

Campus Ariquemes
Coordenação do Curso Bacharel em Agronomia

CARLOS DANIEL TEIXEIRA SILVA

**CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA CONVERSÃO
FLORESTA EM PASTAGENS NO VALE DO JAMARI, RO**

ARIQUEMES - RO

2025

CARLOS DANIEL TEIXEIRA SILVA

**CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA CONVERSÃO
FLORESTA EM PASTAGENS NO VALE DO JAMARI, RO**

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 e Coorientador Ludmila de Freitas.

ARIQUEMES - RO

2025

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

S586c

Silva, Carlos Daniel Teixeira.

Correlação espacial dos atributos do solo na conversão floresta em pastagens no Vale do Jamari, RO / Carlos Daniel Teixeira Silva. - Ariquemes, 2025.

30 f. : il.

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

Coorientador(a): Prof^a. Ludmila de Freitas.

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

1. Manejo do solo. 2. Geoprocessamento. 3. Krigagem. I. Oliveira, Ivanildo Amorim de (orient.). II. Freitas, Ludmila de (coorient.). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. IV. Título

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

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Correlação espacial dos atributos do solo na conversão floresta em pastagens no Vale
do Jamari, RO**

Acadêmico: Carlos Daniel Teixeira Silva

Orientador: Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira

Coorientadora: Ludmila de Freitas

Conceito Atribuído: Aprovado

Documento assinado digitalmente
gov.br IVANILDO AMORIM DE OLIVEIRA
Data: 24/07/2025 21:22:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ivanildo Amorim de Oliveira

Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br ACACIO BEZERRA DE MIRA
Data: 24/07/2025 17:20:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Acácio Bezerra de Mira

Membro da Banca

Documento assinado digitalmente
gov.br LUDMILA DE FREITAS
Data: 24/07/2025 13:18:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ludmila de Freitas

Coorientadora

M Campos 2025.07.24
20:42:56-04'00'

Milton César Costa Campos

Membro da Banca

Data da Realização: 27 / 05 / 2025

Ariquemes – RO

2025

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA CONVERSÃO FLORESTA EM PASTAGENS NO VALE DO JAMARI, RO

RESUMO

A perda da qualidade do solo está muitas vezes relacionada com técnicas de manejos inadequadas, assim afetando a produtividade das culturas. O auxílio de técnicas de geoprocessamento para tomada de decisão nos sistemas de manejo do solo, vem sendo cada vez mais utilizadas pela agricultura de precisão. O objetivo do trabalho foi aplicar técnicas de agricultura de precisão para avaliar a variabilidade e correlação espacial de atributos físicos do solo na conversão floresta em áreas de pastagens sob diferentes manejos, na região do Vale do Jamari-RO. O estudo foi realizado no Instituto Federal de Rondônia, Campus Ariquemes em área sob uso natural (Floresta) e uso agropecuário (Pastagem). Nas áreas, foram estabelecidas malhas de 60 x 110 m com espaçamento regular de 10 m. As coletas foram realizadas nos pontos de cruzamento da malha, totalizando 66 pontos amostrais por malha. Os devidos pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS e, em seguida, foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas, nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m. Nas amostras de solos, realizou-se a caracterização dos atributos do solo como: a granulometria, densidade do solo (Ds), estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO) e estoque de carbono orgânico total (ECOT). As avaliações dos dados foram realizadas através de ferramentas de estatísticas descritiva e geoestatística. A pastagem apresentou maiores teores de COT, MO e ECOT. Foi constatado o efeito do carbono orgânico nas propriedades da estabilidade de agregados indicando a influência direta desta variável. A pastagem apresentou maior homogeneidade na área, enquanto a floresta exibiu maior heterogeneidade. Houve correlação entre argila, DMG, DMP, >2,00 mm, COT, MO e ECOT.

Palavras-chave: Manejo do solo. Geoprocessamento. Krigagem.

SPATIAL CORRELATION OF SOIL ATTRIBUTES IN THE FOREST TO PASTURE CONVERSION IN THE JAMARI VALLEY, RO

ABSTRACT

The loss of soil quality is often related to inadequate management techniques, thus affecting crop productivity. The use of geoprocessing techniques to support decision-making in soil management systems has been increasingly adopted in precision agriculture. The objective of this study was to apply precision agriculture techniques to evaluate the variability and spatial correlation of soil physical attributes in forest-to-pasture conversion areas under different management systems in the Jamari Valley region of Rondônia, Brazil. The study was conducted at the Federal Institute of Rondônia, Ariquemes Campus, in areas under natural use (Forest) and agricultural use (Pasture). In these areas, grids of 60 x 110 m were established with a regular spacing of 10 m. Sampling was performed at the grid intersection points, totaling 66 sample points per grid. The points were georeferenced using GPS equipment, and then deformed and undisturbed soil samples were collected at depths of 0.0–0.10 m and 0.10–0.20 m. The soil samples were characterized for attributes such as granulometry, soil density (Ds), aggregate stability, mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD), total organic carbon (TOC), organic matter (OM), and total organic carbon stock (TOCS). Data analysis was performed using descriptive statistics and geostatistical tools. Pasture areas showed higher levels of TOC, OM, and TOCS. The effect of organic carbon on aggregate stability properties was observed, indicating a direct influence of this variable. Pasture areas exhibited greater homogeneity, while the forest displayed higher heterogeneity. Correlations were found between clay content, GMD, MWD, >2.00 mm aggregates, TOC, OM, and TOCS.

Keywords: Soil management. Geoprocessing. Kriging.

INTRODUÇÃO

O aumento da produção de alimentos é uma das principais questões a ocupar o centro das preocupações no século XXI (Freitas; Mendonça, 2016). Na América Latina, o Brasil se apresenta como um importante produtor mundial de alimentos e com grande potencial de expansão da oferta (Saath; Fachinello, 2018). A área plantada de grãos brasileira cresceu 42% nos últimos 30 anos, ao passo que a produção teve crescimento de 228%. Enquanto a área plantada avançou 17 milhões de hectares, a produção se expandiu em 133 milhões de toneladas, gerando um ganho de produtividade de 3,2% ao ano (Reis et al., 2020).

A implantação de atividades agrícolas e pecuárias estão modificando a cobertura vegetal original de grande parte do território brasileiro. Ecossistemas naturais vêm perdendo suas características cedendo lugar para essas atividades. O processo de substituição de áreas nativas por áreas de culturas anuais, tem se intensificado nos últimos anos, e tem-se como consequência, a aceleração dos processos de degradação do solo, quando da não utilização de práticas de manejo adequado (Freitas et al., 2018). As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados, provocados pelo mau uso do solo, se expressam como aumento da compactação, redução da porosidade e da infiltração de água no solo (Nicodemo et al., 2018). Desta forma, um solo bem estruturado tem grande influência no seu comportamento agrícola, uma vez que interfere nos ciclos de carbono e de nutrientes, na capacidade de receber, estocar e transmitir água, na difusão de gases, na penetração das raízes e na capacidade de resistir à erosão (Portugal et al., 2010).

A agregação do solo apresenta papel importante no sequestro de carbono, pois protege fisicamente a matéria orgânica. O teor de carbono orgânico está intimamente associado à formação de agregados e em especial à formação de macroagregados (Lopes et al., 2017). De acordo com Borges et al., (2015), agregados de maior tamanho apresentaram maior conteúdo de carbono orgânico e de substâncias húmicas. O conteúdo de carbono orgânico e o estado de agregação têm sido considerados bons indicadores da qualidade do solo, por estarem relacionados com importantes processos, como: resistência à erosão, capacidade de infiltração e de retenção de água. Esse último aspecto torna-se de extrema importância, pois a água armazenada no solo é que irá garantir a perenidade de cursos d'água, principalmente em períodos de seca (Borges et al., 2015).

Dessa forma, a otimização de áreas já existentes e utilização racional e pontual de insumos agrícolas, também chamada de agricultura de precisão (AP), é muito adequada para atender à necessidade de produção. A agricultura de precisão consiste em racionalizar o uso dos recursos naturais e de insumos agrícolas por meio da gestão da variabilidade intra-campo,

resultando em aumento da produtividade e redução no consumo de fertilizantes. A AP é uma prática agrícola, na qual faz uso de tecnologia de informação, baseada no princípio da variabilidade espacial e temporal. Além disso, visa o gerenciamento detalhado do sistema de produção agrícola como um todo. (Artuzo; Foguesatto; Silva, 2017). Para Santi et al., (2012), a utilização do conjunto de tecnologias de agricultura de precisão (AP) deve ser vista como uma moderna técnica de gerenciamento dos atributos do solo em uma determinada área, fornecendo subsídios para o adequado aprimoramento do manejo e maximização da eficiência dos recursos produtivos, alicerçado no manejo localizado e no respeito à variabilidade existente no campo.

Segundo Soares Filho e Cunha (2015), a agricultura tem passado por uma série de transformações, tornando-se uma atividade que requer cada vez mais o gerenciamento de seus processos produtivos. Deste modo podendo ter em seu arsenal a ajuda e cooperação da AP.

Dentro das ferramentas de AP, a geoestatística vem sendo cada vez mais utilizada na avaliação da variabilidade espacial de parâmetros agrícolas de interesse, permitindo a interpretação de resultados com base na estrutura de sua variabilidade natural, considerando a existência de dependência espacial dentro do espaço amostral (Chioderoli et al., 2012). A geoestatística é um conjunto de métodos estatísticos que permite a análise da variabilidade espacial e temporal dos atributos ambientais, possibilitando a modelagem da dispersão e a previsão de valores em locais não amostrados, sendo essencial para o manejo sustentável dos recursos naturais (Santos; Griebeler, N; Oliveira, 2011). Neste contexto, destaca-se o método de interpolação por krigagem, no qual se pode estimar o valor de uma dada propriedade para um local onde não foi medida. É quando as coordenadas geográficas são adicionadas aos locais amostrados que os dados deixam de ser tratados com a estatística clássica, na qual as amostras são independentes entre si, e passa-se a utilizar a geoestatística (Molin et al., 2015). A geoestatística é uma ferramenta que utiliza o conceito de variáveis regionalizadas na avaliação da variabilidade espacial, organizando dados com base na semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados, permitindo modelar a dependência espacial e estimar valores em locais não amostrados (Grego; Oliveira; Vieira, 2014).

Sem conhecer a variabilidade do solo, é praticamente impossível estudar a variabilidade da lavoura. A geração, portanto, de mapas de atributos do solo é fundamental para gestão agrônômica. De modo geral, a adoção de práticas de agricultura de precisão em uma propriedade inicia-se justamente pelo mapeamento de atributos do solo, visando garantir boa base para o desenvolvimento das culturas (Garzella; Kazama; Sasaki, 2022). Com o

conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo poderá facilitar na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo.

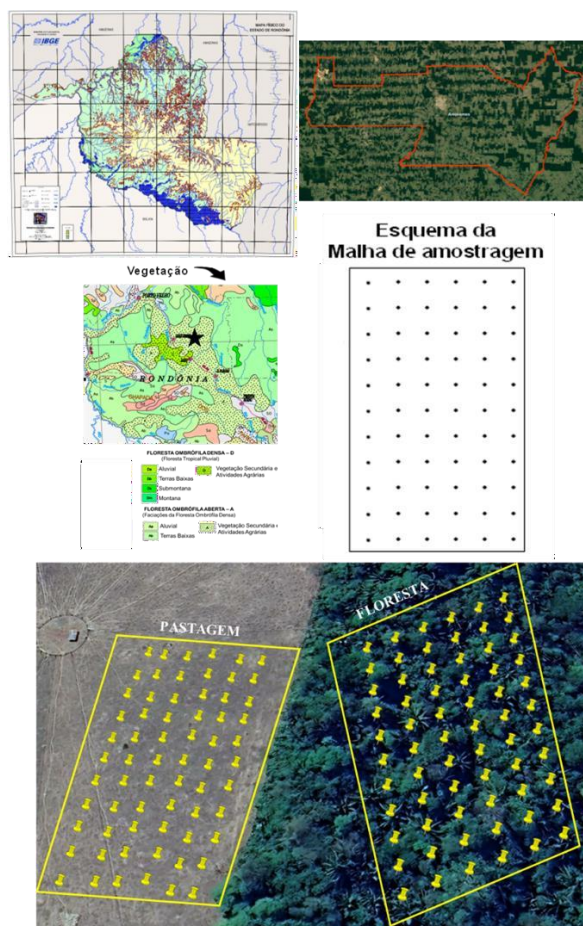
No Vale do Jamari, poucas são as pesquisas que investigam de forma detalhada as relações entre os atributos físicos e químicos do solo, em especial aqueles ligados ao carbono orgânico. Embora os sistemas de uso do solo com diferentes culturas exerçam influência direta sobre esses atributos, a maioria das áreas é composta por ambientes antropizados, nos quais podem ocorrer alterações físicas e químicas significativas. Apesar disso, são poucos os estudos que se dedicaram a caracterizar a variabilidade espacial desses atributos e a analisar sua correlação com fatores físicos e químicos, como a textura do solo, o teor de carbono e a estabilidade de agregados. Essa falta de estudos dificulta a escolha de práticas de manejo mais adequadas para o solo. Deste modo, torna-se necessário aplicar ferramentas como a geoestatística, que permitem identificar padrões espaciais e otimizar o planejamento amostral, contribuindo para práticas agrícolas mais adequadas às condições edafoclimáticas da região. Assim, o objetivo deste trabalho foi utilizar técnicas de agricultura de precisão para avaliar a correlação e a variabilidade espacial de atributos físicos do solo e carbono orgânico de culturas agrícolas em condições amazônicas.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O trabalho foi realizado em áreas sob cultivo de pastagem e floresta em áreas experimentais do Instituto Federal de Rondônia - *Campus Ariquemes*, situado nas coordenadas geográficas 9°57'08.9"S e 62°57'26.6"W, com altitude média de 135 m (Figura 1).

Figura 1 - Mapa físico de Rondônia, perfil esquemático mostrando a vegetação e a malhas de amostragem.



Fonte: Adaptado de IBGE (2011); Embrapa (1998).

O município está localizado na porção centro – norte do estado de Rondônia, com o clima, segundo classificação de Köppen, pertencente ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), e tipo climático Aw1, transição entre os tipos Af e Aw, quente e úmido (chuvas do tipo monção com maiores quedas pluviométricas processadas no outono) apresentando um período seco de pequena duração, como entre 3 e 4 meses com precipitação abaixo de 60 mm. A temperatura varia em torno de 25,62°C, a precipitação pluvial média anual é de 2290 mm, e a umidade relativa do ar apresenta uma média de 81,02% (Carvalho et al., 2016). O solo da região é classificado, em predominância, como Latossolos e Argissolo (podzólico) (Embrapa, 1998)

METODOLOGIA DE CAMPO E LABORATÓRIO

Foram identificadas áreas sob uso natural (floresta) e sob uso agropecuário (área de pastagem cultivada a mais de 30 anos sem qualquer prática de manejo do solo, como calagem e adubação). Os solos foram classificados como Latossolo Amarelo segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo - (Santos et al., 2018). Após a identificação do solo, foram estabelecida uma malha amostral de 50,00 m x 100,00 m. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10,00 metros, perfazendo um total de 66 pontos amostrais na malha. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex (DATUM SIRGAS_2000). Em seguida, foram realizadas sob cada ponto amostral as coletas de amostras de solo deformadas e indeformadas na profundidade de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

As amostras de solo coletadas na malha amostral, foram submetidas as análises laboratoriais, para a determinação da granulometria pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos conforme metodologia da Embrapa (Teixeira et al., (2017). Na amostra indeformada coletada com auxílio de um cilindro volumétrico, foi calculada a densidade do solo (Ds) pela relação entre a massa seca a 105 °C durante 24 h da amostra de solo do cilindro volumétrico e o volume do mesmo cilindro.

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada na forma de “torrão”, para determinação da estabilidade dos agregados do solo. Estas amostras foram levemente destorroadas, de forma manual e passadas em peneira de 8,00 mm de diâmetro de malha e retidos na peneira de 4,00 mm, secadas à sombra, para as análises relativas à estabilidade de agregados via úmida segundo Kemper e Chepil (1965). Os agregados foram colocados sobre um jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; 0,125; e 0,063 mm e submetendo-as a oscilações verticais em aparelho tipo Yoder durante 15 min, numa frequência de 32 oscilações por min. e a massa do material retido em cada peneira, foi levada a estufa a 105oC por pelo menos 48 horas. A estabilidade dos agregados foi determinada adotando os índices de estabilidade tais como os agregados nas classes >2,00, 2,00-1,00 e <1,00 mm, o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP).

O carbono orgânico foi quantificado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans e Bremner (1988) e a matéria orgânica, por sua vez, foi estimada com base no carbono orgânico. O estoque de carbono orgânico (ECO) foi calculado pela expressão (Veldkamp, 1994) (Equação 1):

$$ECO = (CO \times Ds \times e) / 10$$

Eq. 1

onde:

- ✓ ECO = estoque de carbono (C) orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);
- ✓ CO = teor de carbono orgânico na profundidade amostrada (g kg⁻¹);
- ✓ Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³);
- ✓ e = espessura da camada considerada (no caso variável de acordo com a amostragem do solo em campo).

ANÁLISES ESTATÍSTICAS DESCRITIVA E GEOESTATÍSTICAS

Foi realizada análise exploratória dos dados, calculou-se a média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose, desvio padrão, variância e teste de normalidade. O coeficiente de variação (CV%) foi calculado com 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.

Para determinação da existência da dependência espacial foram modelados semivariogramas, utilizando análise geoestatística por meio da krigagem (Matheron, 1963; Isaaks; Srivastava, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Equação 2:

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

sendo:

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

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, C0; variância estrutural, C1; patamar, C0 + C1; 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 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, Yost; Uehara, 1985). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, foi utilizado o 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).

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 vantagem deste método está em sua praticidade de comparação dos mapas de diferentes variáveis. A construção dos mapas espaciais ou mapas de isolinhas serviram de base para visualização das relações espaciais entre os atributos dos solos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ESTATÍSTICA DESCRITIVA E GEOESTATÍSTICA

Com base na análise descritiva dos dados apresentados na Tabela 1, observa-se que a pastagem possui uma granulometria semelhante à floresta. Na camada de 0,0 - 0,10 m em ambas as áreas se obteve valores maiores de areia do que os valores de argila, enquanto na profundidade de 0,10 – 0,20 m demonstrou ter valores próximos de argila e areia.

A pastagem apresentou maiores valores de densidade (Ds) comparados a floresta, demonstrando que a floresta, permite um solo mais estruturado, com maior porosidade, o que favorece a infiltração de água da chuva, diminuindo o escoamento superficial (Tabela 1). Observa-se também que a densidade aumenta com o aumento da profundidade de coleta do solo, em ambas as áreas (Tabela 1).

No que diz respeito à estabilidade de agregados, nota-se altos valores de DMG e DMP. Na pastagem, o DMG e DMP variaram de 5,36 a 5,73 mm na camada de 0,0 – 0,10 m e de 4,97 a 5,52 mm na camada de 0,10 – 0,20 m (Tabela 1). Já na floresta seus valores foram de 5,08 a 5,64 mm na profundidade de 0,0 – 0,10 m e de 4,76 a 5,49 mm na profundidade de 0,10 - 0,20m. Notou-se que a camada de 0,0 – 0,10 m obteve maior DMG e DMP em ambas as áreas. Além disso, observa-se uma maior porcentagem de agregados na classe > 2,00 mm, com valores acima de 85%, indicando maior resistência à desagregação, corroborando com Silva et al., (2017) e Soares et al., (2018). Solos com agregados maiores e estáveis são mais resistentes a desagregação (Souza et al., 2020).

Em relação ao COT e a MO, a pastagem apresentou maiores teores, destacando-se a profundidade de 0,10 – 0,20 m, onde registrou 32,03 g kg⁻¹ e 55,22 g dm⁻³, respectivamente. Já na floresta, o teor de COT e MO foi significativamente menor, variando de 11,73 g kg⁻¹ e 20,23 g dm⁻³. Quanto ao ECOT, esse foi maior na área da pastagem, com valor de 47,30 Mg ha⁻¹, enquanto a floresta obteve valor 16,02 Mg ha⁻¹ (Tabela 1). Percebe-se por esses valores que a pastagem, pode acumular mais CO no solo que a vegetação natural. Esses valores chamam a atenção para o potencial das pastagens em estocar e manter o CO no solo mesmo na ausência de práticas de manejo adequadas (Rosendo; Rosa, 2012). Em seu estudo, Rangel e Silva (2007) citaram que sistemas de manejo não perturbados podem acumular mais CO que uma vegetação natural. De acordo com Campos et al., (2013), o aumento de MO, COT e ECOT se deu pela pastagem ter agregados maiores e mais estáveis, ocasionando a retenção dos mesmos em maiores profundidades. Esses resultados também podem ser atribuídos ao sistema radicular mais desenvolvido e bem distribuído das pastagens, o que favorece a elevada deposição de CO ao solo na forma de raízes (Rangel; Silva, 2007).

A média e mediana (Tabela 1) apresentaram variações nos seus valores, ocorrendo um

pequeno distanciamento no ECOT na camada de 0,0 - 0,10 m da pastagem, e na argila, areia, COT e MO na camada de 0,10 - 0,20 m. Já na floresta, o distanciamento ocorreu na argila, areia, agregados na classe $<1,00$ mm, MO e ECOT na profundidade de 0,0 - 0,10 m, enquanto na profundidade de 0,10 - 0,20 m houve um distanciamento da média e mediana na argila, agregados nas classes $>2,00$ mm e $<1,00$ mm, conforme encontrado por Aquino et al. (2014a), na avaliação da variabilidade espacial dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. Observando a amplitude entre os valores mínimos e máximos dos atributos, é possível deduzir a variabilidade dos dados, que demonstra variação significativa entre os atributos.

Os coeficientes de assimetria e curtose apresentaram variações, obtendo valores maiores ou menores que zero (Tabela 1), sendo que os atributos que mais se distanciaram do valor central foram a estabilidade de agregados em ambas as áreas. Na pastagem a Ds, COT, MO e ECOT na profundidade de 0,10 - 0,20 m foram os que mais se distanciaram. Na floresta em ambas as profundidades o COT, MO e ECOT afastaram-se do valor central zero. Portanto as áreas demonstraram que possuem distribuição assimétrica, o que pode ser um indicativo e/ou comprometer ajustes robustos de modelos matemáticos para caracterização da variabilidade destes atributos.

Para os resultados referentes ao teste de Kolmogorov-Smirnov, a pastagem não obteve valor significativo para argila, areia, COT, MO e ECOT de 0,0 - 0,10 m, enquanto na camada de 0,10 - 0,20 m a Ds e o DMG não apresentaram valores significativos. Na floresta, a argila e Ds de 0,0 - 0,10 m e argila, areia, Ds e ECOT da profundidade de 0,10 - 0,20 m não apresentaram valores significativos. A normalidade dos dados não é condição necessária para a aplicação das técnicas de geoestatística, conforme encontrado por Isaaks e Srivastava (1989).

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos dos solos nas áreas de estudo, nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m

Estatística	Argila	Areia	Ds	DMG	DMP	> 2,00 mm	2-1 mm	<1,00 mm	COT	MO	ECOT
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g cm ⁻³	mm	mm	mm	mm	%	g kg ⁻¹	g dm ⁻³	Mg ha ⁻¹
Pastagem 0,0-0,10 m											
Média	384,98	475,37	1,39	5,36	5,73	96,91	0,63	2,46	26,49	45,68	36,82
Mediana	385,00	475,00	1,40	5,41	5,76	97,22	0,56	2,11	26,70	46,03	37,54
Mínimo	275,00	357,50	1,16	4,46	5,38	91,95	0,15	0,84	20,20	34,82	24,77
Máximo	490,00	555,25	1,51	5,77	5,92	98,88	1,78	7,58	32,20	55,51	47,29
DP	42,38	37,39	0,07	0,26	0,11	1,48	0,34	1,29	2,68	4,61	4,65
CV (%)	11,01	7,87	5,19	4,89	2,00	1,53	53,62	52,59	10,10	10,10	12,63
Var.	1795,73	1398,25	0,01	0,07	0,01	2,19	0,12	1,67	7,16	21,29	21,61
Curtose	0,49	0,78	0,82	1,66	0,43	2,54	1,37	4,93	-0,30	-0,30	0,03
Assimetria	-0,03	-0,27	-0,94	-1,15	-0,84	-1,50	1,19	2,01	-0,18	-0,18	-0,37
d	0,09 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,12*	0,12*	0,12*	0,13*	0,13*	0,13*	0,07 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,08 ^{NS}
Pastagem 0,10-0,20 m											
Média	426,06	425,30	1,48	4,97	5,52	94,55	1,53	3,91	32,03	55,22	47,30
Mediana	435,00	423,25	1,47	5,04	5,59	95,22	1,19	3,41	32,95	56,81	47,70
Mínimo	320,00	340,00	1,28	3,13	4,26	81,60	0,10	0,71	24,00	41,38	33,95
Máximo	530,00	535,00	1,87	5,80	5,93	99,08	5,76	12,64	34,60	59,65	63,50
DP	46,31	40,62	0,09	0,49	0,29	3,25	1,23	2,19	2,44	4,21	4,92
CV (%)	10,87	9,55	6,09	9,89	5,23	3,44	80,37	55,87	7,62	7,62	10,40
Var.	2144,24	1649,71	0,01	0,24	0,08	10,56	1,52	4,78	5,96	17,70	24,19
Curtose	-0,22	0,01	5,03	1,83	4,35	3,91	2,68	3,57	3,95	3,95	2,15
Assimetria	-0,38	0,14	1,41	-1,00	-1,58	-1,68	1,58	1,58	-2,02	-2,02	-0,23
d	0,14*	0,10*	0,08 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,12*	0,14*	0,14*	0,17*	0,21*	0,21*	0,21*
Floresta 0,0-0,10 m											
Média	374,35	467,00	1,32	5,08	5,64	94,84	0,85	4,31	16,92	29,17	22,39
Mediana	383,70	474,65	1,31	5,18	5,69	95,48	0,65	3,72	16,28	28,07	21,61
Mínimo	218,20	322,38	1,11	2,93	4,89	81,96	0,10	0,84	9,28	16,00	10,82
Máximo	516,30	572,08	1,61	5,80	5,94	99,05	4,23	17,29	29,79	51,36	36,93
DP	53,06	46,23	0,10	0,57	0,22	3,71	0,81	3,21	4,04	6,97	5,44
CV (%)	14,17	9,90	7,60	11,19	3,94	3,91	94,80	74,39	23,88	23,88	24,32
Var.	2815,13	2137,09	0,01	0,32	0,05	13,77	0,65	10,27	16,33	48,53	29,65
Curtose	0,89	1,59	0,17	2,72	2,12	2,56	7,99	3,97	1,76	1,76	1,25
Assimetria	-0,07	-0,75	0,13	-1,49	-1,39	-1,56	2,50	1,80	1,14	1,14	0,98
d	0,09 ^{NS}	0,10*	0,08 ^{NS}	0,13*	0,13*	0,16*	0,18*	0,14*	0,14*	0,14*	0,11*
Floresta 0,10-0,20 m											
Média	430,46	396,18	1,37	4,76	5,49	91,96	1,97	6,07	11,73	20,23	16,02
Mediana	428,60	396,83	1,37	4,94	5,60	93,29	1,65	4,87	11,43	19,70	15,63
Mínimo	330,10	298,40	1,19	1,74	3,97	67,24	0,08	0,25	7,67	13,22	10,50
Máximo	534,30	479,09	1,53	5,84	5,93	99,63	8,53	29,37	20,42	35,20	27,95
DP	39,99	37,22	0,08	0,74	0,36	5,83	1,66	4,73	2,49	4,30	3,46
CV (%)	9,29	9,39	5,70	15,66	6,50	6,34	84,29	78,01	21,24	21,24	21,58
Var.	1598,97	1385,37	0,01	0,55	0,13	33,96	2,77	22,40	6,21	18,46	11,95
Curtose	-0,01	0,08	-0,38	3,17	4,57	4,30	3,51	8,58	1,79	1,79	1,35
Assimetria	0,10	-0,13	-0,14	-1,40	-1,80	-1,73	1,65	2,38	1,01	1,01	0,99
d	0,05 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,12*	0,17*	0,17*	0,14*	0,16*	0,12*	0,12*	0,08 ^{NS}

Ds = Densidade; DMG = Diâmetro Médio Geométrico; DMP = Diâmetro Médio Ponderado; COT = Carbono Orgânico Total; MO = Matéria Orgânica; ECOT = Estoque de Carbono Orgânico Total; DP: desvio-padrão; Var.: Variância; CV: coeficiente de variação; d: teste de normalidade, NS e * Não significativo e significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, respectivamente. Fonte: os autores (2025).

De acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), o coeficiente de variação (CV) apresentou valores variando de baixo, médio a alto, destacando a classe de agregados de 2,00 - 1,00 mm e <1,00 mm, onde em ambas as áreas proporcionou CV moderado ou alto em seus valores, enquanto na floresta, o COT, MO e ECOT apresentaram CV moderado em ambas as profundidades. Assim, os atributos com CV moderado e alto indicam uma moderada e alta heterogeneidade, indicando uma maior variabilidade dos atributos na área. Concordando com os resultados de Soares et al., (2018) em estudo de variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica e com Silva Neto et al., (2011), que obtiveram resultados semelhantes ao estudarem a análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo.

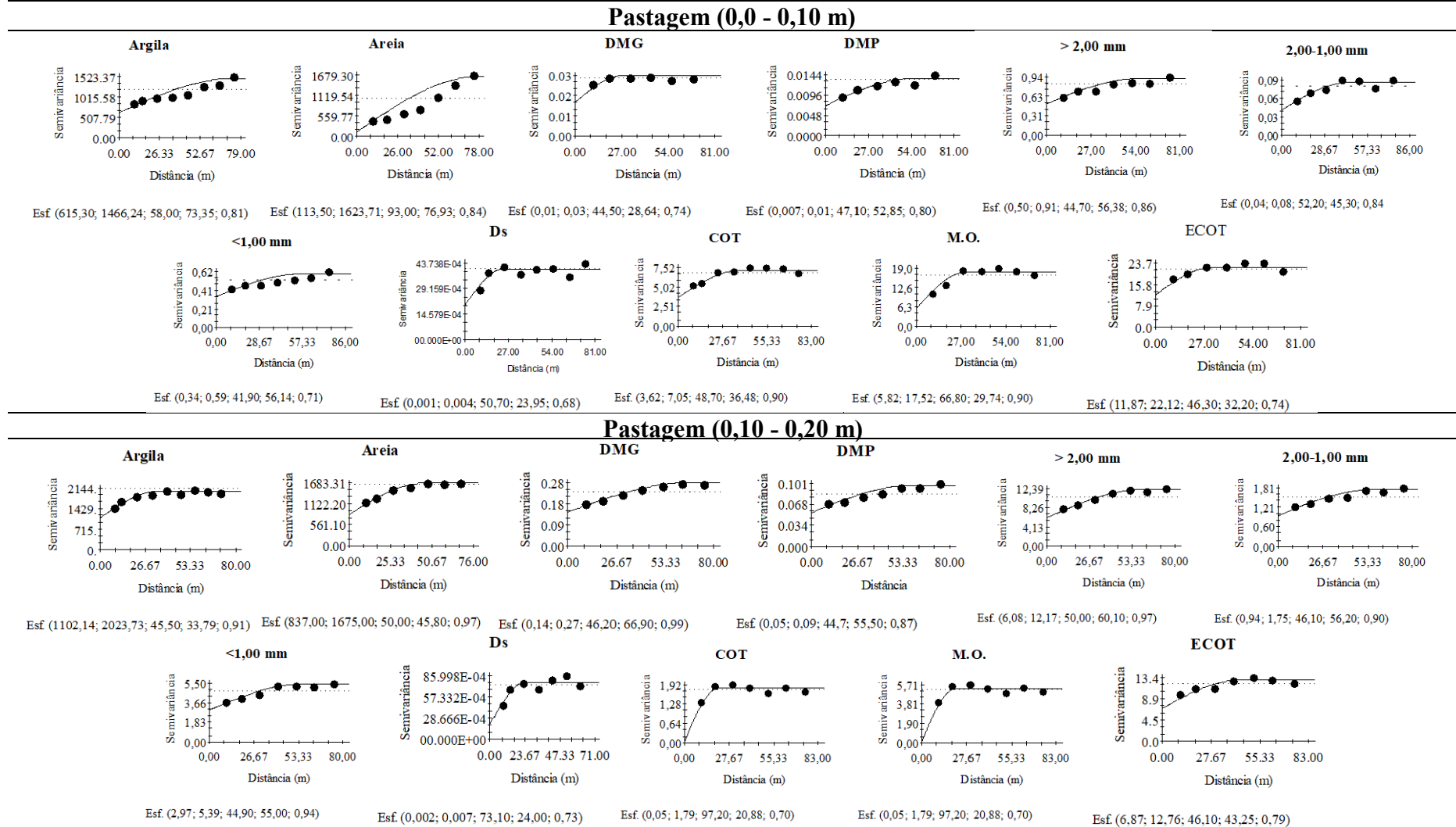
Conforme estudo realizado por Silva et al., (2017), enquanto o CV caracteriza apenas a variação do conjunto de dados (populacional), as ferramentas de geoestatística são técnicas refinadas que explicam a variação espacial dos atributos por meio do alcance e grau de dependência espacial (GDE), assim demonstrando com maior precisão a variabilidade espacial. As áreas estudadas apresentaram ajustes ao modelo de semivariograma esférico, corroborando com Corado Neto et al., (2015) (Figuras 2 e 3).

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas, assim como seus pertencentes semivariogramas podem ser observados nas Figuras 2 e 3. As análises geoestatísticas a partir da metodologia de classificação de Cambardella et al., (1994), revelaram que a maioria dos atributos apresentaram moderada GDE, conforme também observado por Araujo et al., (2022), que identificaram dependência espacial predominante em diversos atributos, com os semivariogramas demonstrando a maior parte da variância dos dados avaliados.

Alguns atributos, no entanto, exibiram alta GDE. Na pastagem, isso foi observado para a areia na camada de 0,0 - 0,10 m, e para COT e MO na camada de 0,10 - 0,20 m (Figura 2). Na Floresta, os atributos com alta GDE incluíram areia e as classes de agregados >2,00 mm e <1,00 mm. Apesar das intervenções antrópicas, a pastagem apresentou GDEs semelhantes às da área da floresta, com valores variando entre 41,40% e 97,20% (Figura 3).

No parâmetro coeficiente de regressão (R^2), a maioria dos semivariogramas apresentou valores superiores a 0,70. Destacam-se a classe de agregados <1,00 mm na camada de 10 - 20 cm da Floresta juntamente com Ds, que exibiram o menor valor de R^2 , com 0,68 (Figura 3). Já o DMG da profundidade de 0,10 - 0,20 m da pastagem alcançou o maior valor de R^2 , sendo de 0,99.

Figura 2. Parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados aos atributos do solo na área de pastagem nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)].



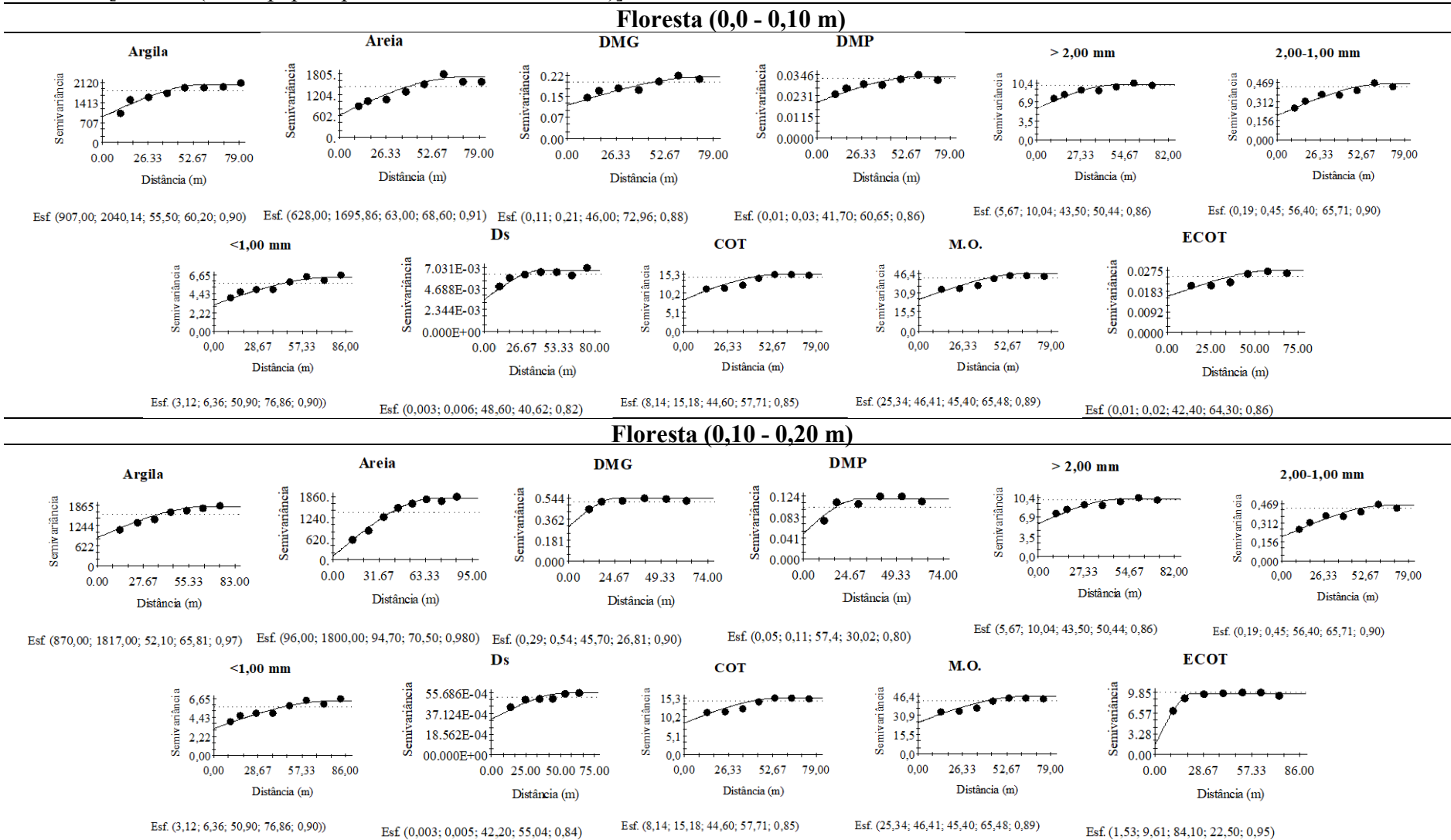
Ds = Densidade; DMG = Diâmetro Médio Geométrico; DMP = Diâmetro Médio Ponderado; COT = Carbono Orgânico Total; MO = Matéria Orgânica; ECOT = Estoque de Carbono Orgânico Total. Fonte: os autores (2025).

Os semivariogramas apresentaram valores de alcance distintos entre os atributos. Na pastagem, o atributo com maior alcance foi a areia na profundidade de 0,0 - 0,10 m, com alcance de 76,93 m, enquanto o menor alcance foi observado no COT e MO na profundidade de 0,10 - 0,20 m, ambos com alcance de 20,88 m (Figura 2). Para a área da floresta o maior alcance foi do DMG na profundidade de 0,10 - 0,20 m, com valor de 76,02 m, ao passo que o menor alcance encontrado foi a classe de agregados <1,00 mm na camada de 0,10 - 0,20 m, alcançando um valor de 16,30 m (Figura 3).

De forma geral, a floresta apresentou uma média de alcance superior ao da pastagem, indicando maior homogeneidade e menor variabilidade espacial. Em contraste, a pastagem exibiu os menores valores de alcance, refletindo maior heterogeneidade e maior variabilidade espacial, corroborando com Aquino et al., (2014b), onde estudaram sobre a distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. Notou-se que as áreas tiveram média de alcance maiores dos atributos na profundidade 0,0 - 0,10 m. A camada de 0,0 - 0,10 m teve uma diferença significativa do valor do alcance da floresta para pastagem, pois a floresta obteve média de 62,13 m, para 46,54 m na pastagem. Isso demonstra que a área da floresta apresentou atributos mais simétricos no decorrer da área, em contrapartida a pastagem demonstrou ter atributos mais assimétricos no decorrer da área. De acordo com Aquino et al., (2014a), mesmo estando em áreas paralelas com uma distância próxima e mesmo solo, a retirada da floresta para outros fins resulta em alteração na variabilidade natural dos atributos do solo.

Além disso, em todas as áreas estudadas, os alcances determinados pela modelagem dos semivariogramas superaram as distâncias estipuladas na malha amostral. Isso sugere que, nesse contexto, as coletas de solos podem ser menos adensadas, com maior espaçamento entre os pontos de coleta. De acordo com Motomiya et al., (2011), um intervalo menor do que o alcance proporciona amostras de solo com sobreposição das características espaciais, enquanto um intervalo maior do que o alcance não inclui a variabilidade espacial, e, então, o valor médio obtido destes dados não representa a área estudada. É importante que as amostras sejam coletadas em um intervalo amostral ótimo, o qual é igual ao alcance da dependência espacial (Aquino et al., 2014b).

Figura 3. Parâmetros e modelos dos semivariogramas ajustados aos atributos do solo na área de floresta nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R²)].



Ds = Densidade; DMG = Diâmetro Médio Geométrico; DMP = Diâmetro Médio Ponderado; COT = Carbono Orgânico Total; MO = Matéria Orgânica; ECOT = Estoque de Carbono Orgânico Total. Fonte: os autores (2025)

MAPAS DE KRIGAGEM

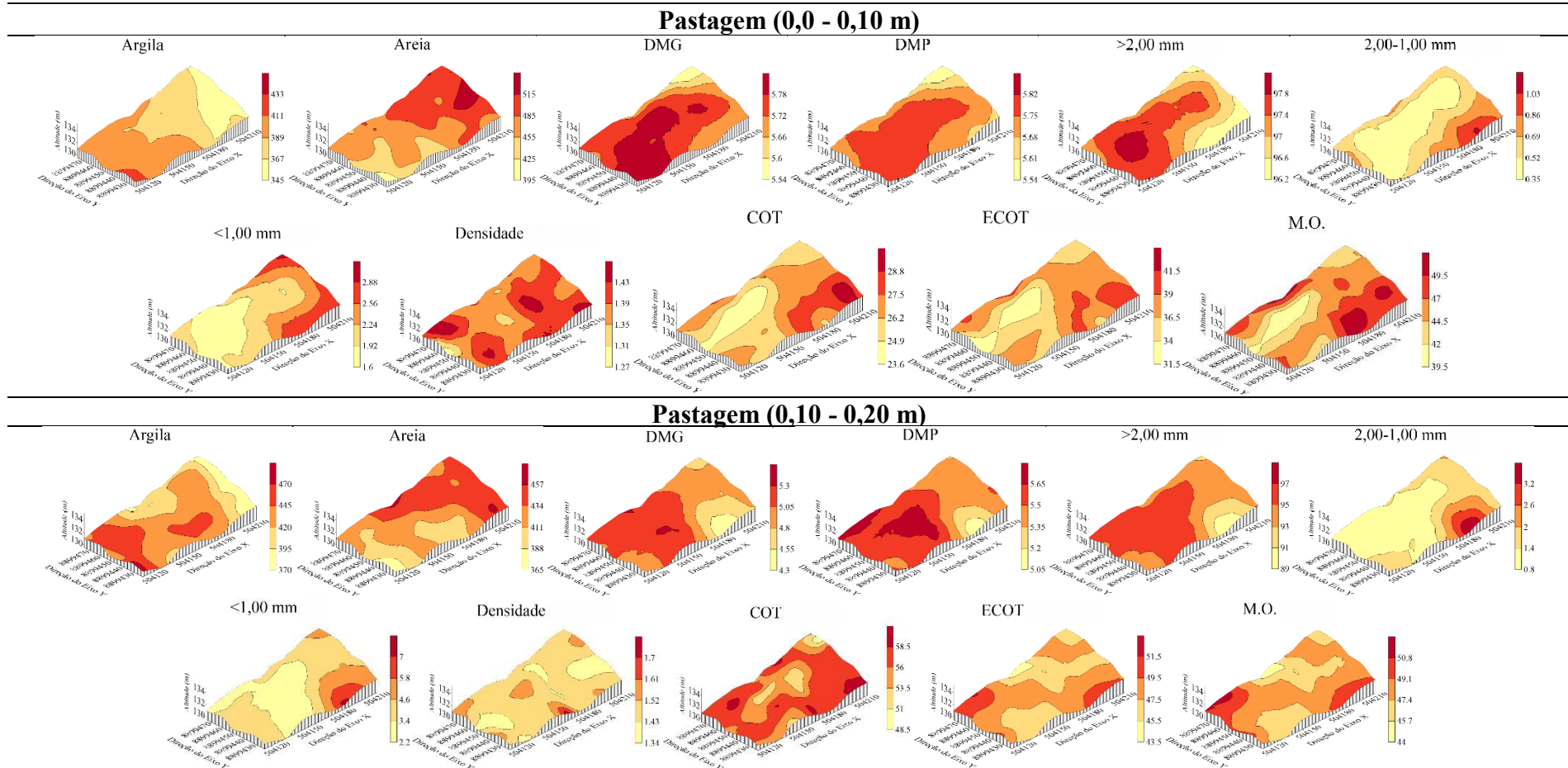
A partir da elaboração dos mapas de krigagem (Figuras 4 e 5), foram identificadas as correlações espaciais entre os atributos. Os mapas das variáveis COT, MO e ECOT em ambas as profundidades, apresentaram valores muito próximos e semelhança na distribuição dos dados. Observa-se, a predominância de baixos valores de COT, MO e ECOT na profundidade de 0,10 – 0,20 m da floresta (Figura 5). Em locais com maiores teores de COT, MO e ECOT, foi onde se obteve maiores valores de DMG, DMP e a classe de agregados >2,00 mm. No trabalho de Campos et al., (2016), a porcentagem dos agregados aumentou com os maiores teores de COT. Isso reforça a importância do COT para a agregação do solo. Na pesquisa de Silva et al., (2017), os autores constataram o impacto do COT na estabilidade dos agregados, indicando a influência direta desse atributo. Em seu estudo Corado Neto et al. (2015), observou a forte influência do COT na agregação. Já Matos et al., (2008), em seu estudo demonstraram que a maior agregação do solo está relacionada ao maior acúmulo de COT e MO no solo.

Além disso, o DMG, DMP e a classe de agregados >2,00 mm demonstraram correlação espacial com a argila, pois nas áreas com maiores teores de argila, observou-se também valores elevados de DMG, DMP e >2,00 mm, demonstrando como a argila é importante na agregação do solo. Villa e França Junior (2017), mostraram que a argila atua diretamente na estabilidade dos agregados sendo que nos volumes mais argilosos também concentra agregados maiores.

Em relação à Ds, observaram-se correlações significativas com os demais atributos avaliados. Na camada superficial de 0,0 - 0,10 m da pastagem, os maiores valores de Ds coincidiram com maiores teores de areia e menores teores de COT, refletindo o impacto do manejo nesta camada. Essa relação tornou-se menos evidente na camada de 0,10 - 0,20 m, onde a influência do manejo é reduzida. De acordo com Silva et al., (2011) solos com maiores teores de areia, tendem a apresentar maior Ds devido ao maior peso específico das partículas (quartzo) que compõem a fração areia e ao menor teor de MO, geralmente verificadas nestes solos.

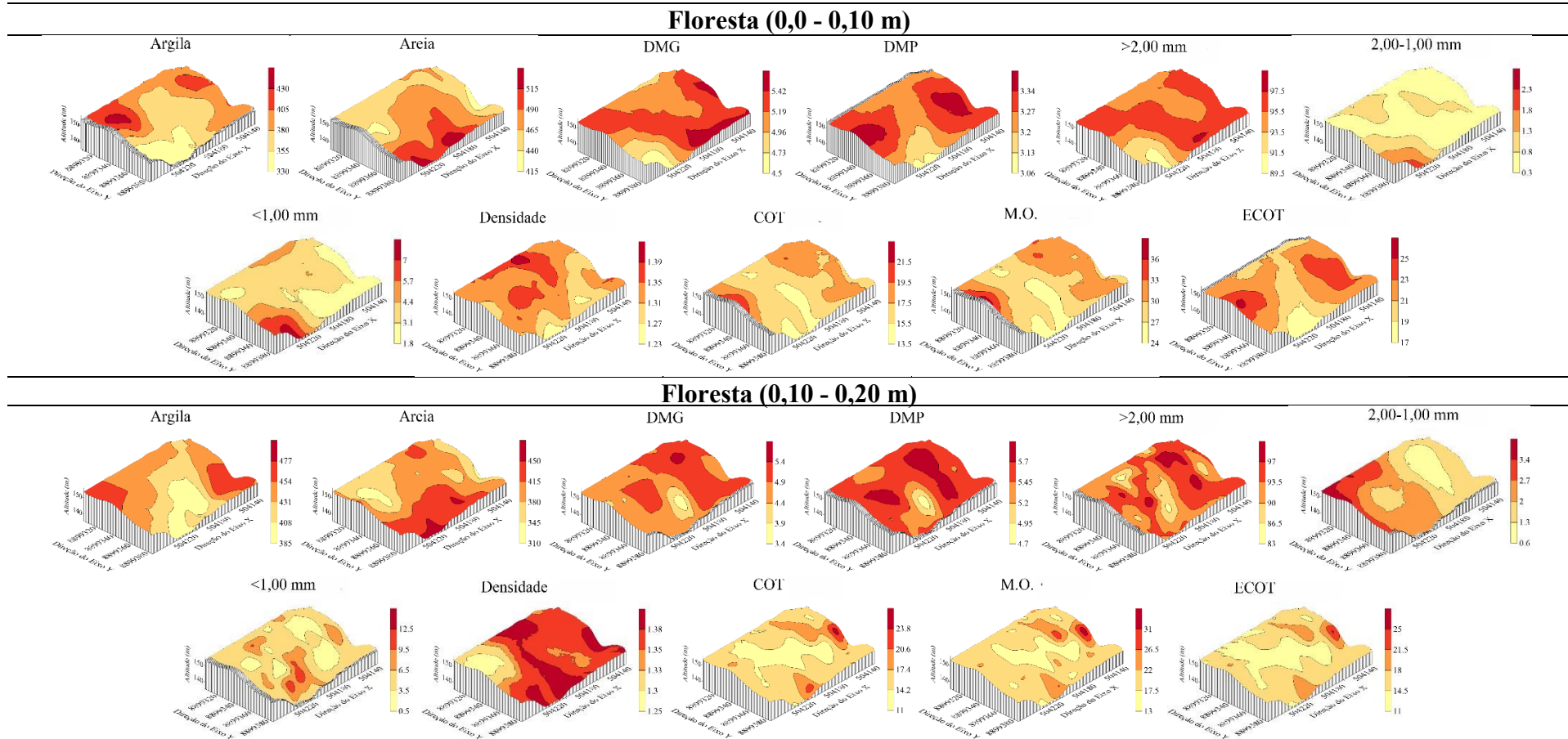
Na área de floresta, a Ds apresentou correlação positiva com o DMG e DMP dos agregados, indicando que locais com maior Ds também exibiram agregados de maiores dimensões. Esses resultados sugerem que a Ds está mais relacionada ao tipo de manejo empregado na área. O aumento da Ds e a compactação do solo no ambiente de pastagem, pode estar atrelado ao tráfego de máquinas assim como também dos animais. Conforme demonstrado por Sattler et al., (2018), a lotação bovina, com seu frequente pisoteio, exerce pressão considerável sobre o solo, podendo levar à compactação das camadas superficiais. Tais achados corroboram com estudos anteriores realizados por Silva (2016) em sistemas agropecuários e por Lanzasova et al., (2007) em sistemas de integração lavoura-pecuária.

Figura 4. Mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo na área de pastagem nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m.



Ds = Densidade; DMG = Diâmetro Médio Geométrico; DMP = Diâmetro Médio Ponderado; COT = Carbono Orgânico Total; MO = Matéria Orgânica; ECOT = Estoque de Carbono Orgânico Total. Fonte: os autores (2025).

Figura 5 – Mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo na área de pastagem nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m.



Ds = Densidade; DMG = Diâmetro Médio Geométrico; DMP = Diâmetro Médio Ponderado; COT = Carbono Orgânico Total; MO = Matéria Orgânica; ECOT = Estoque de Carbono Orgânico Total. Fonte: Os autor (2025).

Analisando os mapas de Ds e de ECOT, tanto na área de floresta e na de pastagem, os valores semelhantes de COT e de ECOT demonstraram que, em níveis distintos de Ds, o conteúdo de COT foi determinante para os resultados de ECOT encontrados nas diferentes áreas, corroborando com Alho et al., (2014), onde estudaram a variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo.

CONCLUSÕES

Em ambas as áreas obteve-se elevados valores de DMG e DMP. A pastagem apresentou maiores teores de COT, MO e ECOT, além de maior heterogeneidade e variabilidade espacial dos atributos em comparação à floresta, evidenciando a influência do uso do solo nos atributos avaliados.

Observou-se correlação espacial entre COT, MO e ECOT, que coincidiu com as áreas onde foram registrados os maiores valores de DMG, DMP e a classe de agregados >2,00 mm. O DMG, DMP e a classe de agregados >2,00 mm demonstraram correlação com a argila.

As ferramentas geoestatísticas permitiram analisar a variabilidade espacial e otimizar o planejamento amostral, indicando que coletas futuras podem adotar espaçamentos maiores devido aos alcances observados, especialmente em áreas com maior homogeneidade como a floresta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 141–151, 2000.
- 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 – MG, v.25, p.717-723, 2001.
- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 246–254, 2014.
- AQUINO, R. E.; 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 de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 397– 406, 2014a.
- AQUINO, R. E.; MARQUES JUNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos do solo em área de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 32-41, 2014b.
- 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. **Revista Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista – SP, v.11, n.15, p. e284111537170, 2022.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SILVA, L. X. Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 13, n. 29, 2017.
- BORGES, C. S.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D. A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente & Água**, Tabuaté – SP, v. 10, n. 3, p. 660-675, 2015.
- CAMBARDELLA, C. A. MOORMAM, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.3, p.304-312, 2013.
- CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 339–349, 2016.
- 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, p.123-142, 2016.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; NORONHA, R. H. F.; PARIZ, C. M.; LIMA, R. C. Correlações lineares e espaciais do solo associado à cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 765-774, 2012.

CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 1, p. 75-83, 2015.

EMBRAPA. **Mapa do Município de Ariquemes**. Embrapa Amazônia Oriental, 1998.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 31-50, 2016.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 3, p. 417-516, 2016.

GARZELLA, T. C.; KAZAMA, V. S.; SASSAKI, M. H. Amostragem e interpretação de mapas. In: BORÉM, A. QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C. (org.). **Agricultura Digital**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. p. 67-79.

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

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Org.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. cap. 5, p. 74-83.

IBGE. **Mapas físico de Rondônia**. 2011. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/>. Acesso em: 08 mar. 2025.

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

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. D. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, 2007.

LOPES, I. M.; ZIVIANI, M. M.; PINTO, L. A.S.; PINHEIRO, E. F. M.; WEBER, H.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; CAMPOS, D. V. B. Agregação e Distribuição do Carbono nos Agregados de Latossolo Vermelho sob Diferentes Níveis de Palhada da Cana-de-Açúcar em Paranaíba (PR). **Revista Virtual de Química**, Niterói-RJ, v. 9, n. 5, p. 1985-1995, 2017.

- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n.8, p. 1246-1266, 1963.
- MATOS, E. DA S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; G, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 9, p. 1221–1230, 2008.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de Precisão. 1. Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015. 224p.
- MOTOMIYA, A. V. A.; MOTOMIYA, W. R.; MOLIN, J. P.; LIRA, A.; OLIVEIRA, J. R. G.; BISCARO, G. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados - MS, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2011.
- NICODEMO, M. L. F.; BORGES, W. L. B.; SOUZA, I. M. D. Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife – PE, v.13, n.2, p.1-7, 2018.
- PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. L. Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.4, p. 545-553, 2010.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609–1623, 2007.
- REIS, L. D. R.; ARAÚJO, R. C. P.; ARAÚJO, J. A.; LIMA, J. R. F. Eficiência técnica da produção agrícola dos países da América Latina e do Caribe. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 58, n. 04, p. 1-15, 2020.
- ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998, 152 p.
- ROSENDO, J. DOS S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 359–376, 2012.
- SAATH, K, C, O.; FACHINELLO, A, L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 56, n. 02, p. 195-212, 2018.
- SANTI, L. A.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; HAUSCHILD, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p. 18-25, maio/jun. 2012.
- SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite-GO. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 78–89, 2011.

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**. 3. ed. Brasília: Embrapa, p. 356, 2018.

SILVA, E. C. **Atributos físicos de um latossolo em sistemas de produção agropecuária**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Da Grande Dourados Faculdade De Ciências Agrárias, Dourados – MS, 2016.

SILVA, L. F. D.; CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; LIMA, A. F. L.; PANTOJA, J. C. M.; SOARES, M. D. R.; MANTOVANELLI, B. C. Variabilidade espacial de agregados e estoque de carbono em solos antropogênicos sob floresta nativa. **Revista Nativa**, Sinop, v. 05, esp, p. 540-547, 2017.

SILVA, NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; CRUZ, S. PEDRICO, A. NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, Londrina - PR, v. 32, n. 2, p. 541-552, 2011.

SILVA, R. F. D.; GUIMARÃES, M. D. F.; AQUINO, A. M. D.; MERCANTE, F. M.; Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1277-1283, 2011.

SOARES FILHO, R.; CUNHA, J. P. A. R. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.689-698, 2015.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; MANTOVANELLI, B. C.; OLIVEIRA, I. A. BRITO FILHO, E. G.; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Revista Gaia Scientia**, v.12, n.2, p. 125 – 133, 2018.

SOUZA, F. G. D.; CAMPOS, M. C. C.; PINHEIRO, E. N.; LIMA, A. F. L.; BRITO FILHO, E. G. D.; CUNHA, J. M. D.; SANTOS, E. A. T.; BRITO, W. B. M. Aggregate stability and carbon stocks in Forest 55 conversion to different cropping systems in Southern Amazonas, Brazil. **Carbon Management**, v. 11, n. 1, p. 81-96, 2020.

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

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.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

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.

VILLA, J. F. D.; FRANÇA JUNIOR, P. Estabilidade dos agregados e a relação com a argila na bacia hidrográfica do Ribeirão Água Iguaraçu. **Revista GeoPantanal**, n. 23, p. 259–274, 2017.

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.

YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.