma relação consistente entre Ds, RSP e os atributos granulométricos (Figura 4 e 5). É possível notar que existe uma relação positiva entre argila, Ds e RSP. Nos locais com manchas mais escuras e mais contínuas de argila, foram também os locais com maiores manchas de RSP e Ds, o que está ainda mais evidente na profundidade de 0,10-0,20 m da pastagem (Figura 4), o que se explica pelo acúmulo de argila em profundidade, acarretando uma maior densidade do solo e RSP em 0,10-0,20 m, em comparação à profundidade 0,0-0,10 m. Esse mesmo resultado em referência à relação positiva entre Ds e argila pode ser constatado no trabalho de Montanari e Mário (2024), que constataram manchas maiores e mais contínuas de Ds nos mesmos locais em que a fração argila foi maior.

A RSP em ambas as áreas relacionou-se expressivamente no aspecto visual Ds (Figura 4 e 5). Quanto maior a Ds, maior foi a RSP, sendo nítida esta informação quando observada na área de goiaba, nas duas profundidades (0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m) (Figura 5). No trabalho de Blainski *et al.* (2008), os autores buscaram quantificar a degradação física do solo por meio RSP, ao qual, demonstrou alta relação com a Ds com a RSP, devido à compactação do solo. Os mesmos autores ainda citam que uma menor RSP também resulta em uma melhor porosidade do solo, o que pode ser evidenciado ao se comparar os mapas de Krigagem da microporosidade, macroporosidade e PT da pastagem (Figura 4), principalmente na camada mais superficial (0,0-0,10 m), onde locais com maiores valores de porosidade estão concentrados os menores valores de Ds e RSP. Pode ser visto também uma relação negativa entre macroporosidade e Ds (Figura 4 e 5), em especial na camada de 0,10-0,20 m, sendo encontrados menores valores para Ds nos locais com maiores valores de macroporosidade, uma vez que solos compactados diminuem a quantidade de macroporos, o que explica os resultados.

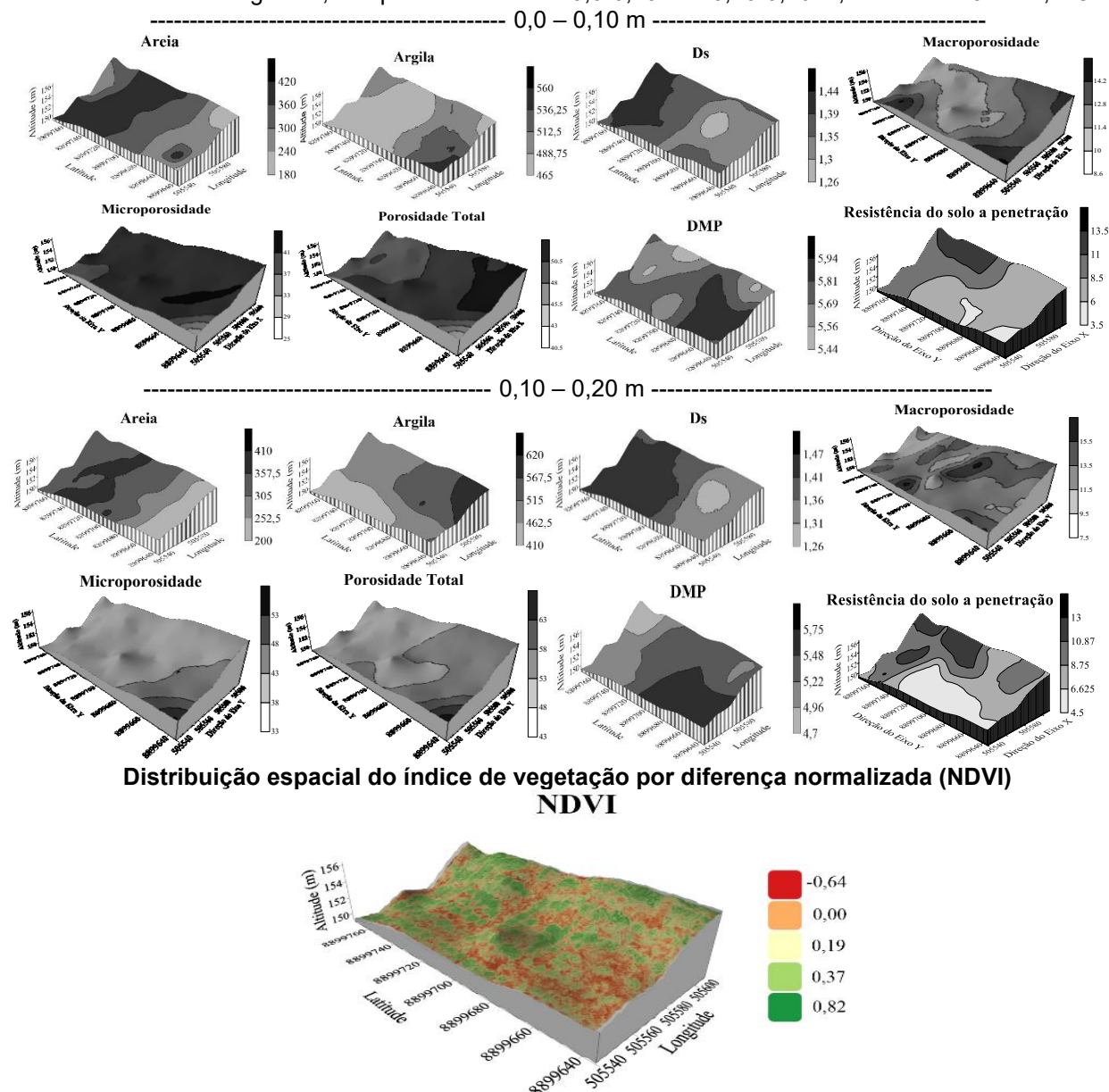
A pastagem obteve menores valores de RSP e de Ds (Figura 4), quando comparada à área produção de goiaba (Figura 5), isso se deve ao fato de que o tráfego de animais e de maquinários devido à produção da frutífera, além das práticas de recuperação da pastagem, que proporcionou menores valores destes atributos na pastagem. Os autores Costa *et al.* (2012) descrevem que, a partir de uma pesquisa sobre RSP em área de pastagem em um Latossolo, em todas as camadas avaliadas (0,20–0,30 e 0,30–0,40 m) os maiores resultados de RSP foram encontrados de maior permanência dos animais em áreas de sombra, e nos locais de passagem dos animais, elevando a compactação do solo, em especial nas camadas mais

superficiais. Os resultados mais altos de RSP na área de pastagem se devem à atividade de produção bovina, devido à lotação excessiva de gado na área destinada para produção de pastagem, o que alteram as propriedades físicas do solo devido a este intenso pisoteio animal, assim como os autores Lima *et al.* (2023) e Nascimento *et al.* (2020) também destacam em seus trabalhos.

A microporosidade demonstrou-se altamente relacionada à PT, sendo possível observar quando comparados os mapas de Krigagem destes dois atributos na área de goiaba na profundidade de 0,10-0,20 m (Figura 5), esse comportamento é devido a maior porcentagem de microporos em relação aos macroporos que compõem a porosidade total, então locais com maior quantidade de microporos apresentaram também uma porosidade total maior. Além do mais, na área de pastagem (Figura 4), o mapa de microporosidade das duas profundidades analisadas indica que teve maiores porcentagens de microporos em pontos em que também indicaram altos resultados de Ds e RSP, o que se explica devido a alta relação existente entre tais atributos físicos. Silva, Barros e Costa (2006), em um trabalho de compactação de solo, discorrem que uma maior compactação (maior RSP e Ds) resulta na diminuição de macroporos e aumenta a porcentagem de microporos do solo, respaldando os resultados encontrados neste trabalho. Neste contexto, é ressaltado-se que, os diferentes manejos afetaram diretamente a RSP, devido a seus diferentes usos (área utilizada para produção de forragem e área utilizada para produzir goiaba em consórcio com pastagem). O solo sob diferentes manejos e sistemas tende a ter diferentes comportamentos quanto à resistência mecânica à penetração, conforme destacado por Lima, León e Silva (2013).

Após identificar as associações espaciais entre os atributos do solo, foi realizada a análise da variabilidade espacial do NDVI, e a distribuição do vigor vegetativo nas áreas estudadas, possibilitando a comparação com os padrões espaciais observados para os atributos do solo (Figuras 4 e 5). A análise do mapa de NDVI mostra que a área apresenta alta variação espacial, com valores entre -0,48 a 0,92 e -0,64 e 0,82 para a pastagem e goiaba, respectivamente, formando zonas com diferentes níveis de vigor vegetativo. Essa variação está relacionada ao uso do solo, caracterizado pelo uso com pastagem e área de consórcio entre goiabeira e pastagem.

Figura 5. Mapas de krigagem dos atributos do solo e índice de vegetação por diferença normalizada em área de área de goiaba, nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, no Vale do Jamari, RO.



Ds = densidade do solo; DMP = diâmetro médio ponderado. **Fonte:** o autor (2026).

Ao relacionar o NDVI com os atributos do solo na área de pastagem, observa-se nítida relação entre os atributos (Figura 4). Regiões onde os teores de areia, Ds e RSP são mais elevados, são coincidentes com os menores valores de NDVI. Por outro lado, locais com maiores teores de argila, PT e DMP, apresentam maiores valores de NDVI, o que pode estar relacionados a maior estabilização dos agregados do solo, proporcionados pela ação cimentante das argilas e da matéria orgânica do solo e indicando melhores condições físicas do solo para o desenvolvimento da vegetação. Regiões com maior teor de argila tendem a reter mais água e nutrientes, favorecendo o crescimento vegetal e a manutenção da biomassa verde, o que se reflete em

maiores valores de NDVI (Figura 4). Nessas áreas, a estrutura do solo pode apresentar maior estabilidade de seus agregados, contribuindo para o aumento da PT, contrastando com resultados relatados por Zanzarini *et al.* (2013), que observaram relação positiva entre o teor de argila e os valores de NDVI.

Na área de goiaba, ao relacionar o NDVI com os atributos areia, Ds, DMP e porosidade do solo (Figura 5), observa-se que, embora esses atributos do solo tenham apresentado padrões espaciais semelhantes entre si, principalmente na camada superficial, essa mesma correspondência não foi evidenciada de forma tão clara com o índice de vegetação, especialmente na camada superficial. Esse resultado indica que a variabilidade espacial do NDVI na área de goiaba pode estar mais relacionada à estrutura da cobertura vegetal, especialmente à presença das copas das goiabeiras e à densidade do dossel, do que exclusivamente à distribuição dos atributos físicos do solo. Vale destacar que, a cultura da goiaba não estava adequadamente cultivada, com espaçamento inadequado e com densidade de biomassa diferente ao longo da área, pelo fato de não ter sido feito a reposição de plantas mortas ou pelo espaçamento maior que o recomendado, resultado em uma má cobertura vegetal.

Na área de goiaba, locais com maiores valores de NDVI estão associadas principalmente à presença das copas das goiabeiras, enquanto valores médios e baixos estão relacionados à vegetação herbácea, à pastagem cultivada nas entrelinhas ou a regiões com menor cobertura vegetal (Figura 5). Valores negativos indicam áreas sem cobertura vegetal ativa, como solo exposto ou vegetação morta, enquanto valores próximos de zero representam baixa atividade vegetativa.

Neste sentido, ao relacionar o comportamento do NDVI em relação aos demais atributos do solo na área de goiaba (Figura 5), observa-se que, em alguns pontos, áreas com maiores valores do índice coincidem com regiões de maior Ds e maior teor de areia, mostrando que o vigor da vegetação não depende apenas das limitações físicas causadas pela compactação provocada pelo pisoteio animal ou pelo tráfego de máquinas. Solos mais arenosos apresentam menor agregação e maior facilidade de rearranjo das partículas quando submetidos à pressão, o que pode levar ao aumento da Ds. Neste sentido, a presença das árvores pode ter favorecido a permanência dos animais em áreas de sombra, o que tende a intensificar o pisoteio nesses locais. Ao mesmo tempo, as copas das goiabeiras contribuem para maior biomassa e densidade do dossel, favorecendo a elevação dos valores de NDVI. Esses valores de NDVI da goiaba (Figura 5), quando comparados aos valores obtidos na área de pastagem

(Figura 4), demonstram essa influência do dossel das goiabeiras nos resultados obtidos, que foram maiores. No trabalho de Barboza *et al.* (2023), os autores destacam que o NDVI apresenta forte relação com a biomassa vegetal, sendo amplamente utilizado na estimativa e no monitoramento do crescimento da vegetação. Dito isso, é possível verificaram que o NDVI está diretamente relacionado à biomassa do dossel vegetal, apresentando maiores valores em áreas com maior cobertura vegetal.

De forma geral, o aumento da Ds pode ser um indicativo de maior compactação e está associado ao trânsito de máquinas e implementos agrícolas, bem como ao pisoteio animal em áreas sob uso agrícola e pecuário, assim como também observado por Albuquerque, Sangoi e Ender (2001). A compactação mecânica decorrente do tráfego de máquinas aumenta a Ds e a RSP, reduzindo a porosidade e a infiltração de água, conforme mencionado por Long *et al.* (2024). Serrano *et al.* (2023) observaram que o impacto dos cascos dos animais favorece o colapso dos poros maiores, promovendo aumento da Ds e da RSP em áreas sob pastejo. Por fim, esse aumento de RSP e Ds diminuíram a produção de biomassa das pastagens, degradando-a, aumentando os pontos de solos expostos e vegetação morta (-1 a 0), como foi observado nos valores e mapas de NDVI das duas áreas (Figura 4 e Figura 5).

Os dados sugerem que, a avaliação dos parâmetros biofísicos da cultura medido pelo NDVI podem ajudar a formar zonas de manejo específico, especialmente, relacionado as condições estruturais do solo em área de pastagem, não sendo tão expressivo quando se avalia a pastagem consorciada com vegetação de alta densidade de dossel, uma vez que, os índices de vegetação podem não ser tão sensíveis na captação de variação espectral com diferentes extratos de vegetação. No entanto, embora haja alterações no vigor fisiológico da pastagem, o padrão de distribuição espectrais da cultura se relacionam diretamente com os atributos do solo. Por ser de rápida avaliação, elaborar índices de vegetação, determinados por drones, ajuda na tomada de decisão sobre o manejo específico dos solos sob pastagem.

Além da possibilidade de estabelecer zonas de manejo específico com o uso de índices de vegetação, ficou evidente que, a proposta de manejo do solo com uso de ferramentas de mapeamento de seus atributos foi eficiente. Foi possível caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo, e estabelecer estratégias de amostragem de solos menos intensiva do que a proposta neste trabalho, pois os alcances dos semivariogramas, que estimam a aleatoriedade dos dados, foram superiores ao proposto na coleta de solos no presente trabalho.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, é possível concluir que, devido aos diferentes manejos empregados nas áreas de pastagem e de goiaba, a resistência do solo à penetração é muito variável, sendo maior na área de pastagem em consórcio com goiaba, em razão da ausência de manejo físico do solo e por decorrência do pastejo e tráfego animal dentro da área.

A compactação do solo, evidenciada a partir da constatação da alta densidade do solo e resistência do solo a penetração, acarreta a degradação do solo, o que pode afetar diretamente no rendimento das culturas, evidenciados pelas relações espaciais dos atributos dos solos com o índice de vegetação por diferença normalizada, principalmente na área com pastagem.

Áreas com diferentes extratos arbóreos pode dificultar o uso de índices de vegetação para estabelecer zonas de manejo específico do solo, como observado na área de pastagem em consórcio com goiaba, porém, são eficientes em ambientes com densidade de vegetação mais homogêneas, como observado na área de pastagem.

Recomenda-se o manejo correto do solo, evitando o superpastejo e outros manejos mais intensivos quanto ao uso do solo, em especial, práticas que minimizem o impacto na compactação do solo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300021>. Acesso em: 02 maio 2026
- ALENCAR, D. B. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Influência da Precipitação no Escoamento Superficial em uma Microbacia Hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.103-112, jan./abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/BSDp3ygf5qjm36rNf7zsR6y/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 jul. 2025.
- ALVARES, A. E. S.; ARAÚJO, W. O.; CARDOSO, M. M.; OLIVEIRA, M. V.; SILVA, C. D. T.; BARCELOS, E. M.; EMERICK, H. F.; SANTOS, H. F.; FREITAS, L. OLIVEIRA, I. A. Impactos na variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade do solo na conversão de floresta em cupuaçu no Vale do Jamari, Rondônia. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v.21, n.7, p. 01-25. 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/5824/3834> Acesso em: 17 jul. 2025.
- ARAÚJO, W. O.; ALVARES, A. E. S.; EMERICK, H. F.; CRUZ, S. N.; OLIVEIRA, M. V.; SILVA, C. D.; ALMEIDA, W. S.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A. Impacts on spatial variability of soil density and porosity as a function of the transformation of forest into pasture in Vale do Jamari, Rondônia. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 15, p. e284111537170, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i15.37170. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/37170>. Acesso em: 17 jul. 2025.
- BARBOZA, E. A.; SILVA, S. A.; SILVA, G. F.; SANTOS, M. A.; SANTOS, A. R. Application of vegetation indices in the estimation and monitoring of plant biomass: a review. **AgriEngineering**, v. 5, n. 2, p. 52, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/digital5020052>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da Degradação Física do Solo por Meio da Curva de Resistência do Solo à Penetração ⁽¹⁾. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.975-983, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KwCdrm3zzv5L8t7f5hBthjb/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 jul. 2025.
- BOCUTI, E. D.; AMORIM, R. S. S.; SANTOS, T. G.; RAIMO, L. A. D. L. D.; PEREIRA, H. G. Erodibilidade entressulcos e sua relação com atributos de solos do Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.1, p68-78, 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/17020/13834> Acesso em: 20 jun. 2026.
- BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu,

Embrapa, 2013. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/956305/1/Aplicacaoindices.pdf>
Acesso em: 21 mar. 2026.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL, folha SC. 20**, Porto Velho. Rio de Janeiro, 1978.

BRAGA, S. E.; ROLIM NETO, F. C.; ALMEIDA, B. G.; ALMEIDA, C. D. G. C.; SILVA, V. P.; WANDERLEY, R. A.; RIZZI NETO, E. Resistência do solo à penetração de raízes no solo: uma revisão da literatura. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v.21, n.4, p. 01-23. 2024. Disponível em:

<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/3750/2676>
em: 21 mar. 2026.

CAMARGO, L. A., MARQUES JÚNIOR, J., PEREIRA, G T., HORVAT, R. A.

Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo: II correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2279-2288, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/ZvWXgjqLpVN8p66CzFrhG7n/?lang=pt>. Acesso em: 17 jul. 2025.

CESSA, R. M. A.; SOUZA, A. C. S.; SOUZA, F. R.; COMETTI, N. N.; ZONTA, E.; AMARAL, U.; SILVA, F. G. R. Zonemamento agroclimático em Rondônia para sistema de Integração Lavoura-Pecuária, considerando as espécies vegetais do gênero *Brachiaria* e milho e soja. Curitiba, **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.7, p. 70855-70869, 2021. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/download/32885/pdf/83996> Acesso em: 20 jun. 2026.

COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G.; MEDEIROS, F. M. Resistência do solo à Penetração e Produção de Raízes e de Forragem em diferentes níveis de intensificação do Pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.993-1004, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/YbbTgPQvB43vBwft6YrP3Gg/?format=pdf&lang=pt>
Acesso em: 20 jul. 2025.

DALLACORT, R.; MORAES, V. R.; ALVES, E. D. L.; COMUNELLO, FIETZ, C. R.

Modelos de semivariogramas para análise da variabilidade espacial da precipitação pluvial no Pantanal de Mato Grosso. **Anais... 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Bonito, MS, 20-24 de outubro 2012. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/967954/1/geotecnologias.pdf>
Acesso em: 20 jul. 2025.

DANTAS, M. E.; ADAMY, A. Compartimentação Geomorfológica. Porto Velho-RO, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. In: ADAMY, A. **Geodiversidade do Estado de Rondônia**. p.39-54, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/305045451_Compartimentacao_geomorfologica_do_Estado_de_Rondonia Acesso em: 20 jun. 2026.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: o que é e como evitar. Brasília: Embrapa, p.19, 2017. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117CartilhaPastagemV04.pdf> Acesso em: 20 mar. 2026.

EMBRAPA. **Informativo Agropecuário de Rondônia**: O valor bruto da produção agropecuária de Rondônia deve ser quase 13% maior em 2021. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62712530/o-valor-bruto-da-producao-agropecuaria-de-rondonia-deve-ser-quase-13-maior-em-2021> Acesso em: 23 mar. 2026.

FONSECA, E. L.; LOCATELLI, M.; SILVA FILHO, E. P. NDVI aplicado na detecção de degradação de pastagens cultivadas. **Confins**, n.35, 2018. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/13180> Acesso em: 21 mar. 2026.

FREITAS, I. C.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Agregação de solo em pastagens sob diferentes índices de qualidade e sua influência na infiltração de água. Itajubá, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.04, 1972-1986, 2021. Disponível em: <file:///D:/Downloads/245995-195630-1-PB1.pdf> Acesso em: 20 jun. 2026.

GUIMARÃES, W. D. **Geoestatística para o Mapeamento da Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo**. 60 f. 2013, Tese (Doutora). Universidade Federal de Viçosa, 2013. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/6d50041b-9053-4b9c-9425-8021301bf63a/content> Acesso em: 17 jul. 2025.

IBGE. **Mapa da produção de goiaba**: Valor da produção (Mil Reais), 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/goiaba/ro> Acesso em: 10 jul. 2025.

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

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates, *In*: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARCK, F. E. eds, **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science of America, 1965, Part I, p.499-510.

KRIGE, D. G. A statistical approach of some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of Africa**, v. 52, p. 119-139, 1951. Disponível em: https://journals.co.za/doi/epdf/10.10520/AJA0038223X_4792 Acesso em: 17 jul. 2025.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didática**, v.2, n.1, p.19-33, 2006. Disponível em: https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/CienciadoSolo/gepag/t_didatica_2006_v02n01_p019-033_landim.pdf Acesso em: 11 jul. 2025.

LIMA, A. F. L.; BRITO FILHO, E. G.; CAMPOS, M. C. C.; BONDADE, B. B.; ALMEIDA, R. G.; PINHEIRO, E. N.; CAVALCANTE, E. C.; OLIVEIRA, F. P. Pastagens Amazônicas: Uma Revisão Sobre o Avanço da Pecuária Sobre às Terras

Amazônicas. Volta Redonda, **Revista Valor**, v.8 (edição especial), p.37-50, 2023. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valor/article/view/1152/1089> Acesso em: 20 jun. 2026.

LIMA, R. P., LEÓN, M. J., SILVA, A. R. Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo. **Scientia Plena**, v.9, n.6, 2013. Disponível em: <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/1035/807> Acesso em: 20 jul. 2025.

LONG, Z.; WANG, Y.; SUN, B.; TANG, X.; JIN, K. Impact of mechanical compaction on crop growth and sustainable agriculture. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, Beijing, v. 11, n. 2, p. 243-252, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2024566>. Acesso em: 19 jun. 2026.

MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PALUDO, A. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob Integração Lavoura-Pecuária no Oeste Baiano**. Planaltina: Comunicado Técnico 163, 2009, p.6. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31546/1/comtec-163.pdf> Acesso em: 20 mar. 2026.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Território do Vale do Jamari**, 2014. Disponível em: <https://rioterra.org.br/> Acesso em: 20 mar. 2026.

MONTANARI, R.; MÁRIO, N. E. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um argissolosob pastagem em Mato Grosso do Sul. **Revista Observatorio De La Economia Latinoamericana**, Curitiba, v.22, n.12, p. 01-27. 2024. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10265418> Acesso em: 20 JUN. 2026.

NASCIMENTO, L. S.; ARAÚJO, A. R.; FERREIRA, A. D.; CORRÊA, B. O.; MACEDO, M. C. M.; BONO, J. A. M.; ZIMMER, A. H. **Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo na região do Cerrado**. Campo Grande, MS, Embrapa Gado de Corte, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127937/1/DOC-285-Final-em-alta.pdf> Acesso em: 20 jul. 2025.

QUADROS, M. L. E. S.; RIZOTTO, G. J. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia**: Sistema de Informações Geográficas – SIG. Porto Velho: CPRM: Serviço Geológico do Brasil, p.153, 2007. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/618055179/Geologia-Rondonia-CPRM2> Acesso em: 20 jun. 2026.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, F. Compactação do solo: causas e efeitos. Londrina, **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.3, p.321-343, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744077016.pdf> Acesso em: 01 jul. 2026.
ROUSE, J. W. HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: Earth Resources Technology Satellite-1. Symposium, 3, Proceedings Washington: NASA*, v.1, p.309-317, 1973.

SANTOS, D. N. **Utilização de Solos com Pastagem: Problema ou Solução?** Cruz das Almas, Bahia, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, p.66, 2021. Disponível em: https://www1.ufrb.edu.br/pgcienciasagrarias/images/DISSERTA%C3%87%C3%83O_-_PPGSQE_-_PPGCAG_-_Davi_Ney_Santos.pdf Acesso em: 20 jun. 2026.

SILVA, L. I. **Variabilidade Espacial da Erodibilidade do Solo em Áreas de Pastagens e Floresta no Município de Porto Velho, RO.** 50f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas. UFAM, Manaus-AM 2021. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/8216/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Luciv%C3%A2niaSilva_PPGATR.pdf Acesso em: 20 jun. 2026.

SEDAM. Clima de Rondônia. Secretaria de Desenvolvimento Ambiental. **Meteorologia:** Boletins climatológicos anuais, 2025. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br> Acesso em 10 jul. 2025.

SERRANO, J.; MARQUES, J.; SHAHIDIAN, S.; CARREIRA, E.; MARQUES DA SILVA, J.; PAIXÃO, L.; PANIAGUA, L. L.; MORAL, F.; FERRAZ DE OLIVEIRA, I.; SALES-BAPTISTA, E. Sensing and Mapping the Effects of Cow Trampling on the Soil Compaction of the Montado Mediterranean Ecosystem. **Sensors**, Basel, v. 23, n. 2, art. 888, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23020888>. Acesso em: 19 jun. 2026.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.842-847, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/dYbdQVGbzdvK49cBj84WK4K/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 jul. 2025.

SOUSA, R. F.; OLIVEIRA, I. R.; OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, J. T. Análise de trilha de atributos de um Latossolo manejado sob semeadura direta. Sinop, **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 366-372, 2022. Disponível em: <https://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/13345> Acesso em: 20 jun. 2026.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** Brasília-DF, Embrapa, 3. ed. rev. e ampl. – 2017. 573 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1091338/1/Densidadesolo.pdf> Acesso em: 12 jul. 2025.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho distroférrico em sistemas de plantio direto. Viçosa-MG, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.2, p. 211-219, 2007.

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. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211308606732> Acesso em: 20 jul. 2025.

VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. Brasília-DF. **Parcerias Estratégicas**, v. 19, n. 38, p. 13-44, 2014. Disponível em:

https://seer.cgee.org.br/parcerias_estrategicas/article/view/731 Acesso em: 10 jul. 2025.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1. p. 1-54. 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313098532>. Acesso em: 04 abr. 2024.

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.

ZANZARINI, F. V.; 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. Campina Grande-PB, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.608-614, 2013. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/9878240a-1b68-486c-9589-4cc7505822eb/content> Acesso em: 20 mar. 2025

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.