



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

WITÓRIA DE OLIVEIRA ARAUJO

**ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO NO CENTRO-
NORTE DE RONDÔNIA**

**AREIA
2025**

WITÓRIA DE OLIVEIRA ARAUJO

**ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO NO CENTRO-
NORTE DE RONDÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: solos em ecossistemas agrícolas e naturais.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos.

Coorientador: Prof. Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.

**AREIA
2025**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663a Araujo, Witória de Oliveira.

Atributos do solo sob diferentes condições de uso no
Centro-Norte de Rondônia / Witória de Oliveira Araujo.

- Areia: UFPB/CCA, 2025.

86 f. : il.

Orientação: Milton César Costa Campos.

Coorientação: Ivanildo Amorim de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Ciência do Solo. 2. Carbono orgânico. 3. NDVI. 4.
Espacialização. 5. Zonas de manejo. I. Campos, Milton
César Costa. II. Oliveira, Ivanildo Amorim de. III.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4 (043.3)

WITÓRIA DE OLIVEIRA ARAUJO

**ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO NO CENTRO-
NORTE DE RONDÔNIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: solos em ecossistemas agrícolas e naturais.

Aprovado em 29 de Janeiro de 2025

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Milton César Costa Campos
Orientador–
DSER/CCA/UFPB



Prof. Dra. Rodrigo Santana Macedo
Examinador–
UFCG/CCTA/UAGRA



Prof. Dr. Bruno Campos Mantovanelli
Examinador–
UFAM

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos, em especial aos meus pais, Alexandra Batista e Ednaldo de Araujo, e ao meu irmão, Creosio de Araujo, pelo incentivo e apoio em todas as fases da minha vida, por serem meus maiores exemplos de coragem e perseverança.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPB-CCA, pela oportunidade de realizar este curso e por todo o aprendizado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Milton César Costa Campos, pela orientação, incentivo e amizade, minha sincera gratidão.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira, por toda ajuda e incentivo.

À minha família, em especial aos meus pais, Alexandra e Ednaldo, meu irmão Creosio, meus avós Anselma (*In memoriam*), Creosi, Ilma (*In memoriam*) e João Batista (*In memoriam*), pelo amor, apoio, incentivo, pelas broncas e pelos ensinamentos que me tornaram quem sou hoje.

Aos meus amigos e colegas que conheci ao longo desta trajetória, em especial o José, a Tamirys e a galera do Borba, por terem me acolhido e tornado esses dias mais leves e agradáveis.

Aos doutores Bruno e Rodrigo, pela disponibilidade de participação na banca de defesa da minha dissertação e pelas valiosas contribuições ao meu trabalho.

À todos os professores que fizeram parte da minha carreira acadêmica.

À todas as pessoas que fizeram parte dessa trajetória e que não foram mencionadas aqui, o meu muito obrigada.

RESUMO

ARAUJO, WITÓRIA DE OLIVEIRA. ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO NO CENTRO-NORTE DE RONDÔNIA. Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, Janeiro de 2025. 87p. Dissertação Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos. Coorientador: Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.

A substituição de áreas florestadas para fins agrícolas sem o devido critério técnico é sem dúvida um dos principais problemas na região Amazônica. O objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos de diferentes condições de uso e manejo do solo (pastagem, cultivo de goiaba (*Psidium guajava* L.), sistemas agroflorestais (SAFs) e floresta), sobre os atributos físicos e químicos na região centro-norte de Rondônia, utilizando ferramentas estatísticas detalhadas, como análise multivariada e geoestatística, para identificar impactos, correlações e padrões espaciais. Este trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal de Rondônia - *Campus Ariquemes*. Foi estabelecida uma malha amostral em cada sistema de uso do solo, onde nas interseções foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas profundidades de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m. Nessas amostras foram realizadas análises físicas e químicas do solo. Os resultados foram submetidos às análises univariada, bivariada multivariada e geoestatística. Além disso, foram realizados NDVI das áreas, para posterior correlação com os atributos do solo. As análises mostraram que os atributos do solo variaram significativamente entre os ambientes estudados. Por meio da análise multivariada, com destaque para os componentes principais e a análise de fatores, foi possível observar a distinção do ambiente de floresta dos demais ambientes. Através da geoestatística, observou-se que a floresta, apresentou maior variabilidade espacial e zonas de manejo mais complexas, enquanto o ambiente de pastagem e cultivo de goiaba se mostraram mais homogêneos.

Palavras-chave: carbono orgânico; NDVI; espacialização; zonas de manejo.

ABSTRACT

ARAUJO, WITÓRIA DE OLIVEIRA. SOIL ATTRIBUTES UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF USE IN THE CENTRAL-NORTH OF RONDÔNIA. Areia – PB, Center for Agricultural Sciences, UFPB, January 2025. 87p. Dissertation Postgraduate Program in Soil Science. Advisor: Prof. Dr. Milton César Costa Campos. Cosupervisor: Dr. Ivanildo Amorim de Oliveira.

The replacement of forested areas for agricultural purposes without due technical criteria is undoubtedly one of the main problems in the Amazon region. The objective of this study was to evaluate the effects of different soil use and management conditions (pasture, guava (*Psidium guajava* L.) cultivation, agroforestry systems (AFSs) and forest) on physical and chemical attributes in the central-northern region of Rondônia, using detailed statistical tools, such as multivariate analysis and geostatistics, to identify impacts, correlations and spatial patterns. This work was developed at the Instituto Federal de Rondônia - Campus Ariquemes. A sampling grid was established in each land use system, where disturbed and undisturbed samples were collected at intersections, at depths of 0.0 - 0.10 m and 0.10 - 0.20 m. These samples were subjected to physical and chemical soil analyses. The results were subjected to univariate, bivariate, multivariate and geostatistical analyses. In addition, NDVI of the areas was performed for subsequent correlation with soil attributes. The analyses showed that soil attributes varied significantly between the environments studied. Through multivariate analysis, with emphasis on the principal components and factor analysis, it was possible to observe the distinction of the forest environment from the other environments. Through geostatistics, it was observed that the forest presented greater spatial variability and more complex management zones, while the pasture and guava cultivation environment were more homogeneous.

Keywords: organic carbon; NDVI; spatialization; management zones.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
	REFERÊNCIAS	10
2	CAPÍTULO I - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO NO CENTRO-NORTE DE RONDÔNIA, BRASIL	12
2.1	INTRODUÇÃO.....	12
2.2	METODOLOGIA.....	13
2.2.1	Caracterização das áreas de estudo	13
2.2.2	Metodologia de campo	16
2.2.3	Análises laboratoriais	17
2.2.4	Análises estatística univariada e multivariada	18
2.2.5	Análises geoestatísticas.....	19
2.3	RESULTADOS	21
2.4	DISCUSSÃO	45
2.5	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS	51
3	CAPÍTULO II – IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE USO DO SOLO SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS NO CENTRO-NORTE DE RONDÔNIA.....	56
3.1	INTRODUÇÃO.....	56
3.2	METODOLOGIA.....	57
3.2.1	Caracterização das áreas de estudo	57
3.2.2	Metodologia de campo	59
3.2.3	Análises laboratoriais	60
3.2.4	Análises estatística univariada e multivariada	61
3.2.5	Análise geoestatística e geoprocessamento	62
3.3	RESULTADOS	63
3.4	DISCUSSÃO	80
3.5	CONCLUSÃO.....	84
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

O avanço das práticas agrícolas na região Amazônica tem sido, em grande parte, impulsionado pela agricultura convencional, descrito pelo uso de terras que variam desde áreas de campos naturais e florestas até áreas destinadas ao cultivo de pastagens e agricultura de subsistência, principalmente pela agricultura familiar (Martins *et al.* 2023). A ocupação e substituição de áreas florestadas para fins agrícolas sem o devido critério técnico é sem dúvida um dos principais problemas na região Amazônica (Oliveira *et al.* 2024). Esses processos impactam diretamente a preservação dos recursos naturais, comprometendo os atributos do solo e sua funcionalidade (Fonseca *et al.* 2021).

O manejo do solo nessa região tem sido caracterizado pela conversão significativa de florestas nativas em pastagens e áreas agrícolas, acarretando alterações nos atributos físicos e químicos do solo. Essas transformações comprometem a fertilidade, a estrutura e a capacidade de suporte do solo. O manejo inadequado relacionado a exploração acima da capacidade de suporte dos solos agrícolas intensifica o processo de degradação, causando uma variedade de problemas ambientais, econômicos e sociais (Gonçalo Filho *et al.* 2018; Alves, 2021).

O uso intensivo aliado ao manejo inadequado das áreas agrícolas pode causar sérios danos à qualidade física e química do solo. Por exemplo, o tráfego excessivo de máquinas e animais acarreta a compactação do solo, alterando sua estrutura, densidade e a disposição dos agregados (da Silva *et al.* 2022). Além disso, os atributos químicos do solo também desempenham um papel crucial, servindo como indicadores eficazes para sistemas agrícolas. Isso se deve à sua forte relação com a disponibilidade de nutrientes, que é essencial para o desenvolvimento das plantas e dos organismos que habitam o solo (Costa *et al.* 2019). Assim, a interdependência entre a qualidade física e química do solo destaca a importância de um manejo consciente e adequado.

As caracterizações dos atributos do solo podem ser realizadas por meio de ferramentas estatísticas, no qual permitem avaliar alterações no solo sob influência de diferentes manejos (Silva *et al.* 2021). A aplicação de técnicas de análise multivariada na avaliação dos atributos do solo permite identificar padrões e relações complexas entre diferentes variáveis, proporcionando uma compreensão mais abrangente da qualidade do solo e auxiliando na tomada de decisões para o manejo sustentável (Panjota *et al.* 2019). Com o intuito de avaliar os impactos decorrentes do uso e ocupação do solo, muitos pesquisadores têm adotado a geoestatística como uma ferramenta eficaz para caracterizar os padrões de variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo (Lima *et al.* 2024; Souza *et al.* 2023). Estudos recentes

utilizando semivariogramas demonstraram aplicabilidade das técnicas geoestatísticas na determinação da variabilidade espacial dos atributos do solo (Araújo et al., 2023; Martins et al., 2023).

A variabilidade espacial dos atributos do solo pode apresentar alterações ao longo da paisagem, influenciada pela intensidade dos fatores e processos de formação, bem como pelas práticas de manejo e uso agrícola (Gomes et al. 2021). A compreensão da variabilidade espacial dos atributos do solo é fundamental para a adoção de práticas de manejo mais eficientes, visando a otimização da produção agrícola e a conservação dos recursos naturais. Logo, conhecer essa variabilidade permite que os agricultores ajustem suas estratégias de manejo, promovendo um uso mais sustentável do solo (Araujo et al. 2023).

Desta forma, o estudo tem as seguintes hipóteses: i) Os diferentes tipos de uso e manejo do solo influenciam significativamente a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos, alterando sua qualidade e funcionalidade; ii) Ferramentas estatísticas, como a análise multivariada e a geoestatística, podem identificar padrões e correlações entre atributos dos solos e sistemas de uso e manejo. O objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos de diferentes condições de uso e manejo do solo, tais como pastagem, cultivo de goiaba (*Psidium guajava* L.), sistemas agroflorestais (SAFs) e floresta, nos atributos físicos e químicos na região centro-norte de Rondônia. Para tanto, foram utilizadas ferramentas estatísticas detalhadas, como análise multivariada e geoestatística, a fim de se identificar impactos, correlações e padrões espaciais.

REFERÊNCIAS

- Alves, R. E. A relação entre agricultura, degradação do solo e tempestades de areia. **Revista Ayika**, v. 1, n. 1, p. 50-66, 2021.
- Araújo, R. M.; Silva, D. M. P.; Campos, M. C. C.; Lima, A. F. L.; Brito, W. B. M.; Santos, L. A. C.; Cunha, J. M. Spatial variability of organic carbon and soil carbon stock in pasture areas in União Bandeirantes, Rondônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 2, p. 1013-1024, 2023.
- 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. 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**, v. 11, n. 15, p. e284111537170, 2022.
- Costa, J. J. F.; Silva, E. B. D.; Coelho, F. F.; Tiecher, T.; Bissani, C. A.; Filippi, D. Atributos químicos relacionados à acidez e capacidade de troca de cátions de solos do Rio Grande do Sul com diferentes graus de intemperização. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 2, p. 81-100. 2019.
- da Silva, F. S.; Lemgruber, J. F. S.; Nunes, G. S.; Monteiro, V. G.; dos Santos Graia, M.; Venturoso, L. A. C. Atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo em Rondônia: Soil physical attributes under different management systems in Rondônia. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 9, p. 64710-64723, 2022.
- Gomes, A.; Santos, P. H. L. S.; Nascimento, J. M.; Arcoverde, S. N. S.; Secretti, M. L.; Costa, E. G. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade da soja**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, v. 18, n. 2, 2021.
- Gonçalo Filho, F.; Ferreira Neto, M.; Fernandes, C. S.; Dias, N. S.; Cunha, R. R.; Mesquita, F. O. Efeitos do manejo sustentável da Caatinga sob os atributos físicos do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.
- Lima, A. F. L. De; Campos, M. C. C.; Enck, B. F.; Da Silva Simões, W.; De Araújo, R. M.; Dos Santos, L. A. C.; Da Cunha, J. M. Physical soil attributes in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 194, n. 1, p. 34, 2022.
- Lima, A. F. L.; Campos, M. C. C.; Brito Silva, J.; Araújo, W. O.; Mantovanelli, B. C.; Souza, F. G.; Beirigo, R. M.; Silva, D. M. P.; Macedo, R. S.; Oliveira, F. P. The Stability of Aggregates in Different Amazonian Agroecosystems Is Influenced by the Texture, Acidity, and Availability of Ca and Mg in the Soil. **Agronomy-Basel**, v. 14, n.4, p. 677-695, 2024.
- Martins, T. S.; Cunha, J. M.; Brito, W. B.; Santos, R. V.; Lima, A. F. L.; Souza, F. G.; Campos, M. C. C.; Brito Filho, E. G.; Oliveira, F. P. Distribuição espacial anisotrópica de atributos químicos do solo em agroecossistemas e floresta nativa em Canutama, Sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1629-1646, 2023.
- Oliveira, I. A.; Santos, R. V.; Silva, D. M. P.; Almeida, R. G.; Freitas, L.; Cunha, J. M.; Oliveira, F. P.; Cavalcante, E. C.; Campos, M. C. C. Geoestatística Aplicada a Atributos Físicos e

Químicos em Área com Mandioca na Região de Humaitá, Amazonas. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 13, n. 2, p. 35-49, 2024.

Pantoja, J. C. M.; Campos, M. C. C.; Lima, A. F. L. D.; Cunha, J. M. D.; Simões, E. L.; Oliveira, I. A. D.; Silva, L. S. Multivariate analysis in the evaluation of soil attributes in areas under different uses in the region of Humaitá, AM. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, p. e2342, 2019.

Souza, F. G.; Campos, M. C. C.; Cunha, J. M.; Martins, T. S.; Assis, J. M.; Brito Filho, E. G.; Brito, W. B.; Silva, D. M. P.; Oliveira, F. P. Chemical attributes of amazon forest soil under conversion for different cultivation systems in the south of Amazonas, Brazil. **Applied ecology and environmental research**, v. 21, n. 2, p. 1767-1787, 2023.

2 CAPÍTULO I - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO NO CENTRO-NORTE DE RONDÔNIA, BRASIL

2.1 INTRODUÇÃO

A implantação de atividades agrícolas e pecuárias estão modificando a cobertura vegetal original de grande parte do território brasileiro. À semelhança, o avanço das práticas agrícolas na região Amazônica tem sido, de modo geral, condicionado pela agricultura convencional, onde o uso das terras é delimitado, abrangendo desde áreas de campos naturais e floresta até regiões destinadas ao cultivo de pastagem e à agricultura de subsistência (Martins et al. 2023).

O processo de substituição de áreas nativas por culturas anuais tem se intensificado no decorrer dos anos, resultando na aceleração dos processos de degradação do solo, especialmente quando práticas de manejo adequadas não são implementadas (Freitas et al. 2018). A utilização de manejo inadequado do solo resulta em alterações em seus atributos, em decorrência de diversos processos que promovem o empobrecimento das características físicas, químicas e biológicas dos solos (Silva et al. 2024).

O estudo da qualidade do solo abrange fatores físicos, químicos e biológicos, os quais definem seu potencial em manter a sustentabilidade e promover importantes funções ecológicas (Pereira et al., 2018; Sobucki et al., 2019). Os atributos físicos do solo são alterados em função do manejo, podendo ser intensificadas pelo constante uso de implementos e tráfego de máquinas utilizado no preparo convencional do solo (Oliveira et al, 2015). Semelhante aos atributos físicos, o estoque de carbono no solo também é afetado por práticas agropecuárias, apresentando níveis inferiores em comparação aos ambientes florestais (Calonego et al. 2012). Assim, variações nos estoques de carbono do solo estão diretamente relacionadas às práticas de uso e manejo, com implicações significativas à manutenção da qualidade do solo e mitigação dos efeitos adversos das mudanças climáticas (Primieri et al. 2017). O carbono orgânico do solo é um dos principais indicadores na avaliação dos serviços ambientais proporcionados por boas práticas agrícolas (Simone et al. 2017).

Dessa forma, o conhecimento das modificações nos atributos do solo, pode fornecer subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a sustentabilidade e conservação dos ecossistemas (Freitas et al., 2017). As avaliações dos atributos do solo podem ser realizadas com o uso de ferramentas estatísticas,

onde pode-se avaliar a qualidade dos solos, bem como, comportamentos e mudanças diretamente influenciados por distintas formas de manejos (Silva et al., 2021). Nesse sentido, alguns pesquisadores têm utilizado a geoestatística (Lima et al. 2024) para avaliar o impacto do uso e ocupação do solo, auxiliando na caracterização dos padrões de variabilidade de atributos físicos e químicos (Souza et al. 2023).

Esse estudo testa as seguintes hipóteses: i) diferentes tipos de uso e manejo influenciam a variabilidade espacial dos atributos do solo; ii) os atributos do solo sofrem alterações em função da intensidade de uso e manejo do solo. O objetivo foi avaliar, por meio de ferramentas estatísticas os impactos do uso (pastagem, cultivo de goiaba, sistema agroflorestal e floresta) nos atributos físicos e estoque de carbono orgânico dos solos na região centro-norte de Rondônia.

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Caracterização das áreas de estudo

Este trabalho foi desenvolvido em áreas experimentais do Instituto Federal de Rondônia - *Campus* Ariquemes, região centro-norte do estado de Rondônia, situado nas coordenadas geográficas 9°57'08.9"S e 62°57'26.6"W, com altitude média de 135 m.

A pesquisa foi realizada em solos sob vegetação natural (floresta) e alterados (pastagem, goiaba e sistema agroflorestal - SAFs) (Figura 1).

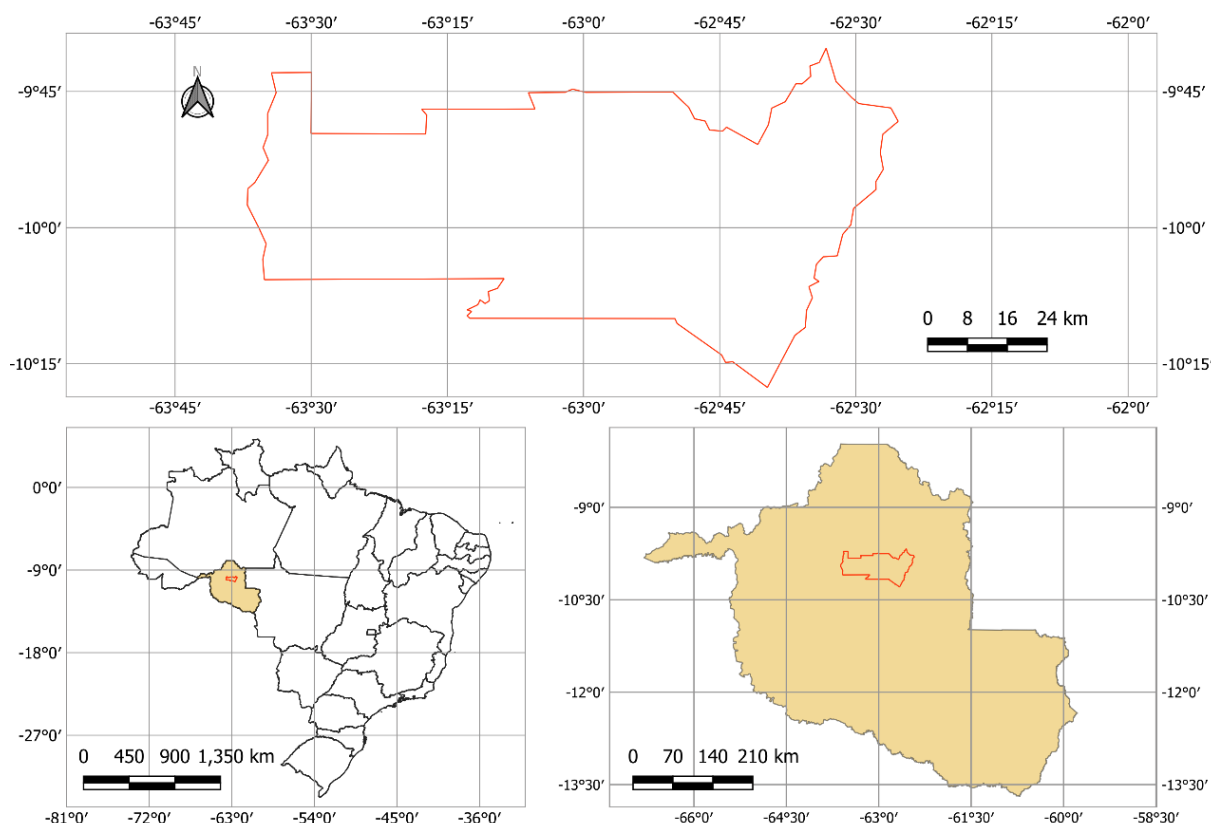


Figura 1. Localização do município de Ariquemes. **Fonte:** Araujo (2023).

Segundo classificação de Köppen, o clima na região pertencente ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), e tipo climático Aw, 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 pluviosidade está limitada pelas isoietas anuais de 1.750 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro prolongando-se até junho, com temperatura média anual de 24°C e umidade relativa do ar variando entre 80 e 85% (Brasil, 1978). Os solos da região são classificados como Latossolos, Argissolos e Gleissolos (Embrapa, 1998) (Figura 2), porém, na área de estudo o solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico típico (Oliveira et al. 2019).

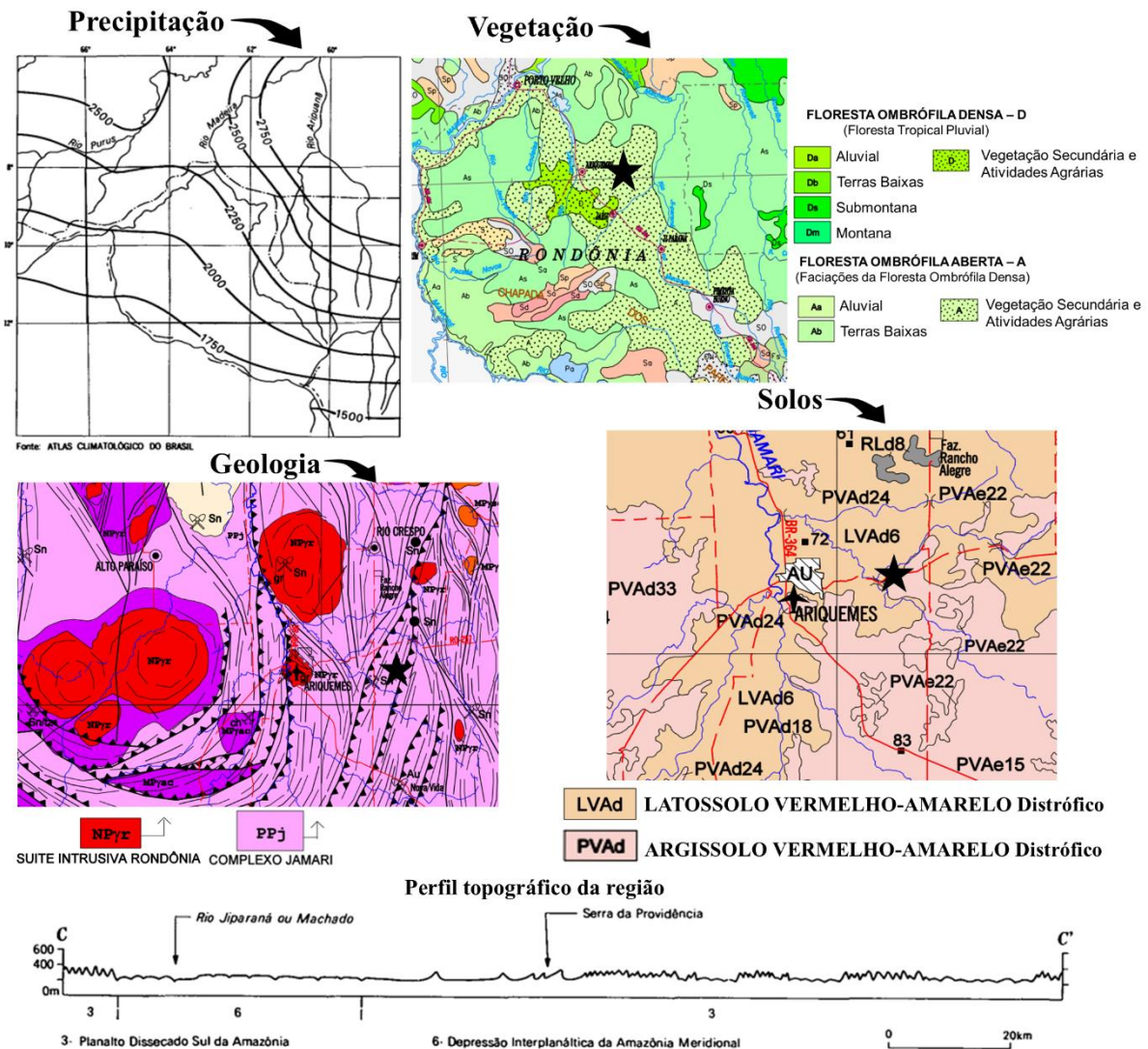


Figura 2. Perfil esquemático mostrando a precipitação média, vegetação, geologia e as classes de solos na região do vale do Jamari. **Fonte:** Adaptado de BRASIL (1978) e IBGE (2008); EMBRAPA (1998).

A geologia da região apresenta granulitos, migmatitos, granitos, adamelitos e granodioritos do Pré-Cambriano Médio a Superior do Complexo Xingu; Granitos Rondonianos do Pré-Cambriano Superior; arenitos arcoseanos, localmente quartzíticos, brancos a vermelhos, folhelhos, siltitos e quartzitos do Pré-Cambriano Superior e Eopaleozóico e sedimentos de natureza arenosa, siltosa e argilosa, recobertos por depósitos de resíduos vegetais de constituição e grau de decomposição diversos do Quaternário (Holoceno) (Brasil, 1978).

A cobertura vegetal predominante é a Floresta Tropical Densa, caracterizada sobretudo por grandes árvores, por vezes com mais de 50 m de altura, que sobressaem no estrato arbóreo uniforme entre 25 e 35 m de altura e Floresta Tropical Aberta que apresentam grandes árvores muito dispersas, com frequentes grupamentos de palmeiras e enormes quantidades de

fanerófitas sarmentosas, que envolvem as árvores e recobrem completamente o estrato inferior (Brasil, 1978).

Na tabela 1 é apresentado o histórico de uso dos últimos 5 anos das áreas de pastagem, goiaba (*Psidium guajava* L.) e SAFs.

Tabela 1. Histórico das áreas estudadas no centro-norte de Rondônia.

Uso	Histórico de uso e manejo
Pastagem	A área da pastagem passou por um processo de recuperação no ano de 2020, antes era uma área de pastagem degradada. Durante o manejo de recuperação, foi realizado um plantio de milho para a produção de silagem, após a colheita e ensilagem realizou-se aração, gradagem, calagem e adubação conforme as necessidades requeridas, seguida do preparo foi semeado o capim Mombaça (<i>Panicum maximum</i> . cv. Mombaça). A partir de então, a área não recebeu mais nenhum tipo de manejo do solo, sendo realizado apenas o manejo dos animais sob a mesma. Está em cultivo efetivo há 5 anos.
Goiaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	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). Em 2020 foi realizada adubação, calagem e poda de produção, enquanto que em 2021, 2022 e 2023 foram executadas somente práticas culturais, tais como poda de produção e roçagem das gramíneas plantadas nas entrelinhas. A colheita é realizada com auxílio de trator agrícola e carretinha de arraste. Está em sob cultivo efetivo a mais de 15 anos.
Sistema agrofloresta (SAFs)	É cultivado cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>) com seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>). O plantio possui espaçamento de 6 x 7 m. No ano de 2020, a área passou por calagem e adubação e práticas culturais como, roçagem, poda de produção e poda fitossanitárias. Nos anos seguintes realizou-se somente roçagem e poda fitossanitária. A colheita dos frutos é realizada com auxílio de trator agrícola e carretinha de arraste. Está em cultivo efetivo a mais de 15 anos.
Floresta	Caracterizada como Floresta Tropical Densa de climas quentes úmidos e superúmidos, apresentando grandes árvores, por vezes com mais de 50 m de altura, com frequentes grupamentos de palmeiras e considerável quantidade de fanerófitas sarmentosas que envolvem as árvores e recobrem completamente o estrato inferior.

2.2.2 Metodologia de campo

Foi estabelecida uma malha amostral em cada uso do solo, sendo que essa variou de acordo com o tamanho das áreas de cultivo. Nas áreas de floresta e SAFs adotou-se malhas de 50 x 100 m com espaçamento regulares de 10 m, perfazendo um total de 66 pontos amostrais em cada malha (Figura 3). Na área de cultivo de goiaba a malha amostral utilizada foi de 75 m x 150 m com espaçamentos regulares de 15 m, totalizando 50 pontos amostrais (Figura 3). Na área de pastagem a malha foi composta por 35 pontos amostrais, com espaçamentos regulares de 45 m (Figura 3). Nos pontos de cruzamento das malhas amostrais foram realizadas coletadas

de amostras deformadas e indeformadas de solo nas profundidades de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m. Todos os pontos amostrados foram georreferenciados com GPS Garmin Etrex (DATUM SIRGAS, 2000).



Figura 3. Áreas estudadas (Pastagem, Goiaba, SAF e Floresta) e respectivas malhas amostrais adotadas. Fonte: Autores (2024).

2.2.3 Análises laboratoriais

As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm (TFSA). Com a TFSA foram realizadas as análises físicas e químicas, conforme metodologia de Teixeira et al. (2017).

A granulometria foi realizada utilizando solução de NaOH a 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica utilizando o agitador tipo Wagner, com rotação lenta por 16 horas a 50 rpm. A fração argila foi separada por sedimentação pelo método da pipeta, a areia por tamisação e o silte foi calculado por diferença. A densidade do solo (Ds) foi obtida pelo método do anel volumétrico, calculada pela relação entre a massa da amostra de solo (seca a 105 °C durante 24 h) e o volume do anel volumétrico (Almeida et al. 2017). A estabilidade de agregados

foi determinada por via úmida, caracterizando o diâmetro médio geométrico (DMG) e as classes de agregados > 2,00 mm, 2,00-1,00 mm e <1,00 mm (Salton, 2017).

O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans e Bremner (1988). O estoque de carbono orgânico total (ECOT) foi calculado pela expressão (Veldkamp, 1994) (Equação 1):

$$ECOT = (COT \times Ds \times e) / 10 \quad (1)$$

onde:

ECOT = estoque de carbono orgânico total em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

COT = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada ($g \text{ kg}^{-1}$);

Ds = densidade do solo da profundidade ($kg \text{ dm}^{-3}$);

e = espessura da camada considerada (10 cm).

2.2.4 Análises estatística univariada e multivariada

Os dados foram submetidos às análises univariada e estatística descritiva e multivariada, no software Statistica 7 (Statistica, 2005). A partir da estatística descritiva, foram calculados a média, mediana, coeficiente de variação, assimetria e curtose. As hipóteses de normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade. Para a apresentação das estatísticas descritivas e distribuição primária dos dados, foram confeccionados os gráficos de boxplot. O teste de Tukey a 5% de probabilidade foi aplicado a fim de se comparar as médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado.

Considerando a estrutura multivariada dos dados, foram empregadas técnicas estatísticas multivariadas para estabelecer atributos químicos com poder discriminatório e que possam ser considerados potenciais indicadores de mudanças ambientais e para verificar semelhanças entre os diferentes solos estudados na tentativa de agrupá-los usando-se os atributos avaliados.

Foi realizada uma análise de fatores que permite relações entre um conjunto de variáveis a serem explicadas em termos de um número limitado de novas variáveis, optando-se por utilizar a análise por componentes principais (Jeffers, 1978) calculado a partir da matriz de correlação entre variáveis. Para facilitar a interpretação, utilizou-se o método de rotação ortogonal denominado Varimax (Hoffmann, 1992).

O procedimento utilizado para a seleção do número de componentes principais (CPs), foi o percentual cumulativo de no mínimo 70% da variância dos dados e aqueles que com autovalores > 1,00 (Hair, 2009). Nesses componentes principais selecionados, detecta-se as variáveis com maior correlação com os CPs, utilizando como critério de seleção as cargas das

variáveis (“loadings”), valores em módulo $\geq 0,70$. Este método permitiu estabelecer quais atributos podem ser considerados indicadores de qualidade em resposta aos sistemas de usos (pastagem, goiaba, SAFs e floresta) e, a partir destes estabelecer métodos e modelos para preservação destes solos.

A comparação das áreas foi realizada utilizando todos os atributos dos solos conjuntamente com a análise complementar discriminante (matriz de classificação de dados). A partir desta análise é possível definir se há diferenças significativas entre as áreas estudadas.

2.2.5 Análises geoestatísticas

Por meio da geoestatística foi avaliado a variabilidade e a correlação espacial dos atributos físicos e carbono orgânico do solo e dos escores obtidos pela análise fatorial. Nesse caso o uso desta ferramenta visa estabelecer os limites de variabilidade, a partir das isolinhas representadas nos mapas. Para determinação da existência da dependência espacial modelaram-se semivariogramas (Isaaks e Srivastava, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Equação 2:

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

sendo:

$\gamma(h)$ - valor da semivariância para o vetor h ;

$N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ;

$Z(x_i + h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ 7.0 (Gamma Design, 2004). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, a seleção é realizada com base o mais alto coeficiente de determinação (R^2) e nos coeficientes linear e angular, obtidos nos procedimentos de validação cruzada (dados não apresentados).

Do ajuste do modelo matemático aos valores calculados de $\gamma(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a), que são identificados como Esf. ou Exp. ($C_0 - C_1 + C_0 - [(C_0/(C_0+C_1))*100 - R^2 - a$, no qual correspondem aos modelos esférico e exponencial, respectivamente). 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 (Trangmar et al. 1985).

Na análise do grau de dependência espacial ($GDE = [(C_0/(C_0+C_1))] * 100$) das variáveis utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), onde valores de $GDE < 25\%$, 25 e 75% e $> 75\%$ são considerados dependência espacial forte, moderada e fraca, respectivamente.

Após os ajustes dos modelos matemáticos, os valores interpolados por meio da Krigagem e ajustes de semivariogramas foram usados para construção de mapas dos atributos avaliados e os escores das amostras referentes ao CP1 e CP2, com uso do programa Surfer 11 (Golden Software Inc., 1999). Os mapas de Krigagem possibilitam verificar e relacionar espacialmente os atributos dos solos estudados.

Os semivariogramas experimentais foram escalonados por meio da divisão das semivariâncias pela variância estatística (Isaaks e Srivastava, 1989). Neste trabalho os semivariogramas foram escalonados com o objetivo de reduzi-los à mesma escala, facilitando a comparação entre resultados de diferentes variáveis. Além disso, o objetivo foi representar vários semivariogramas simultaneamente para compreender melhor os padrões de similaridade e causas da variabilidade espacial (Ceddia et al., 2009). A escolha do modelo de semivariograma escalonado que melhor se ajusta aos dados foi realizada com base no menor resíduo gerado com o ajuste do modelo, além do conhecimento prático do comportamento dos atributos nos ambientes.

Os semivariogramas experimentais escalonados podem ser ajustados ao modelo esférico (Equação 3) e exponencial (Equação 4) identificado nas figuras como: Esf. ou Exp. (C_0 , $C_1 + C_0$, $[(C_0/(C_0+C_1))]$, R^2 , a , $SQRes$.):

$$\begin{cases} \hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{se } 0 < h < a \\ \hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1, & \text{se } h \geq a \end{cases} \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right], \quad h \geq 0 \quad (4)$$

em que:

C_0 = efeito pepita; $C_0 + C_1$ = patamar;

a = alcance do semivariograma;

h = distância de separação entre duas observações;

R^2 = coeficiente de determinação;

$SQRes$ = soma dos quadrados dos resíduos.

Por meio do alcance dos semivariogramas de cada variável foi possível determinar o número mínimo de amostras ainda possíveis de caracterizar a variabilidade espacial de cada atributo estudado individualmente. Posteriormente, os semivariogramas escalonados serviram como base de informação para calcular o número mínimo de amostragem do solo, para determinar a variabilidade de todos os atributos em ambas às profundidades nos quatro ambientes estudados (Equação 5), conforme proposto por Oliveira et al. (2015).

$$N = \frac{A}{(a^2)/10000} \quad (5)$$

em que:

N = número mínimo de amostras necessárias para a determinação de uma malha de amostragem;

A = área total em hectares;

a = alcance do semivariograma em metros.

2.3 RESULTADOS

Os resultados da estatística descritiva para os atributos do solo das áreas estudadas, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 2. Análises descritiva e teste de normalidade dos dados, para atributos físicos, COT e ECOT em diferentes ambientes estudados no centro-norte de Rondônia.

Parâmetros	Areia	Argila	Classes de agregados (%)			DMG	Ds	COT	ECOT
	-----g.kg ⁻¹ -----		> 2 mm	2-1 mm	< 1 mm	mm	g.dm ⁻³	g.kg ⁻¹	Mg.ha ⁻¹
Pastagem									
Profundidade 0,0 - 0,10 m									
CV	23,00	12,00	4,00	89,00	59,00	9,00	4,00	21,00	19,00
Assimetria	0,01	0,33	-1,62	2,26	1,52	-1,21	0,52	0,91	0,80
Curtose	-1,05	-0,21	2,08	5,47	2,46	0,97	0,19	0,79	0,33
KS	0,11*	0,09 ^{ns}	0,23*	0,27*	0,19*	0,17*	0,09 ^{ns}	0,15*	0,14*
Profundidade 0,10 - 0,20 m									
CV	27,00	8,00	16,00	115,00	112,00	25,00	4,00	32,00	33,00
Assimetria	-0,58	0,03	-2,37	2,34	2,27	-1,60	-0,73	1,64	1,65
Curtose	0,77	-1,04	5,08	5,27	4,47	2,22	0,42	3,91	3,63
KS	0,10 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,32*	0,28*	0,32*	0,21*	0,10*	0,15*	0,18*
Goiaba									
Profundidade 0,0 - 0,10 m									
CV	20,0	14,00	4,00	97,00	91,00	12,00	7,00	24,00	23,00
Assimetria	-0,36	-0,08	-1,44	1,56	1,54	-1,36	-0,82	1,17	1,16
Curtose	-0,10	0,51	1,27	2,01	1,72	1,08	0,60	1,71	1,42
KS	0,14*	0,08 ^{ns}	0,18*	0,16*	0,18*	0,17*	0,17*	0,13*	0,16*
Profundidade 0,10 - 0,20 m									
CV	24,00	15,00	8,00	69,00	67,00	18,00	7,00	25,00	23,00
Assimetria	-0,54	-0,03	-0,56	0,54	0,59	-0,04	-0,95	2,18	2,32

Curtose	0,34	-0,17	-0,40	-0,46	-0,23	-1,06	1,22	8,04	8,44
KS	0,12*	0,11*	0,11*	0,10*	0,12*	0,10*	0,10*	0,14*	0,15*
SAFs									
Profundidade 0,0 - 0,10 m									
CV	16,00	18,00	3,00	59,00	77,00	8,00	6,00	7,00	10,0
Assimetria	-1,01	0,30	-1,75	0,80	3,85	-1,52	0,10	-0,70	-0,04
Curtose	0,56	-0,25	3,85	0,44	21,13	3,14	0,31	0,07	-0,33
KS	0,14*	0,07 ^{ns}	0,15*	0,10*	0,22*	0,15*	0,05 ^{ns}	0,10*	0,08 ^{ns}
Profundidade 0,10 - 0,20 m									
CV	17,00	17,00	7,00	64,00	75,00	18,00	6,00	5,00	8,00
Assimetria	-1,39	0,37	-0,99	1,10	2,23	-1,04	-0,11	-1,18	-0,17
Curtose	3,19	0,07	0,40	1,09	5,68	1,18	0,25	2,41	-0,24
KS	0,12*	0,07 ^{ns}	0,13*	0,11*	0,20*	0,12*	0,06 ^{ns}	0,10*	0,05 ^{ns}
Floresta									
Profundidade 0,0 - 0,10 m									
CV	10,0	7,00	3,00	71,00	51,00	7,00	7,00	12,00	16,00
Assimetria	0,56	-0,57	-0,83	0,85	1,20	-0,84	-0,40	-0,48	-0,68
Curtose	1,70	2,67	-0,11	-0,14	1,31	0,23	0,99	0,10	0,37
KS	0,05 ^{ns}	0,11*	0,14*	0,15*	0,14*	0,15*	0,10*	0,10*	0,13*
Profundidade 0,10 - 0,20 m									
CV	7,00	8,00	10,0	77,00	90,0	20,0	7,00	10,0	13,00
Assimetria	0,51	-0,53	-1,66	1,10	2,67	-1,09	-0,65	-1,44	-0,94
Curtose	-0,67	3,22	3,09	0,69	9,52	1,70	1,71	3,61	1,58
KS	0,10*	0,14*	0,15*	0,14*	0,18*	0,09*	0,09*	0,12*	0,11*

COT=; DMG= ; DMP = ;Ds= ; CV = Coeficiente de Variação; KS = Kolmogorov Smirnov; ns = não significativo a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

O coeficiente de variação (CV), apresentou valores variando de 3,00 a 115,00%. Apresentaram baixo CV os atributos: >2,00 mm e Ds de todas as áreas e profundidades avaliadas, em exceto o >2,00 mm da pastagem na camada 0,10 - 0,20 m; DMG da pastagem, SAFs e floresta na profundidade de 0,0 - 0,10 m; areia e argila da floresta nas duas profundidades e argila da pastagem de 0,10 - 0,20 m; e COT e ECOT da área de SAFs nas duas camadas avaliadas e COT da Floresta de 0,10 - 0,20 m. Revelaram-se com médio CV os atributos: areia de 0,10 - 0,20 m da pastagem, areia e argila 0,10 - 0,20 m na pastagem e nas duas profundidades das áreas de goiaba e SAFs; > 2,00 mm na pastagem de 0,10 - 0,20 m; 2,00 - 1,00 mm no SAFs de 0,10 - 0,20 m; < 1,00 mm na pastagem e floresta de 0,0 - 0,10 m; DMG na pastagem, SAFs e floresta na profundidade de 0,10 - 0,20 m e na goiaba em ambas as profundidades; e COT e ECOT da pastagem e goiaba em ambas as profundidades e da floresta de 0,0 - 0,10 m e ECOT da floresta na camada de 0,10 - 0,20 m. Classificaram-se com Alto CV os atributos: 2,00 - 1,00 mm da pastagem, goiaba, floresta em ambas as profundidades e do SAFs de 0,10 - 0,20 m; e < 1,00 mm da pastagem e floresta na profundidade de 0,10 - 0,20 m e da goiaba e SAFs em ambas as profundidades.

A estatística descritiva mostrou que grande parte dos atributos apresentam valores de assimetria próximo à zero, logo apresentando simetria dos dados. Os valores de assimetria variaram de -2,37 a 3,85 (Tabela 2). Quanto aos atributos que apresentam valores de assimetria maiores que zero indicam que a distribuição é assimétrica à direita ou positiva, enquanto que aqueles com valores menores que zero, apresentam distribuição assimétrica à esquerda ou negativa. Para curtose nota-se valores variando de -1,06 a 21,13, evidenciando que estes são influenciados por valores extremos, porém, encontram-se dentro dos valores considerados aceitáveis (-2 a +2) em estudos geoestatísticos (Negreiros Neto *et al.* 2014).

Através do teste de Kolmogorov Smirnov foi possível observar normalidade na distribuição dos dados em quase todas as variáveis avaliadas, exceto para areia de 0,10 - 0,20 m da pastagem e 0,0 - 0,10 m da floresta, para argila nas áreas de pastagem e SAFs e de 0,0 - 0,10 m da goiaba, para Ds de 0,0 - 0,10 da pastagem e nas duas profundidades do SAFs e para ECOT que também não apresentou significância na área de SAFs (Tabela 2) em ambas as profundidades. Essa normalidade pode ser observada também ao avaliar a proximidade entre a média e mediana, conforme apresentadas nos gráficos box-plot (Figuras 4, 5 e 6).

Ao observar os componentes da textura do solo, percebe-se que houve diferença estatística para as variáveis avaliadas (Figura 4). O atributo de argila apresentou o mesmo comportamento nas duas profundidades, e os maiores valores foram apresentados pela área da floresta (671,97 e 683,18 g kg⁻¹). Já os menores valores foram para as áreas de SAFs de 0,0 - 0,10 m (445,15 g kg⁻¹) e goiaba e SAFs de 0,10 - 0,20 m (492,10 e 475,90 g kg⁻¹), não diferindo estatisticamente entre si. Os maiores teores de areia foram nas áreas de goiaba e SAFs de 0,0 - 0,10 m (328,52 e 327,60 g kg⁻¹) não apresentando diferença estatística entre si e de 0,10 - 0,20 m na goiaba (310,00 g kg⁻¹). Já os menores teores de areia são para a pastagem e floresta nas duas profundidades, com valores variando entre 143,98 e 192,50 g kg⁻¹ não havendo significância respectivamente entre as medias.

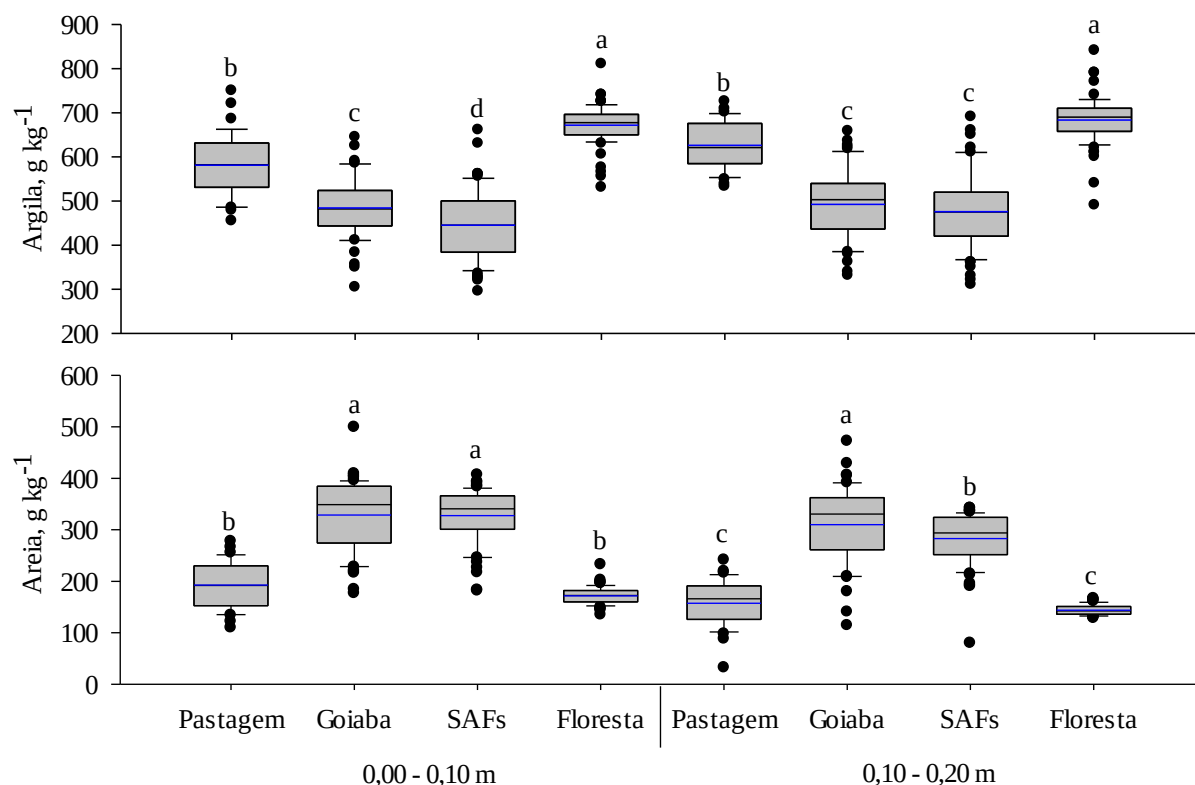


Figura 4. Boxplot e teste de média dos componentes da textura do solo em diferentes ambientes. A linha azul indica a média dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, na mesma profundidade.

Os agregados apresentaram diferença significativa somente para a classe de 2,00 - 1,00 mm na profundidade de 0,0 - 0,10 m, sendo que a maior média foi observada na área da pastagem (1,92%) e a menor média na área da goiaba (0,76%). Logo as classes de agregados > 2,00 mm e <1,00 mm, não apresentou diferença estatística em nenhum dos ambientes estudado (Figura 5).

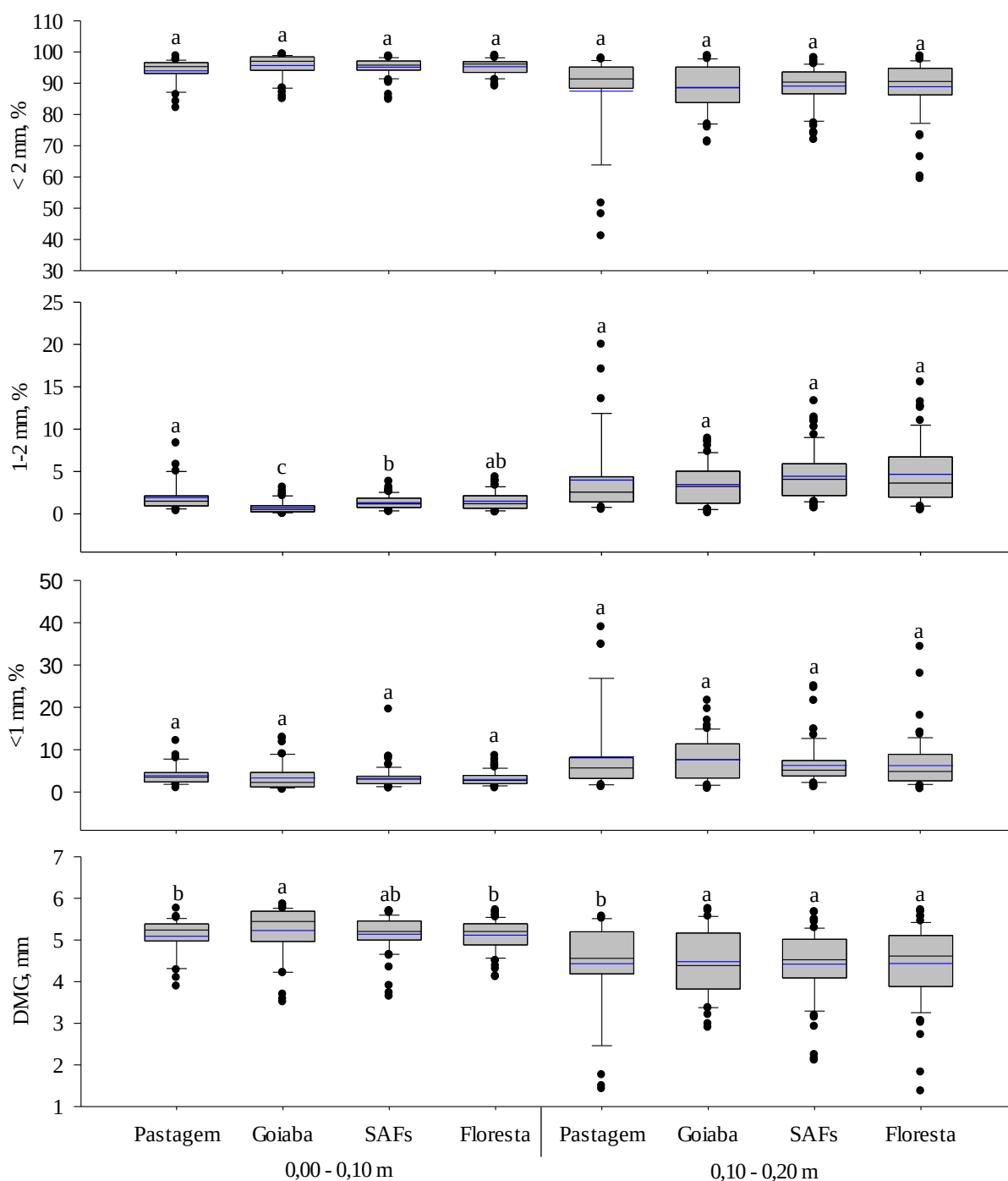


Figura 5. Boxplot e teste de média dos agregados do solo em diferentes ambientes. A linha azul indica a média dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, na mesma profundidade.

Quanto ao DMG, a área da goiaba foi a que apresentou os maiores diâmetros (5,71 mm) em relação as demais áreas na profundidade de 0,0 - 0,10 m, já de 0,10 - 0,20 m as áreas da goiaba, SAFs e floresta apresentou os maiores diâmetros (5,30, 5,20 e 5,18 mm) sendo que essas não possuíram diferença estatística entre si respectivamente, logo a área da pastagem foi a que apresentou o menor DMG (4,43 mm) (Figura 5).

O ambiente de floresta apresentou os menores valores de Ds ($1,10$ e $1,12$ g dm^{-3}) nas duas camadas avaliadas, já os maiores valores de Ds foram apresentados nas áreas de pastagem e goiaba nas duas profundidades, com valores entre $1,34$ e $1,38$ g dm^{-3} (Figura 6).

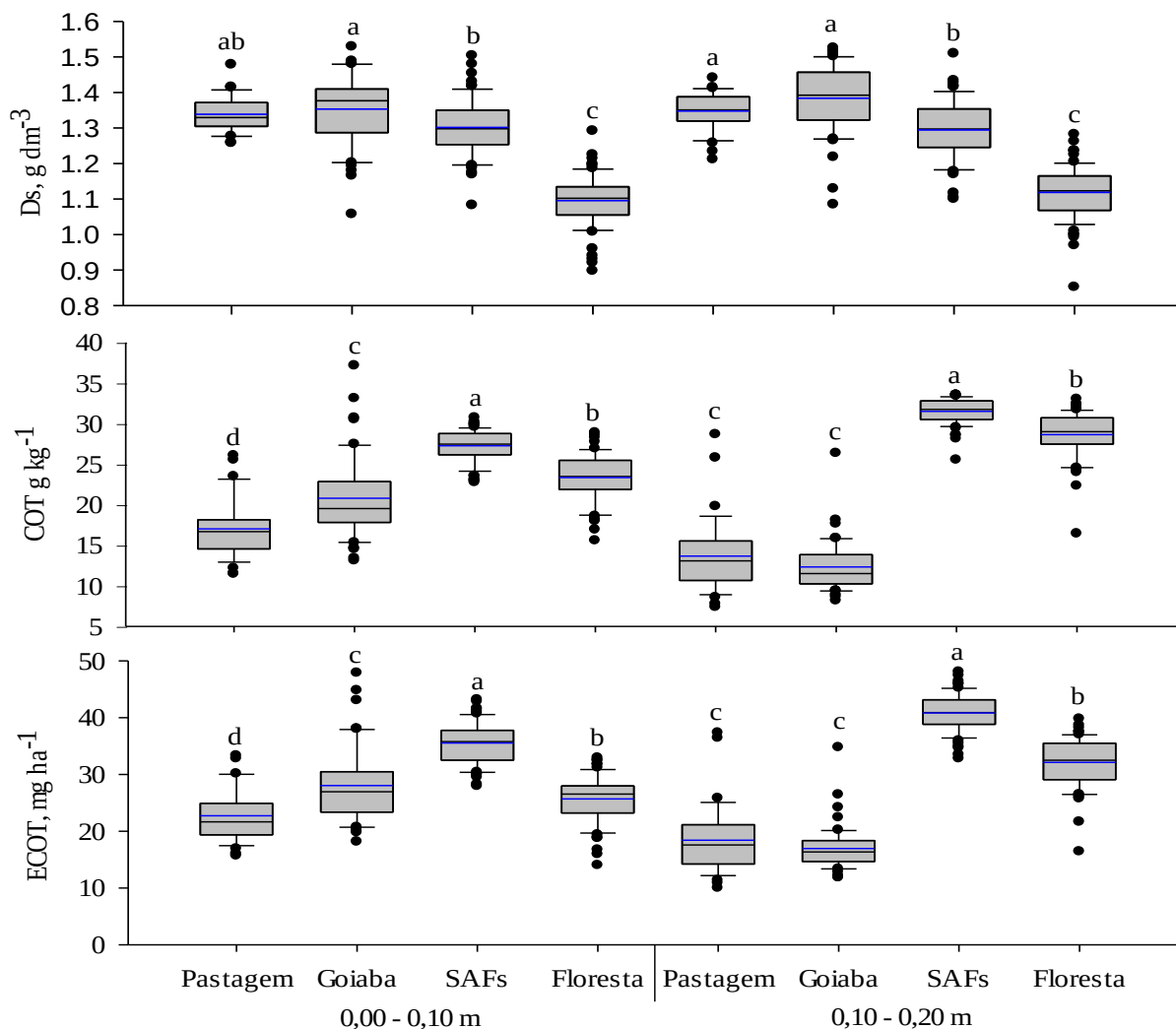


Figura 6. Boxplot e teste de média da densidade, carbono orgânico total e estoque de carbono orgânico total do solo em diferentes ambientes. A linha azul indica a média dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, na mesma profundidade.

Ao estudar os teores de COT e ECOT do solo, pode-se observar que ambas as variáveis apresentaram significância estatística e um mesmo comportamento na distribuição das médias, sendo que os maiores teores de COT ($27,26$ e $31,51$ g kg^{-1}) e ECOT ($35,50$ e $40,80$ Mg ha^{-1}) foram apresentados na área de SAFs nas duas profundidades estudadas. Já os menores valores de COT e ECOT do solo, estão presentes na área de pastagem ($17,02$ g kg^{-1} e $22,71$ Mg ha^{-1}) na profundidade de $0,0 - 0,10$ m e nas áreas de pastagem ($13,67$ g kg^{-1} e $18,40$ Mg ha^{-1}) e goiaba ($12,32$ g kg^{-1} e $16,94$ Mg ha^{-1}) na profundidade de $0,10 - 0,20$ m.

A análise de fatores (Tabela 3) possibilitou avaliar os atributos que apresentavam maiores cargas fatoriais, de maneira a estabelecer quais destes, apresentaram poder discriminatório em comum para as áreas estudadas.

Tabela 3. Fatores extraídos por componentes principais, destacando os atributos com cargas superiores a 0,7 (módulo), na profundidade de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 1	Fator 2	Fator 3
	----- 0,0 - 0,10 m -----			----- 0,10 - 0,20 m -----		
Areia	-0,1131	0,8287*	-0,2948	-0,084	0,7044*	0,5905
Argila	0,0757	-0,8540*	0,2961	-0,056	-0,6221	-0,6738
DMG	-0,9748*	-0,0467	-0,0870	-0,9448*	0,0699	0,0906
> 2,00 mm	-0,9811*	-0,1050	0,0438	-0,9853*	0,0631	-0,1018
2,00-1,00 mm	0,8279*	-0,0212	0,1388	0,8449*	-0,2301	0,1736
< 1,00 mm	0,8811*	0,1260	-0,1380	0,9429*	0,0341	0,0511
Ds	0,0103	0,6360	-0,5890	0,0989	0,8270*	0,1526
COT	-0,0568	0,5553	0,8266*	-0,1625	-0,7443*	0,6426
ECOT	-0,0716	0,8198*	0,5289	-0,1555	-0,5807	0,7658*
Autovalores	3,4017	2,8307	1,5324	3,5268	2,5213	1,8768
% da variância total	37,7966	31,4518	17,0267	39,1862	28,0142	20,8534
Autovalores cumulativo	3,4017	6,2324	7,7648	3,5268	6,0480	7,9248
% cumulativa da variância total	37,7966	69,2484	86,2751	39,1862	67,2004	88,0538

DMG = diâmetro médio geométrico, DS = densidade do solo, COT = carbono orgânico total, ECOT = estoque de carbono orgânico total. * Valores mais significativos; CP1, CP2 e CP3: componente principal 1, 2 e 3.

Na Tabela 3, podemos observar os fatores extraídos por componentes principais dos atributos, nas profundidades de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m. Na primeira profundidade, nota-se que os dois primeiros fatores explicam 69,25% da variância total dos dados. Os atributos DMG, > 2,00 mm, 2,00 - 1,00 mm e < 1,00 mm foram os mais relevantes para a determinação do Fator 1, explicando 37,80% da variância total. A areia, argila e ECOT estão relacionados ao Fator 2 que explicou 31,45% da variância total. Quanto a Ds e COT, esses não apresentaram carga fatorial nos dois primeiros fatores, sendo um indicativo de baixa potencialidade de explicação dos resultados, porém, foi possível observar elevada carga fatorial no Fator 3. Já na segunda profundidade, observa-se que os dois primeiros fatores explicam 67,20% da variância total dos dados e mostrou que os atributos DMG, > 2,00 mm, 2,00 - 1,00 mm e < 1,00 mm apresentaram maiores relevâncias na determinação do Fator 1, explicando 39,19% da variância total. A areia, Ds e COT estão relacionados ao Fator 2 que explicou 28,01% da variância total. Quanto a argila e ECOT esses não apresentaram carga fatorial elevada nos dois primeiros fatores, porém, foi possível observar elevada carga fatorial do ECOT no Fator 3.

A agregação do solo apresentou correlação com todos os ambientes em ambas as profundidades avaliadas, explicando que o sistema de uso e o manejo utilizado não influenciou

em suas características, isso em exceto para as classes 2,00 - 1,00 mm e < 1,00 mm na profundidade de 0,10 - 0,20 m, que apresentaram correlação mais forte com as áreas de pastagem e floresta (Figura 7). O atributo de argila na primeira profundidade, se aproximou mais das áreas de pastagem e floresta, enquanto a areia e o ECOT das áreas de goiaba e SAFs. Já na segunda profundidade, os atributos de areia e Ds apresentaram uma correlação mais forte com a área de goiaba, indicando que provavelmente essas variáveis sejam mais sensíveis à descrição desta área.

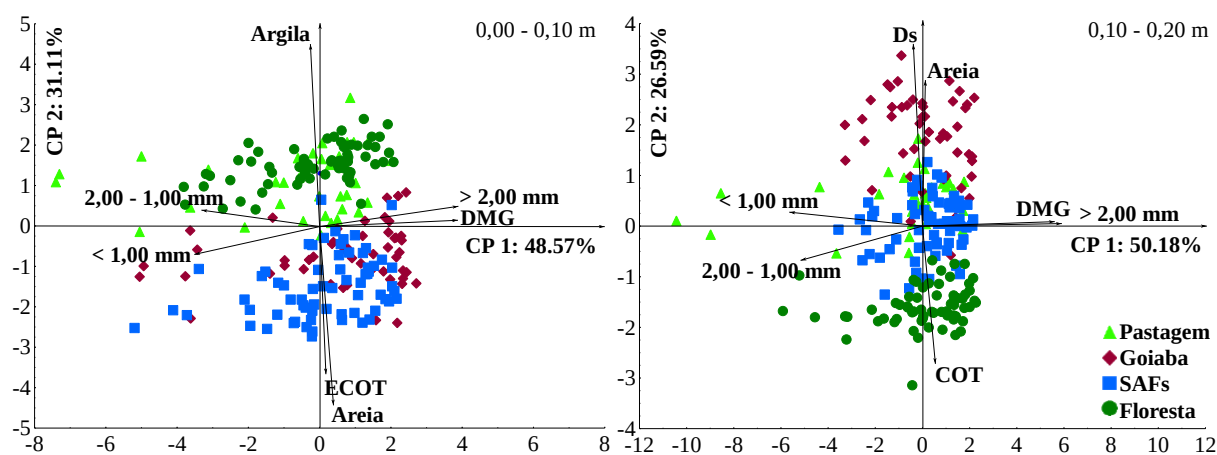


Figura 7. Análise de componentes principais dos atributos físicos, COT e ECOT, em áreas sob diferentes usos no centro-norte de Rondônia.

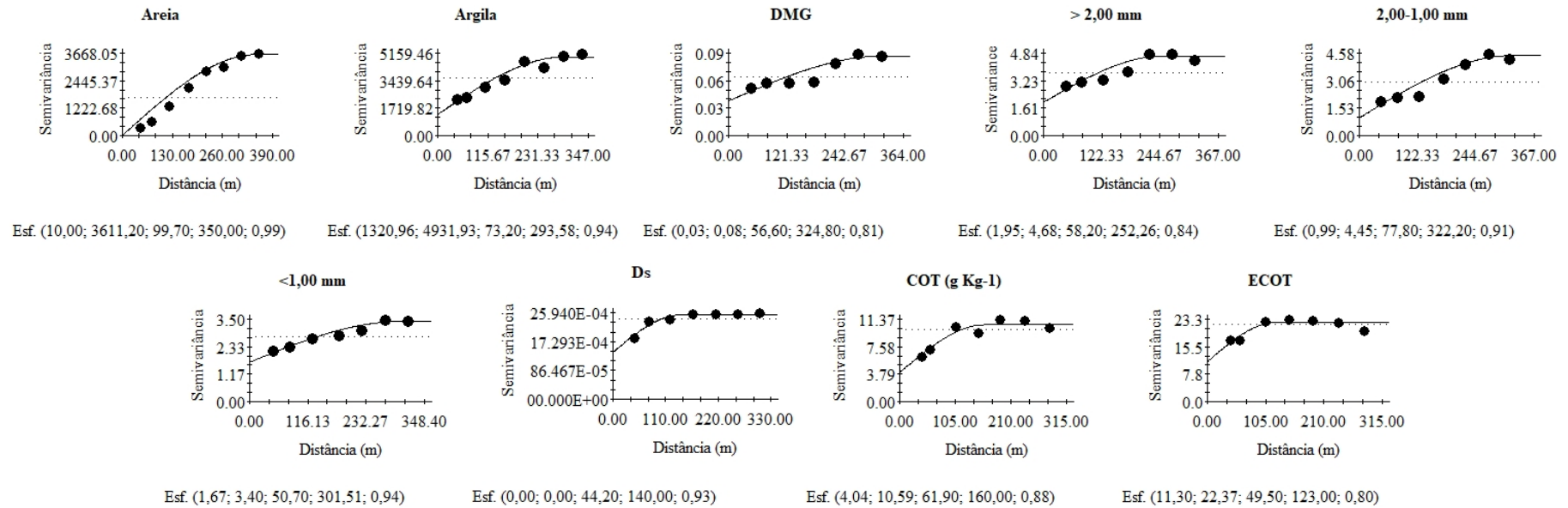
A análise geoestatística, avaliada por meio dos semivariogramas, apresentou dependência espacial para todos os atributos do solo avaliados. Os semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico para todos os ambientes e profundidades estudadas (Figura 8). Os semivariogramas ajustados apresentaram coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,71 a 0,99.

O Grau de Dependência Espacial (GDE) apresentou valores variando de 27,30% a 99,70% entre as áreas estudadas, o que indica dependência espacial moderada e fraca. A área de pastagem apresentou GDE fraca para os atributos de areia em ambas as profundidades e para a classe de agregado 2,00 - 1,00 mm na profundidade de 0,0 - 0,10 m, os demais atributos das duas profundidades foram classificados com GDE moderada. No ambiente de goiaba foram observadas fraca GDE para areia nas duas camadas e argila na segunda camada de 0,10 - 0,20 m do solo avaliada, e todos os outros atributos se enquadram com GDE moderada. Na área de SAFs o atributo de areia na profundidade de 0,0 - 0,10 m foi o único que apresentou fraca dependência espacial, todos os demais atributos se classificam com dependência espacial moderada. Já o ambiente de floresta, apresentou todos os atributos com moderada dependência espacial.

Ao avaliar o alcance, observa-se que na área da pastagem os menores valores foram encontrados para os atributos de ECOT (123,00 m) na profundidade de 0,0 - 0,10 m e Ds (125,00 m) na profundidade de 0,10 - 0,20 m, já os maiores valores de alcance foram observados para areia (350,00 m) na primeira camada de 0,0 - 0,10 m e DMG (390,00 m) na segunda camada de 0,10 - 0,20 m. No cultivo de goiaba a classe de agregados < 1,00 mm (40,00 m) apresentou o menor valor de alcance na profundidade de 0,0 - 0,10 m, e o ECOT (45,00 m) na profundidade de 0,10 - 0,20 m, enquanto os maiores valores foram observados para COT (125,00 m) em ambas as profundidades. Na área de SAFs os menores valores de alcance foram atribuídos aos atributos 2,00 - 1,00 mm (38,00 m) na primeira camada de 0,0 - 0,10 m, e > 2,00 mm e Ds (25,00 m) na segunda camada de 0,10 - 0,20 m, já os maiores alcances foram obtidos pela classe de agregados < 1,00 mm (75,00 m) na primeira camada de 0,0 - 0,10 m e areia (70,0 m) na segunda camada de 0,10 - 0,20 m. Na área da floresta os menores valores de alcances foram obtidos por ECOT (22,00 m) na profundidade de 0,0 - 0,10 m e pela classe de agregados 2,00 - 1,00 mm (21,00 m) na profundidade de 0,10 - 0,20 m, enquanto os maiores valores foram atribuídos a areia (80,0 m) na profundidade de 0,0 - 0,10 m e ECOT (80,0 m) na profundidade de 0,10 - 0,20 m. Ao observar de forma geral os ambientes, nota-se que a área de floresta apresentou os menores valores de alcance para a maioria dos atributos avaliados em relação as demais áreas, o que indica que esta possui uma maior heterogeneidade e variabilidade espacial.

Os mapas de distribuição espacial dos atributos permitem uma maior compreensão da distribuição, esses estão sendo apresentados em cinco intervalos regulares de valores para cada atributo (Figura 9) Por meio dos mapas é possível observar o comportamento dos atributos em funções do relevo, principalmente as variáveis relacionadas a textura do solo, pois essas estão mais sujeitas a alterações acometidas pelos diferenciados fluxos de água. Através dos mapas é possível também observar correlações espaciais entre os atributos, a exemplo a relação entre os atributos de areia e Ds, que ao observar os mapas de todas as áreas, nota-se que onde se encontram os maiores teores de areia, também se encontram os maiores níveis de densidade do solo.

Pastagem 0,0 - 0,10 m:



Pastagem 0,10 - 0,20 m:

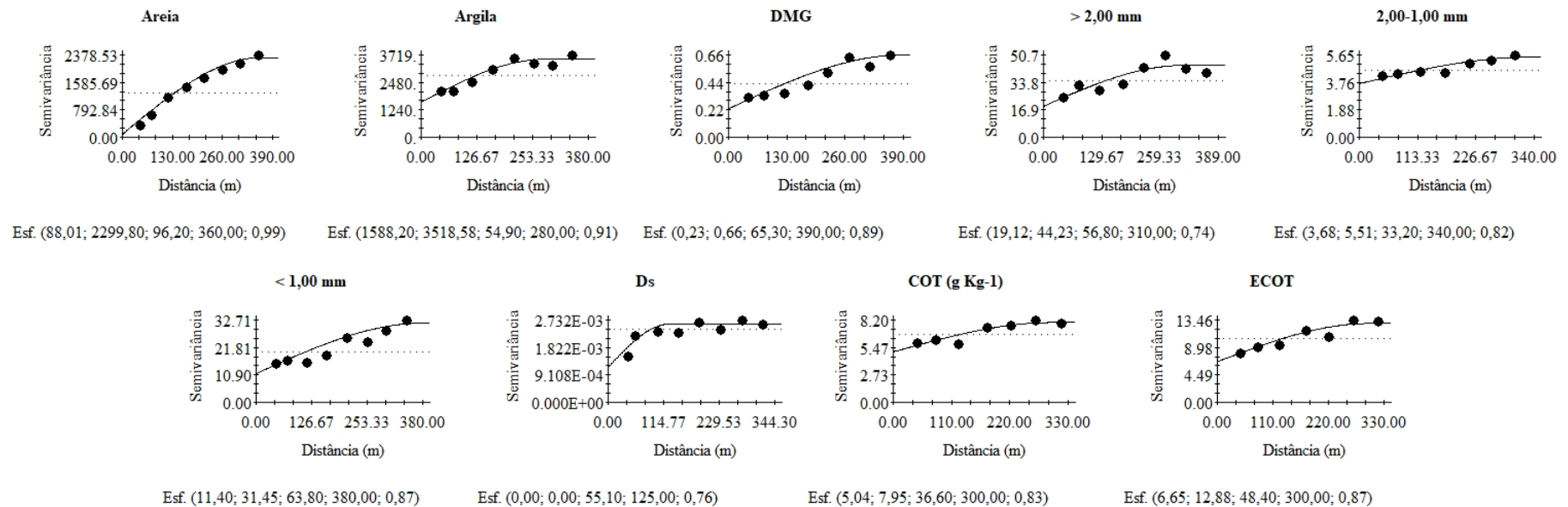
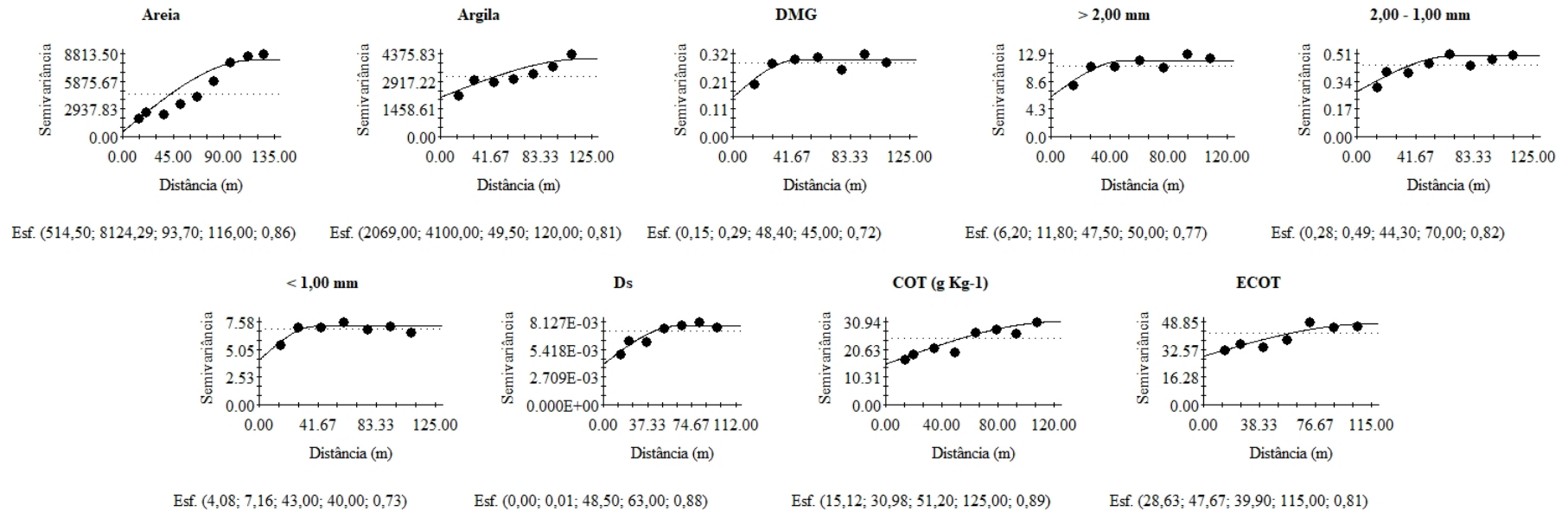


Figura 8. Semivariogramas dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)] continua...

Goiaba 0,0 - 0,10 m:



Goiaba 0,10 - 0,20 m:

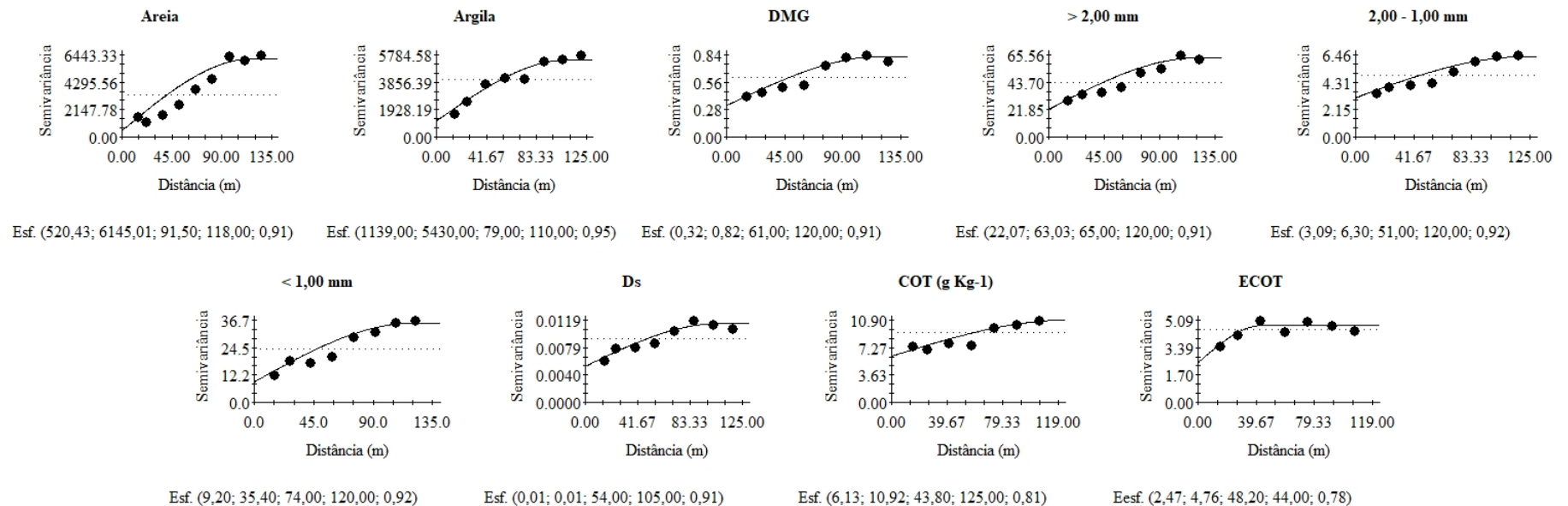
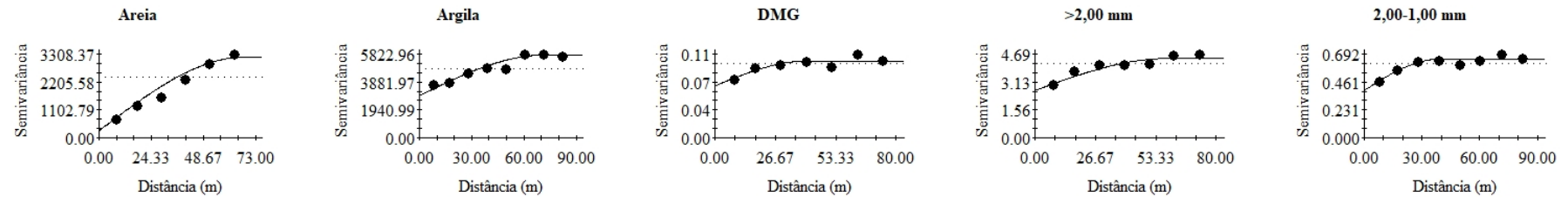


Figura 8. Semivariogramas dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)] continua...

SAFs 0,0 – 0,10 m:



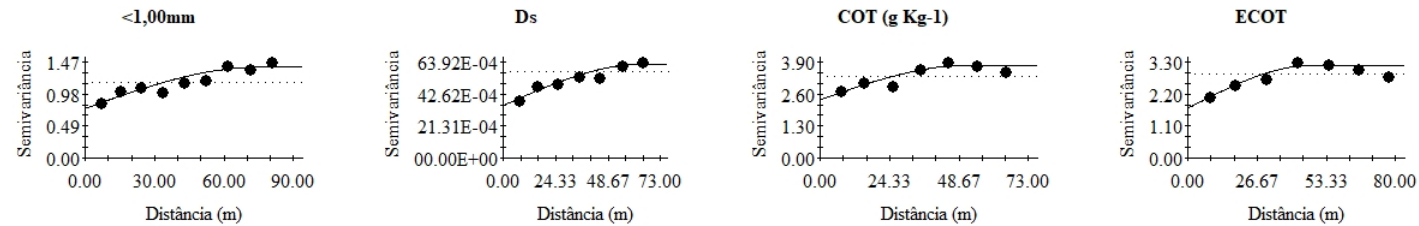
Esf. (280,00; 3187,94; 91,20; 68,00; 0,97)

Esf. (2934,77; 5758,32; 42,00; 72,00; 0,92)

Esf. (0,07; 0,10; 32,40; 40,00; 0,76)

Esf. (2,65; 4,44; 40,20; 58,00; 0,87)

Esf. (0,39; 0,65; 39,50; 38,00; 0,88)



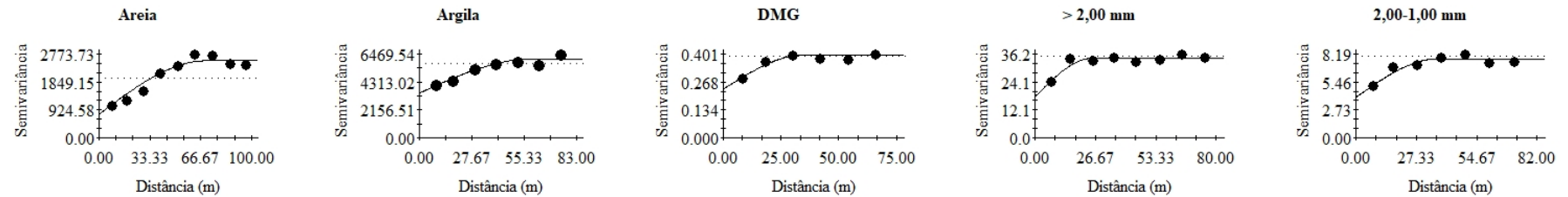
Esf. (0,76; 1,39; 45,30; 75,00; 0,85)

Esf. (0,00; 0,01; 44,40; 65,00; 0,91)

Esf. (2,38; 3,78; 37,10; 52,00; 0,81)

Esf. (1,71; 3,18; 46,20; 48,00; 0,84)

SAFs 0,10 - 0,20 m:



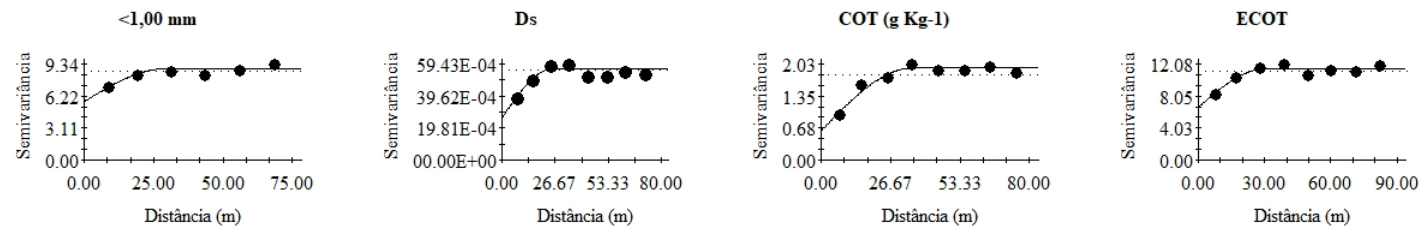
Esf. (782,19; 2550,72; 69,30; 70,00; 0,94)

Esf. (3454,73; 6098,83; 43,40; 60,00; 0,92)

Esf. (0,23; 0,40; 41,40; 35,00; 0,90)

Esf. (17,66; 34,32; 48,50; 25,00; 0,83)

Esf. (3,95; 7,72; 48,90; 37,00; 0,87)



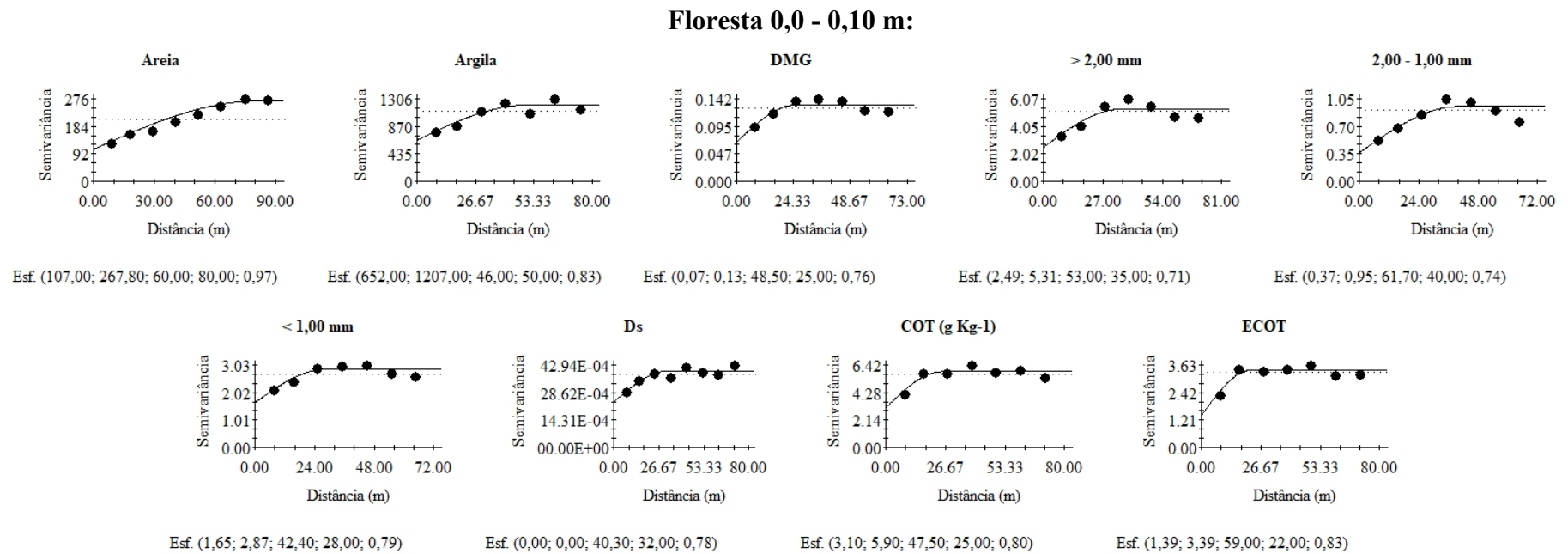
Esf. (5,68; 8,87; 36,00; 29,00; 0,78)

Esf. (0,00; 0,01; 53,50; 25,00; 0,82)

Esf. (0,62; 1,94; 68,30; 35,00; 0,94)

Esf. (6,65; 11,45; 41,90; 30,00; 0,87)

Figura 8. Semivariogramas dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)] continua...



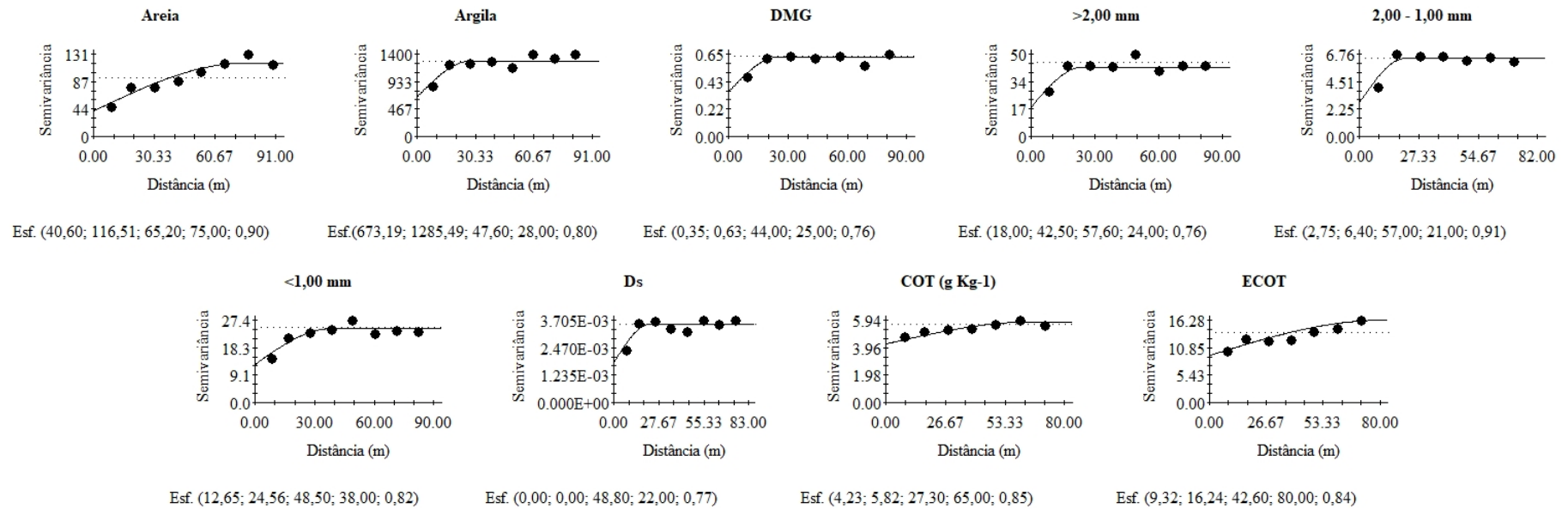
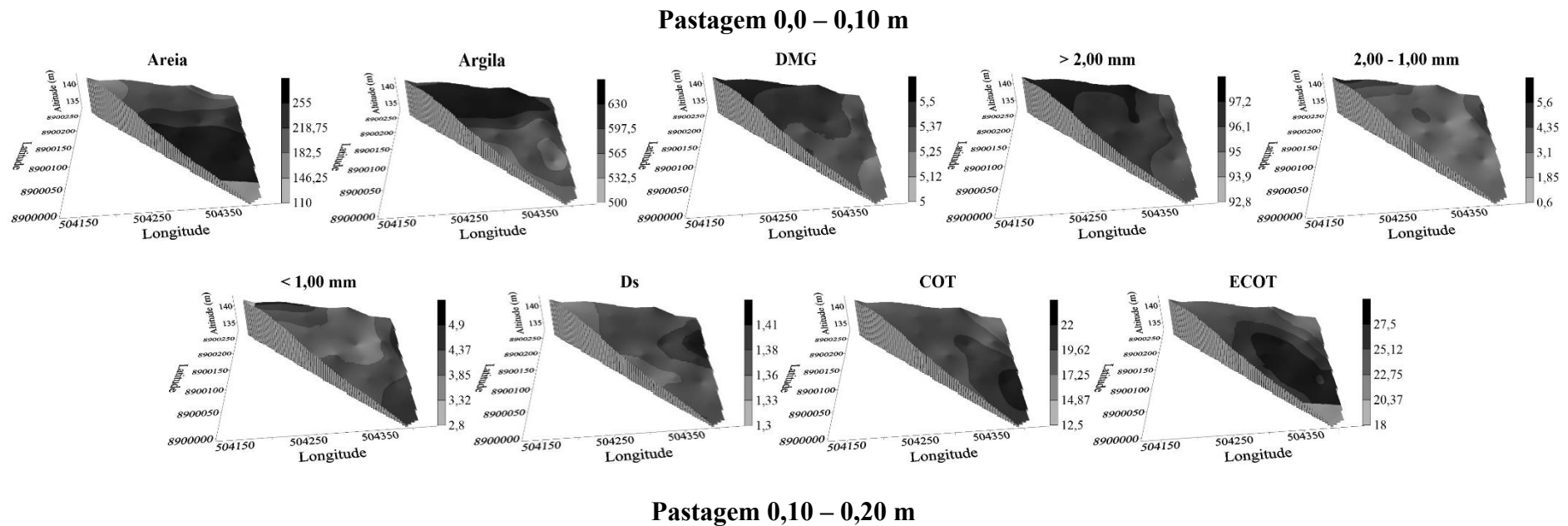


Figura 8. Semivariogramas dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)]



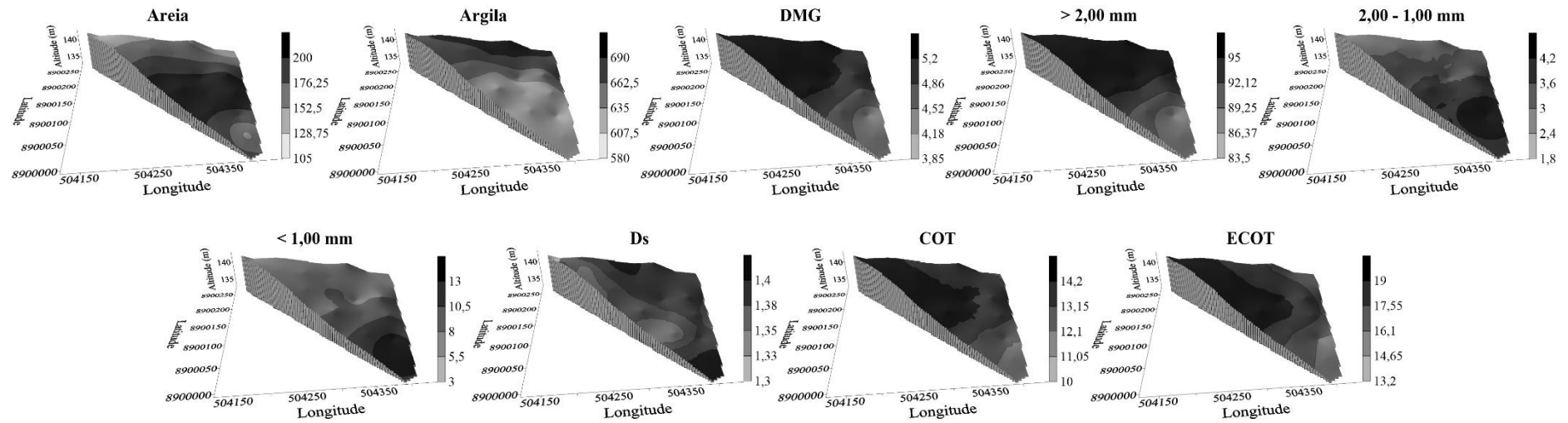
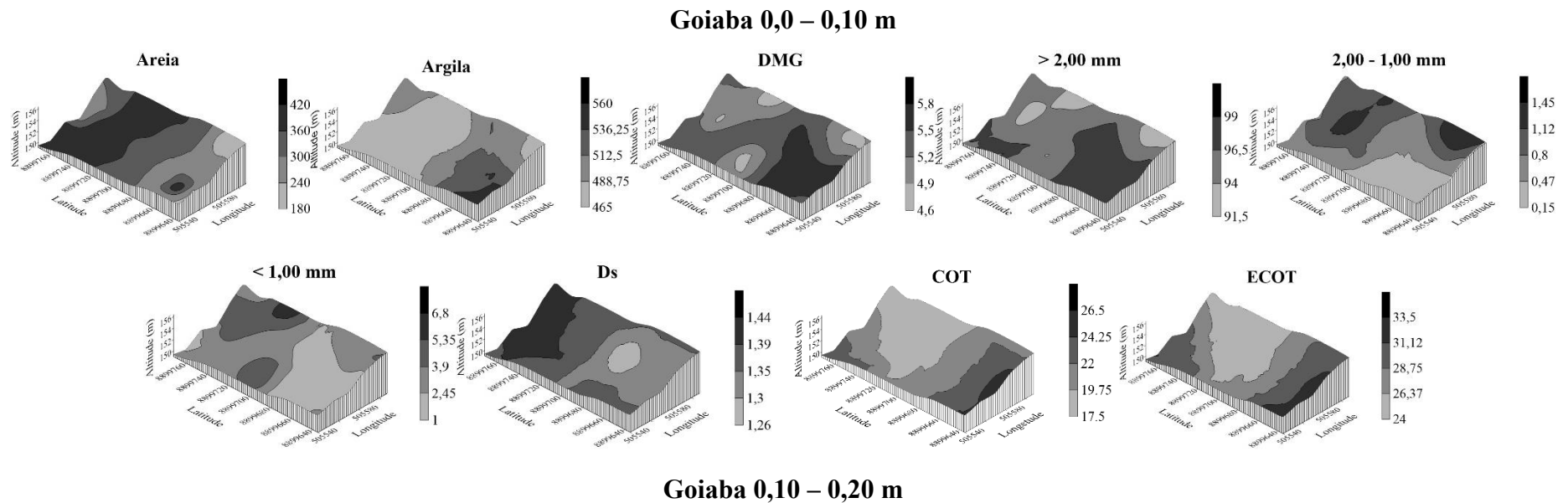


Figura 9. Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia. continua...



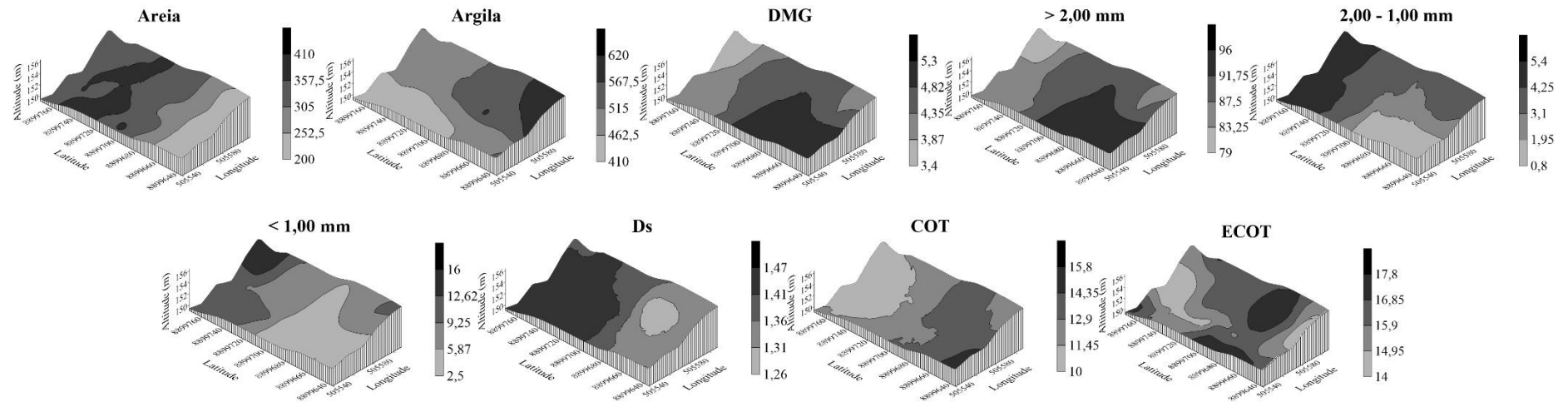
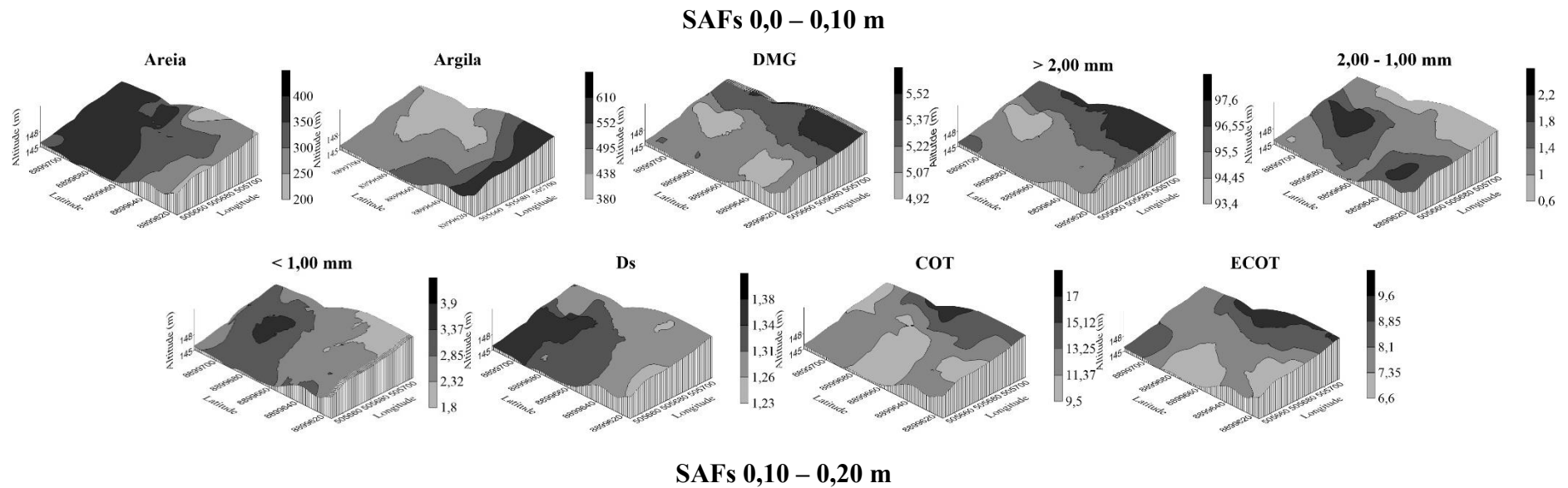


Figura 9. Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia. continua...



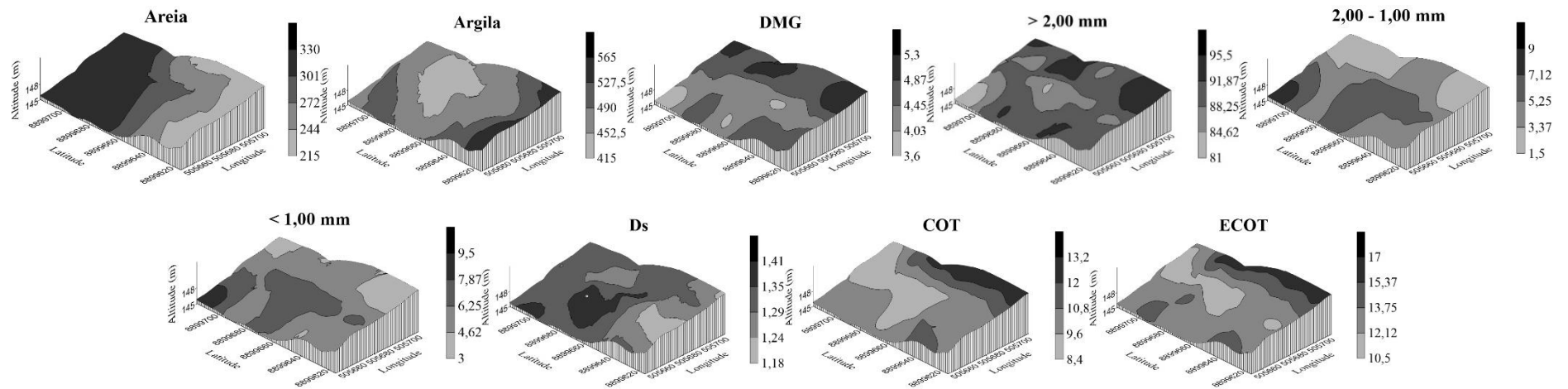


Figura 9. Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia. continua...

Floresta 0,0 – 0,10 m

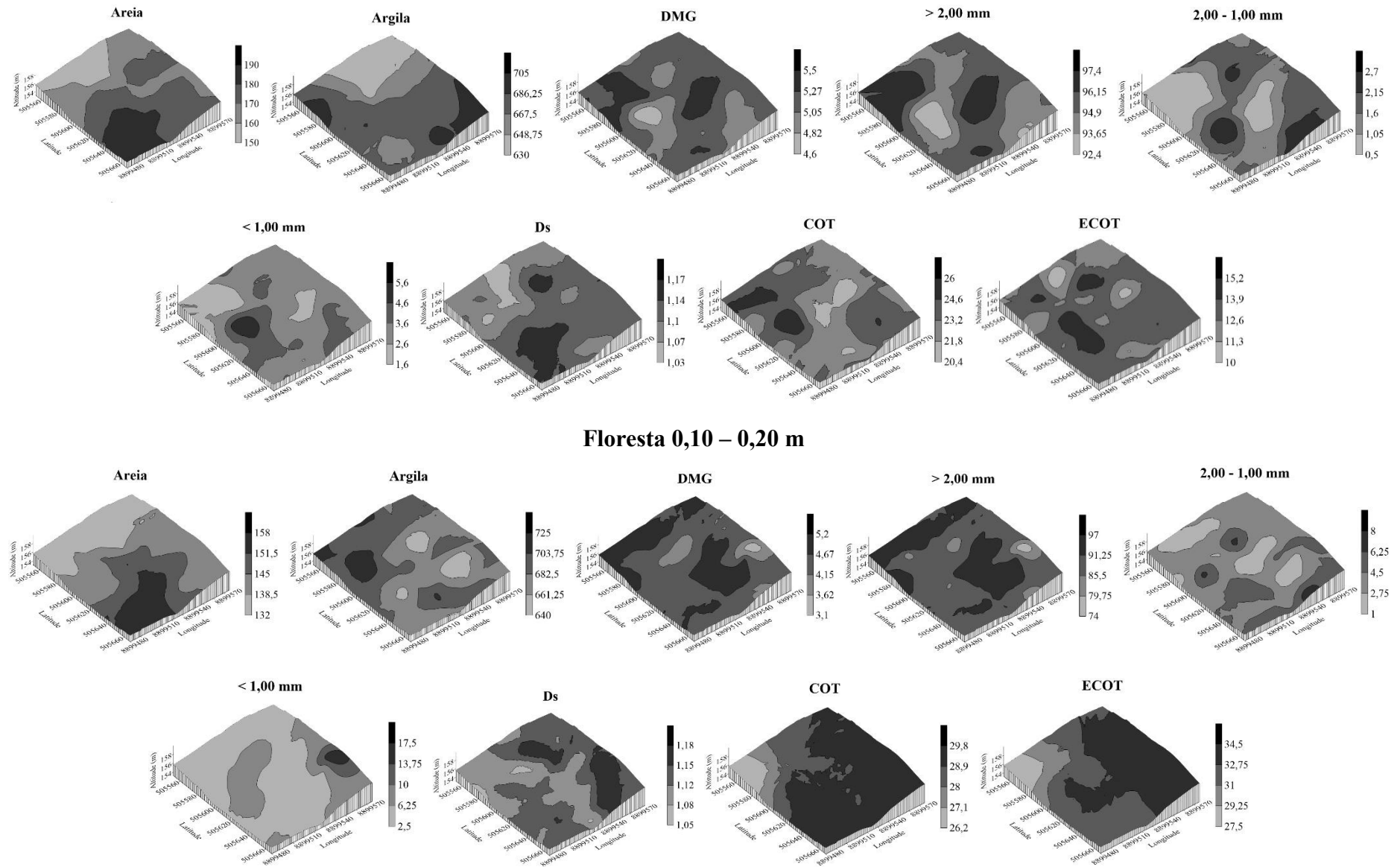
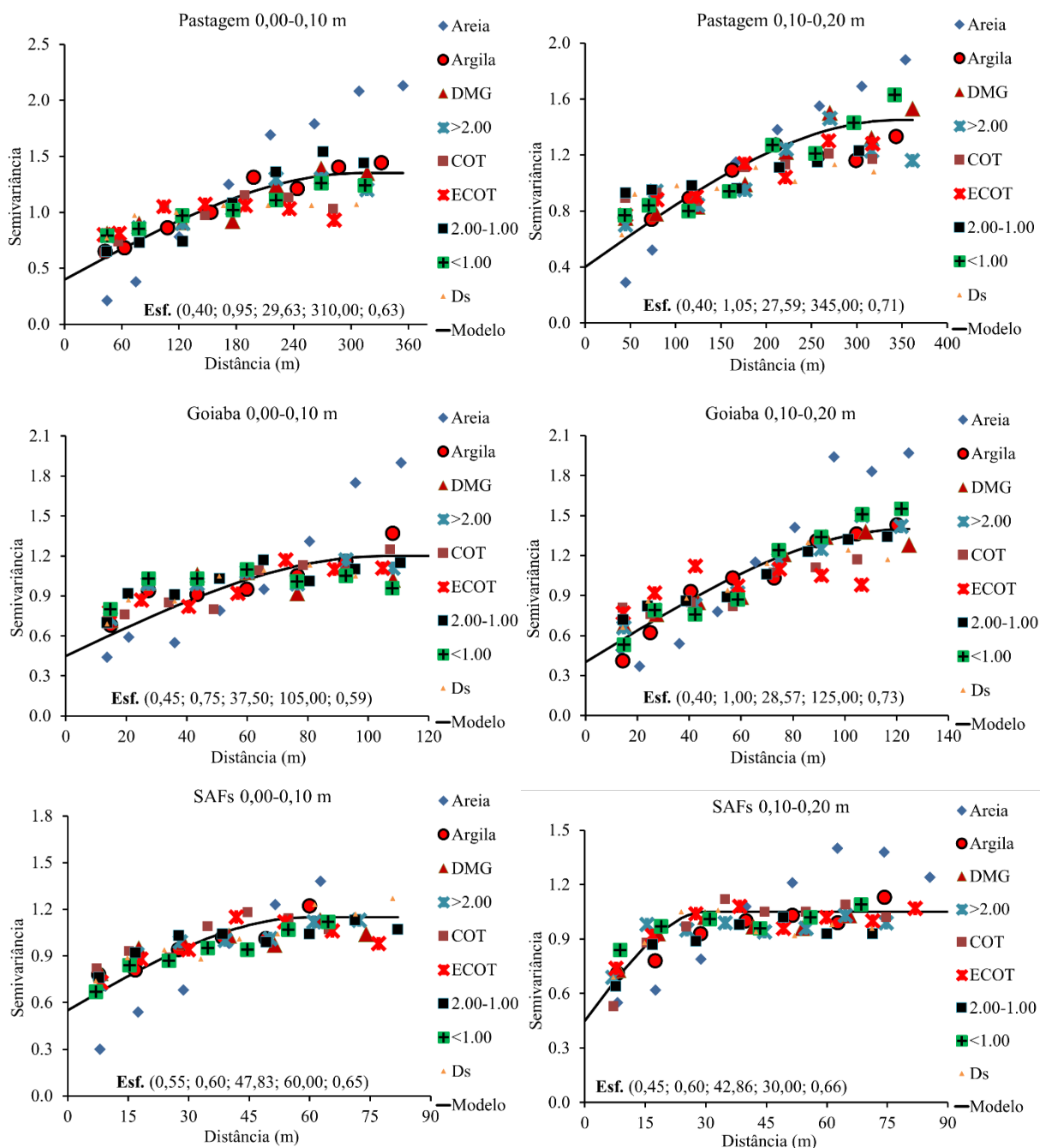


Figura 9. Mapas de krigagem dos atributos físicos do solo, COT e ECOT das diferentes áreas estudadas no centro-norte de Rondônia.

A avaliação conjunta dos atributos e sua variabilidade nas áreas estudadas por meio dos semivariogramas escalonados estão apresentados na Figura 10. O modelo esférico foi o que melhor ajustou os semivariogramas, e apresentou R^2 variando de 0,59 a 0,75. Quanto ao grau de dependência espacial, todas as áreas em ambas as profundidades apresentaram moderada dependência espacial. As áreas estudadas apresentaram valores de alcance variando de 25,00 a 345,00 m, sendo encontrado os menores valores na área de floresta.



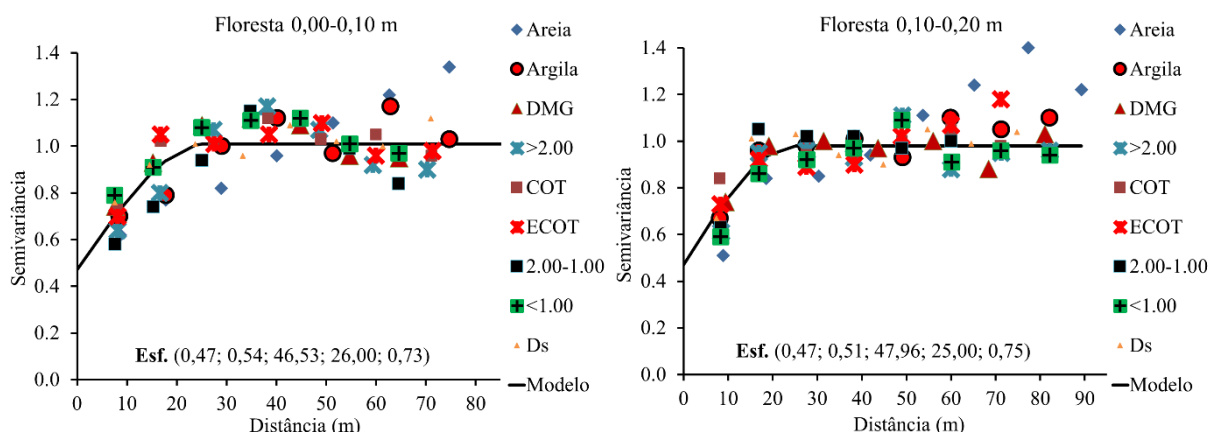


Figura 10. Semivariogramas escalonados para os ambientes estudados no centro-norte de Rondônia. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R^2)].

Por meio do parâmetro alcance dos semivariogramas das variáveis avaliadas, foi determinado a densidade amostral mínima para cada atributo das diferentes áreas (Tabela 4). Avaliando os atributos individualmente, nota-se que a densidade amostral mínima variou de 0,08 a 0,66 pontos por hectare para a área da pastagem com média de 0,25 pontos por ha^{-1} e espaçamento médio de 252 m, na goiaba a densidade amostral variou de 0,64 a 6,25 pontos por hectare com média de 3 pontos ha^{-1} e espaçamento médio de 83 m, na área de SAFs a densidade amostral mínima variou de 1,78 a 6,93 com média de 4 pontos ha^{-1} e espaçamento de 57 m, já a área da floresta apresentou densidade amostral mínima entre 1,56 e 20,66 pontos por hectare com média de 11 pontos ha^{-1} e espaçamento médio de 33 m na profundidade de 0,0 - 0,10 m. Na profundidade de 0,10 - 0,20 m a densidade amostral mínima variou de 0,07 a 0,64, 0,64 a 5,17, 2,04 a 16,00 e 1,56 a 22,68 com média de 0,16, 1, 9 e 11 pontos por hectare e espaçamento médio de 309, 109, 38 e 42 m para a pastagem, goiaba, SAFs e floresta respectivamente.

Tabela 4. Densidade amostral mínima com base no alcance dos semivariogramas para atributos físicos, COT e ECOT em diferentes ambientes estudados no centro-norte de Rondônia.

Atributos	Pastagem		Goiaba		SAFs		Floresta	
	D.a.	Esp.	D.a.	Esp.	D.a.	Esp.	D.a.	Esp.
	P. ha^{-1}	m	P. ha^{-1}	m	P. ha^{-1}	m	P. ha^{-1}	m
----- 0,0 - 0,10 m -----								
Areia	0,08	350,00	0,74	116,00	2,16	68,00	1,56	80,00
Argila	0,12	293,58	0,69	120,00	1,93	72,00	4,00	50,00
DMG	0,09	324,80	4,94	45,00	6,25	40,00	16,00	25,00
> 2.00 mm	0,16	252,26	4,00	50,00	2,97	58,00	8,16	35,00
2.00-1.00 mm	0,10	322,20	2,04	70,00	6,93	38,00	6,25	40,00
< 1.00 mm	0,11	301,51	6,25	40,00	1,78	75,00	12,76	28,00
Ds	0,51	140,00	2,52	63,00	2,37	65,00	9,77	32,00
COT	0,39	160,00	0,64	125,00	3,70	52,00	16,00	25,00
ECOT	0,66	123,00	0,76	115,00	4,34	48,00	20,66	22,00

Média	0,25	252	3	83	4	57	11	37
----- 0,10 - 0,20 m -----								
Areia	0,08	360,00	0,72	118,00	2,04	70,00	1,78	75,00
Argila	0,13	280,00	0,83	110,00	2,78	60,00	12,76	28,00
DMG	0,07	390,00	0,69	120,00	8,16	35,00	16,00	25,00
> 2.00 mm	0,10	310,00	0,69	120,00	16,00	25,00	17,36	24,00
2.00-1.00 mm	0,09	340,00	0,69	120,00	7,30	37,00	22,68	21,00
< 1.00 mm	0,07	380,00	0,69	120,00	11,89	29,00	6,93	38,00
Ds	0,64	125,00	0,91	105,00	16,00	25,00	20,66	22,00
COT	0,11	300,00	0,64	125,00	8,16	35,00	2,37	65,00
ECOT	0,11	300,00	5,17	44,00	11,11	30,00	1,56	80,00
Média	0,16	309	1	109	9	38	11	42

A Figura 11 mostra os semivariogramas para os ajustes dos valores de scores obtidos a partir da análise de componentes principais. A análise geoestatística dos componentes principais foi realizada utilizando-se os escores atribuídos às amostras referentes a primeira e segunda componente principal, que explicaram a maior percentagem da variação total dos dados. Na ACP, pode-se verificar o mesmo comportamento em relação ao ajuste dos semivariogramas escalonados (Figura 10), com os mesmos modelos de semivariogramas ajustados.

Os semivariogramas dos CP 1 para ambas as profundidades dos diferentes manejos estão relacionados aos agregados do solo (>2,00 mm, 2,00-1,00 mm, <1,00 mm e DMG) já os semivariogramas do CP 2 na profundidade de 0,0 - 0,10 m referem-se a textura (areia e argila) e ECOT, enquanto na profundidade de 0,10 - 0,20 m referem-se à areia, Ds e COT. O modelo esférico foi o que melhor ajustou os semivariogramas e apresentaram R^2 variando de 0,76 a 0,98. Em relação ao GDE o CP 2 da pastagem na primeira profundidade, e o CP 2 da goiaba na segunda profundidade foram os únicos que apresentaram fraca dependência espacial, e todos os demais apresentaram dependência espacial moderada. Na análise espacial, o CP 1 apresentou alcances variando de 24,00 a 310,0 m nas duas profundidades, sendo observado o maior valor na pastagem na profundidade de 0,10 - 0,20 m. No CP 2 observa-se alcance variando de 19,00 a 310,0 m nas duas profundidades, sendo que o maior alcance foi apresentado pela área da pastagem também na segunda profundidade avaliada.

A partir dos ajustes dos semivariogramas a componente principal, obteve-se a elaboração dos mapas de krigagem (Figura 12). Estes mapas representam o conjunto de atributos selecionados na análise de fatores, e com isso, pode-se estabelecer os limites de variabilidade, a partir das isolinhas representadas nos mapas. Avaliando os mapas de Krigagem dos escores, observa-se que foi proposto a formação de cinco classes de manejo, pois essa

proposição facilitou a interpretação e distinção das áreas de manejo específico. O CP 1 nas áreas de goiaba e floresta na profundidade de 0,0 - 0,10 m, nas áreas de SAFs e floresta nas profundidades de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, devido a maior variabilidade, apresentaram complexas zonas de manejo para os atributos referente aos agregados de solo. O CP 2 na área de floresta na segunda profundidade, apresentou complexas zonas de manejo para os atributos de areia, Ds e COT. Os demais mapas revelam zonas de manejos menos complexas, o que se associa a baixa variabilidade dos atributos de referência.

Observando os mapas CP 1 e CP 2 de todos os ambientes e profundidades, é possível observar a distribuição dos valores positivos e negativos de escores. A maior parte dos valores negativos são apresentados pelo CP 1 nas áreas de pastagem e floresta nas duas profundidades avaliadas, onde esses valores negativos podem estar atribuídos a presença de agregados de menores tamanhos, e pelo CP 2 nas áreas de goiaba e SAFs na camada de 0,0 - 0,10 m e SAFs e floresta de 0,10 - 0,20 m, esses valores negativos podem estar relacionados à presença de menores teores de argila e ECOT de 0,0 - 0,10 m e menores valores de Ds de 0,10 - 0,20 m das respectivas áreas. Esses resultados apresentam semelhanças quando comparado com os resultados do teste de média, que apesar de não apresentar diferença estatística para todos os agregados, é possível observar o comportamento supracitado, assim como para os atributos texturais, Ds, COT e ECOT.

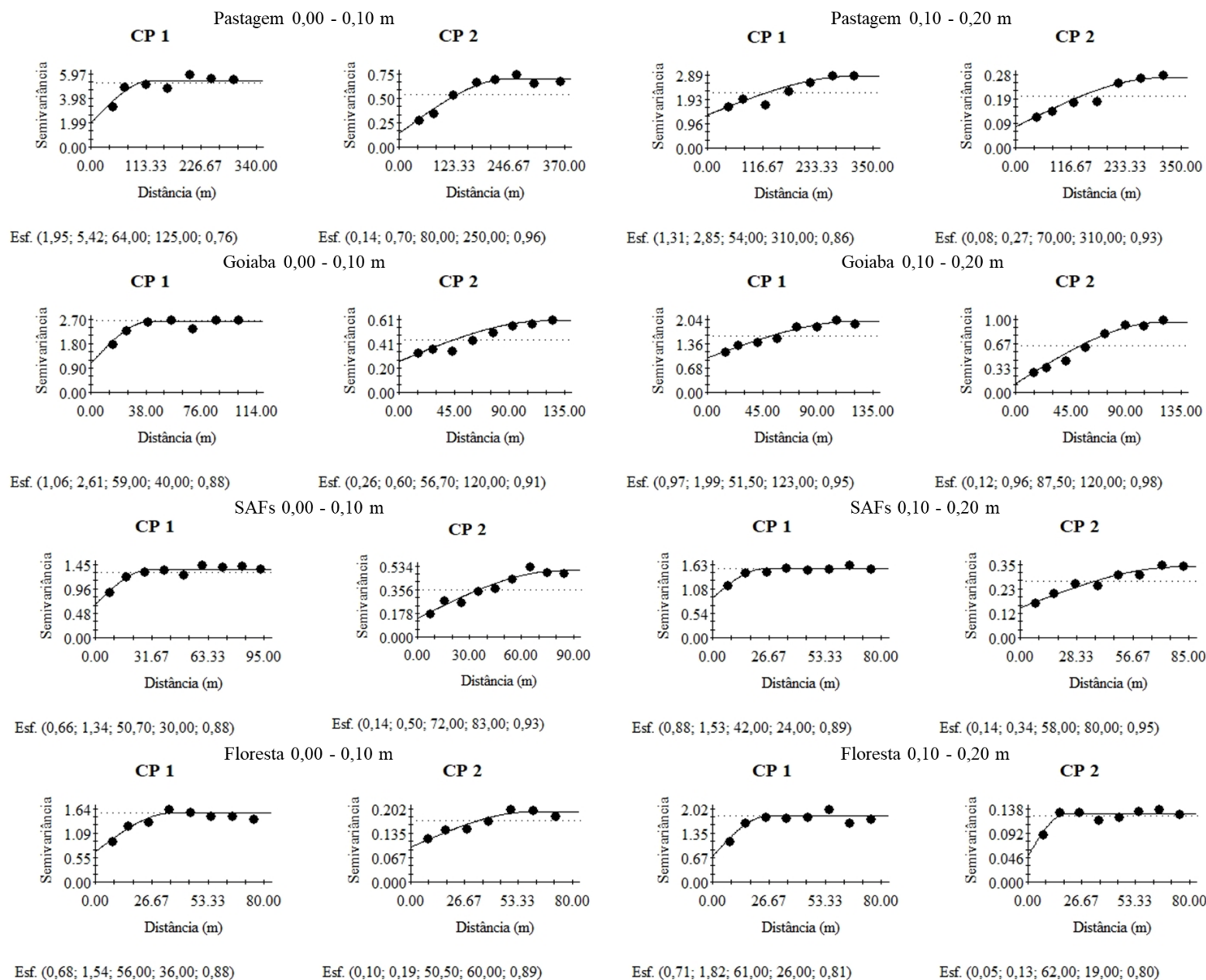


Figura 11. Semivariogramas experimentais ajustados aos valores de escores dos componentes principais para os diferentes ambientes estudados no centro-norte de Rondônia.

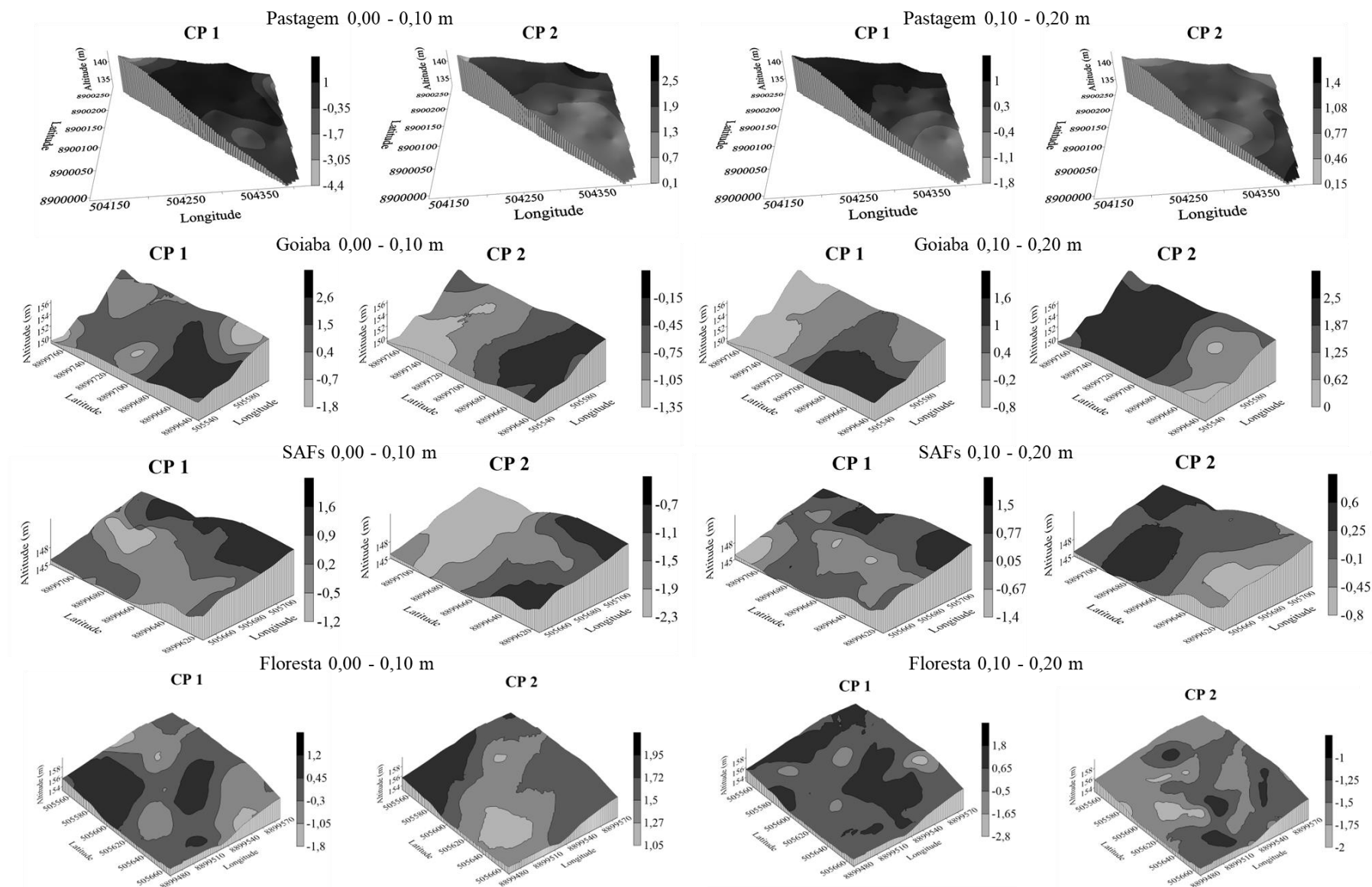


Figura 12. Mapas de krigagem dos valores de escores dos componentes principais para os diferentes ambientes estudados no centro-norte de Rondônia.

2.4 DISCUSSÃO

Observando os dados obtidos neste estudo, nota-se que os atributos apresentaram diferenças significativa entre as áreas estudadas. A distinção entre os tipos de uso do solo torna-se evidente ao se analisar conjuntamente os valores dos coeficientes de assimetria e curtose, onde valores distantes de zero indicam que as distribuições das variáveis em estudo não se caracterizam como normais (Santos Júnior et al. 2021). Para a assimetria e curtose a maioria dos atributos apresentaram valores negativos e positivos distante de zero, corroborando com os resultados encontrados por Campos et al. (2013) que avaliando áreas agroflorestais na região sul do Amazonas por meio da geoestatística, também encontram valores de assimetria e curtose distante de zero.

O coeficiente de variação é uma medida que auxilia na comparação da variação entre os atributos estudados, independentemente da unidade das variáveis analisadas, por outro lado, ele não contribui para a avaliação da distribuição espacial dos dados (Lima et al., 2022). Brito et al. (2022) afirmam que, mesmo que os resultados da análise dos atributos do solo apresentem altos coeficientes de variação, o mais importante é evidenciar a variabilidade espacial nos dados e garantir que haja normalidade.

Ao avaliar a diferença textural dos solos para os quatro ambientes estudado, a área de floresta apresentou os maiores teores de argila e os menores teores de areia, seguido da pastagem, enquanto que as áreas de goiaba e SAFs apresentaram os maiores teores de areia e menores de argila. Santos et al. (2018) ao avaliarem um Latossolo em Porto Velho, encontram teores de areia menores que 180 g kg⁻¹ e argila menores que 320 g kg⁻¹, apresentando maiores valores para o silte. Já Lima et al. (2022) ao avaliarem ambientes de conversão floresta/pastagem sob Latossolo, encontram maiores teores de argila e menores de areia em áreas de floresta quando comparado a áreas de pastagem.

Os agregados dos diferentes ambientes apresentaram semelhantes comportamentos, não havendo influência pelo manejo, visível no teste de Tukey (Figura 5). Resultados diferentes foram encontrados no estudo de Pereira et al. (2021), que encontrou valores de diâmetros médio maiores em áreas de SAFs, pois o acúmulo de matéria orgânica, onde reduzidas práticas culturais aliada a longo tempo de implantação, favorece o acúmulo e a manutenção da matéria orgânica e, conseqüentemente, a formação de agregados de maiores diâmetros (Totsch et al. 2018). Estudando a agregação do solo em ambiente sob conversão floresta em ambientes cultivados, Souza et al. (2020) concluíram que o processo de conversão influência nos atributos

de agregado do solo, e que, quando manejado adequadamente as áreas cultivadas podem se assemelhar aos ambientes naturais.

Os valores de densidade do solo foram menores nos ambientes de floresta nas duas camadas avaliadas, e esse comportamento pode estar associado a ausência de práticas culturais agressivas ao solo sob florestas naturais. Tanto Freitas et al. 2018 quanto Rodrigues et al. 2018 ao avaliarem ambientes sob Latossolo, encontraram resultados semelhantes. Os autores observaram que as áreas antropizadas com sistema de manejo quando comparadas com área de floresta, apresentam valores maiores de Ds. As áreas de goiaba e pastagem apresentaram os maiores valores de Ds nas duas profundidades, e esses resultados podem estar relacionados ao tráfego de máquinas e os teores de areia mais elevados na área de goiaba e ao pisoteio e pastejo dos animais na área da pastagem. Ferreira et al. (2018) observaram maiores valores de Ds em cultivos de pastagem, associando esse fenômeno ao fato de que maiores teores de areia no solo resultam em maior densidade. De acordo com Silva et al. (2011) solos com maiores teores de areia, tendem a apresentar maior Ds devido ao maior peso específico de quartzo que compõem a fração areia e ao menor teor de MO, geralmente verificadas nestes solos.

O COT e ECOT apresentaram os mesmos comportamentos para as duas profundidades avaliadas, sendo os maiores valores encontrados na área de SAFs seguido da floresta e o menor valor na área de pastagem. Segundo Torres et al. (2014), os estoques de carbono do solo estão estreitamente relacionados à quantidade de material vegetal acumulado no solo, e os autores ainda afirmam que sistemas integrados de produção, podem favorecer o aumento do carbono orgânico do solo, devido a maior diversificação e produção de resíduos vegetais. Avaliando o COT em diferentes ambientes Lima et al. (2022) observaram menores valores de COT nas áreas de pastagens em relação a floresta, corroborando com os resultados deste estudo.

Na análise multivariada foi observado correlação significativa na agregação do solo em todas as áreas, indicando que o sistema de uso e o manejo não teve influência, com exceção para as classes 2,00 - 1,00 e < 1,00 da floresta e pastagem na segunda camada. Em um estudo no sul do Amazonas avaliando diferentes ambientes (floresta, pastagem, açaí e mandioca), Santos (2022) encontrou resultados opostos onde a agregação do solo não teve correlação significativa com nenhum ambiente.

O ambiente de pastagem e principalmente de goiaba houve uma forte correlação com a Ds na profundidade de 0,10 - 0,20 m, que estão próximo ou dentro do mesmo quadrante, pela ACP. Esse comportamento pode estar atrelado ao uso intensivo do solo, tráfego de máquinas, pisoteio animal e ao fato de quanto mais areia presente nesse solo, maior poderá ser sua Ds. É possível verificar também a relação entre a área de pastagem com a área de floresta na primeira

profundidade, onde a área de pastagem se caracterizou como sendo a que mais se assemelhou a área de floresta nos atributos de argila e as classes 2,00 - 1,00 e $< 1,00$ mm.

Observando a espacialização das áreas estudadas pela ACP, é possível observar que, a área de SAFs se coloca como um ambiente de transição entre a floresta, e as áreas de goiaba e pastagem (Figura 7). Este comportamento fica mais evidente na camada de 0,0-0,10 m, onde a área de goiaba e SAFs estão próximas e na camada de 0,10-0,20 m, a área de SAFs aparece como uma área transicional, se posicionando entre a floresta e áreas cultivadas, evidenciando a influência do uso e manejo sob os solos. Pesquisas conduzidas por Pantoja et al. (2019), avaliando o solo sob diferentes tipos de uso na região de Humaitá, Amazonas, concluíram que a caracterização dos atributos do solo por meio da análise multivariada, pode contribuir para um planejamento mais adequado do seu uso e apontar quais atributos são mais sensíveis nos ambientes examinados.

A análise geoestatística, avaliada mediante aos semivariogramas, demonstrou dependência espacial para todos os atributos dos solos estudados. O modelo esférico foi o que melhor ajustou os semivariogramas para todos os ambientes e profundidades. Os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância (Isaaks e Srivastava, 1989).

Quanto ao GDE a maioria dos atributos apresentaram dependência espacial moderada, sendo a areia a que demonstrou fraca dependência espacial na maioria dos ambientes, com exceção da floresta. De acordo com Araújo et al. (2023), o elevado grau de dependência espacial está associado às características intrínsecas do solo, referindo-se aos fatores de formação, enquanto o grau fraco de dependência espacial relaciona-se a fatores extrínsecos. Para Soares et al. (2021), a dependência espacial moderada ou fraca pode indicar uma homogeneidade intensa dos solos, resultante de aspectos relacionados aos usos ou aos sistemas de manejo.

Ao analisar o alcance, constatou-se que a área de pastagem apresentou os maiores valores, o que sugere uma baixa variabilidade espacial dos atributos. No entanto, tal resultado também pode estar associado à malha amostral utilizada nesse ambiente, que por ser uma área maior em comparação às demais, foi possível adotar uma malha com espaçamento 4,5 vezes maior, o que contribuiu para a observação de alcances superiores. Logo, proporcionalmente, os alcances deveriam ser 4,5 vezes maiores na pastagem que nas demais áreas, de acordo com o espaçamento de coleta. O valor de alcance pode variar entre os diferentes atributos do solo, diferentes sistemas de manejo (Vieira et al. 2011), ao espaçamento e tamanho da área de coleta. Já os menores alcances foram observados na área de floresta, indicando que os atributos nesse ambiente apresentaram maior heterogeneidade e variabilidade espacial. Esses resultados

discordam com os encontrados por Lima et al. (2022), que encontrou os maiores alcances em ambientes de floresta e menores em ambientes de pastagem. De forma geral, os alcances ajustados foram superiores aos determinados pelas malhas amostrais, nessas condições, poderá ser realizada de forma menos intensiva, permitindo a coleta de amostras com espaçamentos maiores do que os estabelecidos neste estudo. O alcance é uma medida que indica a distância máxima na qual os pontos amostrais estão correlacionados, de modo que distâncias superiores aos alcances encontrados são consideradas independentes entre si (Brito et al., 2022). Dessa forma, o alcance constitui um parâmetro importante para o planejamento de amostras, assim como para a definição de procedimentos de amostragem (Oliveira et al., 2023).

Os mapas de distribuição espacial dos atributos proporcionam uma compreensão mais detalhada do seu comportamento no ambiente. Além disso, possibilitam identificar quais atributos são mais influenciados pelo relevo (Guimarães et al., 2016). Avaliando a distribuição espacial dos atributos físicos de diferentes áreas, Lima et al. (2022) observaram que as variáveis relacionadas a textura do solo, sofrem mais alterações de acordo com a posição do relevo.

Os semivariogramas escalonados das áreas avaliadas foram ajustados ao modelo esférico. Os maiores valores de alcance foram observados na área de pastagem, enquanto os menores valores foram registrados nas áreas de floresta e nos SAFs na segunda camada. Quanto ao GDE, todos os ambientes apresentaram dependência espacial moderada. Ao avaliar ambientes antropizados, como floresta, terra preta arqueológica, pastagem, sistemas agroflorestais e cultivo de cana-de-açúcar, Aquino et al. (2015) constataram menores valores de alcance no ambiente de floresta e maiores valores de alcance nos SAFs e todos os ambientes apresentaram graus moderados de dependência espacial.

O ambiente de floresta apresentou as maiores densidades de amostragem em ambas as profundidades, enquanto o ambiente de pastagem exibiu o menor valor de densidade, tais comportamentos podem estar relacionado a variabilidade espacial dos atributos. Os valores de densidade de amostragem obtidos neste estudo são superiores aos relatados por Lima et al. (2022) e semelhantes aos resultados de Aquino et al. (2015) nas áreas de floresta e sistemas agroflorestais.

Ao analisar os mapas de Krigagem dos escores, pode-se observar que foi necessário o ajuste de cinco classes, para uma melhor identificação das conas de manejo. Os mapas de Krigagem mostraram que houve correlação entre as profundidades estudadas em cada área, no entanto, a direção das isolinhas é diferente entre as áreas. As isolinhas para a área da pastagem, parte do sentido norte/sul, seguindo a direção da declividade do terreno, enquanto que para a área de floresta, as isolinhas seguem o sentido leste/oeste, seguindo também a direção da

declividade. Esse comportamento já era esperado, visto que as frações granulométricas do solo geralmente seguem o padrão de distribuição da declividade do terreno. No trabalho de Silva et al. (2007), os autores comentam que os maiores teores de argila geralmente se concentram na parte superior das áreas, enquanto que os teores de areia são maiores nas regiões mais baixas, sendo esse comportamento definido pelo escoamento superficial. Neste sentido, no trabalho de Burak et al. (2012), os autores encontraram relação entre os atributos do solo e o relevo, e afirmam que a variabilidade espacial dos atributos químicos indica maior continuidade da dependência espacial na profundidade de 0,0–0,10 m onde existe maior influência do relevo e dos fluxos de água em superfície. A variabilidade espacial do primeiro componente principal na profundidade de 0,0–0,10 m para as áreas estudadas, é fortemente relacionada com o relevo (fator intrínseco), e tal relação geralmente não é constatada na profundidade de 0,10–0,20 m (Burak et al., 2012).

No CP 1, as áreas de pastagem, em ambas as profundidades, e a cultura da goiaba, na profundidade de 0,10 - 0,20 m, apresentaram baixa variabilidade espacial, resultando em zonas de manejo menos complexas. No CP 2, na área de floresta, os atributos apresentaram zona de manejo mais complexa na profundidade de 0,10 - 0,20 m, devido à maior variabilidade. Burak et al. (2012) demonstraram que, quanto maiores os escores, maior é a sua contribuição para correlações positivas entre as variáveis que compõem cada componente. Por outro lado, escores menores indicam maior contribuição para correlações negativas. Desta forma, no presente trabalho, observou-se que a maior parte dos escores positivos estão presentes no ambiente de goiaba, enquanto que, a maior parte de escores negativos são encontrados no ambiente de floresta. Esse comportamento evidencia que cada zona específica de manejo, dentro de cada ambiente, requer práticas diferenciadas, que podem variar em intensidade, sendo mais ou menos intensivas conforme a necessidade. Oliveira et al. (2019) relatam que as zonas de manejo têm sido cada vez mais utilizada, pois possibilitam a diminuição da variabilidade natural das áreas, garantindo uma produção elevada sem causar danos ao solo.

2.5 CONCLUSÃO

As análises mostraram que os atributos do solo variaram significativamente entre os ambientes estudados, principalmente em relação ao COT, ECOT e Ds.

A análise dos agregados demonstrou que os diferentes ambientes apresentaram comportamentos semelhantes, sem influência significativa das práticas de manejo. Por outro

lado, a menor densidade do solo em área de floresta indica que a ausência de práticas agrícolas intensivas ajuda a preservar a estrutura do solo.

Por meio da análise multivariada, é possível observar que a área de SAFs se estabeleceu como um ambiente de transição entre o ambiente natural e os demais agricultáveis. Na camada de 0,0 - 0,10 m a área de SAFs e goiaba estão próximas e na camada de 0,10 - 0,20 m a área de SAFs se posiciona entre as florestas e as áreas cultivadas.

Observamos por meio das análises multivariadas, que a área de pastagem apresentou semelhanças com a área de floresta na primeira profundidade, sugerindo que, sob certas condições, áreas de pastagem podem manter características físicas do solo similares às de floresta.

A geoestatística mostrou que os atributos do solo apresentaram dependência espacial moderada na maioria dos ambientes, com exceção das áreas de floresta, onde se observou maior variabilidade. As zonas de manejo identificadas indicam que diferentes ambientes requerem estratégias específicas para otimizar o uso dos recursos do solo e reduzir impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- Almeida, B. G. de; Viana, J. H. M.; Teixeira, W. G.; Donagemma, G. K. Densidade do solo. In: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, p. 65-75, 2017.
- Aquino, R. E. D.; Campos, M. C. C.; Marques Junior, J.; Oliveira, I. A. D.; Teixeira, D. D. B.; Cunha, J. M. D. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 21-30, 2015.
- Araujo, R. M., Silva, D. M. P., Campos, M. C. C., Lima, A. F. L., Brito, W. B., Santos, L. A. C., & Cunha, J. M. Spatial variability of organic carbon and soil carbon stock in pasture areas in União Bandeirantes, Rondônia. **Revista brasileira de geografia física**, v. 16, p. 1013-1024, 2023.
- Brasil. **Ministério das Minas e Energia**. Projeto RADAMBRASIL, folha SC. 20, Porto Velho. Rio de Janeiro, 1978. 668p.
- Brito, W. B. M.; Campos, M. C. C.; Souza, F. G.; Silva, L. S.; Cunha, J. M.; Lima, A. F. L.; Martins, T. S.; Oliveira, F. P.; Oliveira, I. A. Spatial patterns of magnetic susceptibility optimized by anisotropic correction in different Alisols in southern Amazonas, Brazil. **Precision agriculture**, v. 23, n. 2, p. 419-449, 2022.
- Burak, D. L.; Passos, R. R.; & Andrade, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 538-547, 2012.
- Cambardella, C. A.; Moorman, 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 America Journal**, v. 58, p. 1501-11, 1994.
- Campos, M. C. C.; Soares, M. D. R.; Oliveira, I. A.; Santos, L. A. C.; Aquino, R. E. Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 3, p. 149-159, 2013.
- Ceddia, M. B.; Vieira, S. R.; Villela, A. L. O.; Mota, L. S.; Anjos, L. H. C.; Carvalho, D. F. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 338-352, 2009.
- EMBRAPA. **Mapa do Município de Ariquemes**. Embrapa Amazônia Oriental, 1998. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144421/1/Mapa-ARIQUEMES.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2024.
- Ferreira, C. J. B.; Tormena, C. A.; Cecato, U.; Franco, H. H. S.; Moreira, W. H.; Galbeiro, S.; Ribeiro, O. L. Soil physical properties under a ‘Tanzânia’ grass pasture fertilized with mineral nitrogen or intercropped with stylosanthes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 478-486, 2018.

Freitas, L. D.; Oliveira, I. A. D.; Casagrande, J. C.; Silva, L. S.; Campos, M. C. C. Estoque de carbono de Latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 228-239, 2018.

Freitas, L. De; Oliveira, I. A. De; Silva, L. S.; Frare, J. C. V.; Filla, V. A.; Gomes, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

Gamma Design Software (GS+). **Geostatistics for the environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Design, 2004.

Golden Software Inc. **SURFER for Windows, Realese 13.0: Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide**. New York USA, 1999.

Guimarães, R. M.; Gonçalves, A. C.; Tormena, C. A.; Folegatti, M. V.; Blainski, É. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Nitossolo sob a cultura do feijoeiro irrigado. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 657-669, 2010.

Guimarães, W. D.; Gripp Junior, J.; Marques, E. A. G.; Santos, N. T.; Fernandes, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 2, p. 247-255, 2016.

HAIR, J. F. **Análise multivariada de dados**. Bookman editora, 2009.

Hoffmann, R. Componentes principais e análise fatorial. **Série Didática. Departamento de Economia e Sociologia Rural. Escola Superior de Agricultura Luiz de Quieroz. Universidade de São Paulo**, n. 90, p. 1-37, 1994.

Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. **An introduction to applied geoestatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JEFFERS, J. N. R. **Uma introdução à análise de sistemas: com aplicações ecológicas**. 1978.

Lima, A. F. L. De; Campos, M. C. C.; Enck, B. F.; Da Silva Simões, W.; De Araújo, R. M.; Dos Santos, L. A. C.; Da Cunha, J. M. Physical soil attributes in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 194, n. 1, p. 34, 2022.

Lima, A. F. L.; Campos, M. C. C.; Brito Silva, J.; Araújo, W. O.; Mantovanelli, B. C.; Souza, F. G.; Beirigo, R. M.; Silva, D. M. P.; Macedo R. S.; Oliveira, F. P. The Stability of Aggregates in Different Amazonian Agroecosystems Is Influenced by the Texture, Acidity, and Availability of Ca and Mg in the Soil. **Agronomy**, v. 14, n. 4, p. 677, 2024.

Martins, T. S.; Cunha, J. M.; Brito, W. B. M.; Santos, R. V.; Lima, A. F.L.; Souza, F. G.; Campos, M. C. C.; Brito Filho E. G.; Oliveira, F. P. Distribuição Espacial Anisotrópica de Atributos Químicos do Solo em Agroecossistemas e Floresta Nativa em Canutama, Sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1629-1646, 2023.

Negreiros Neto, J. V.; Santos, A. C.; Guarnieri, A.; Souza, D. J. A. T.; Daronch, D. J.; Dotto, M. A.; Araújo, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014.

Oliveira, I. A. D.; Campos, M. C. C.; Freitas, L. D.; Soares, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015.

Oliveira, I. A. D.; Campos, M. C. C.; Santos, R. V.; Almeida, R. G.; Martins, T. S.; Silva, D. M. P.; Freitas, L.; Oliveira, F. P.; Mantovanelli, B. C. Geostatistics and Sample Density of Chemical Attributes for Soil under Sugarcane and Agroforestry in Humaitá -AM, Brazil. **Journal of sustainable development**, v.16, n, 4, p. 79-91, 2023.

Oliveira, J. F.; Mayi, S.; Marchão, R. L.; Corazza, E. J.; Hurtado, S. C.; Malaquias, J. V.; Filho Tavares, J.; Brossard, M.; Guimarães, M. F. Spatial variability of the physical quality of soil from management zones. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1251-1273, 2019.

Oliveira, V. A. De; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Mendes, A. M.; Anjos, L. H. C. Dos; Cipriani, H. N.; Medeiros, I. M. De; Calderano, S. B.; Ker, J. C. Solos da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. In: Lumbreras, J. F. *et al.* **Guia de Campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos; RCC de Rondônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 94-142.

Pantoja, J. C. M.; Campos, M. C. C.; Lima, A. F. L. D.; Cunha, J. M. D.; Simões, E. L.; Oliveira, I. A. D.; Silva, L. S. Multivariate analysis in the evaluation of soil attributes in areas under different uses in the region of Humaitá, AM. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 5, 2019.

Pereira, S. M.; Jacobson, T. K. B.; Gomide, C. S.; De Paula, A. M. Características químicas, físicas e microbiológicas de sistemas agroflorestais em diferentes estágios sucessionais em Brasília. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 3, p. 280-290, 2021.

Primieri, S.; Muniz, A. W.; Lisboa, H. D. M. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00110314, 2017.

Petter, F. A.; Lima, L. B.; Moraes, L. A.; Tavanti, R. F. R.; Nunes, M. E.; Freddia, O. S.; Marimon Jr, B. H. Carbon stocks in oxisols under agriculture and forest in the southern Amazon of Brazil. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 53–61, 2017.

Regazzi, A. J. **Análise Multivariada, Notas de aula EST 746**. Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v. 2, 2006.

Rodrigues, M.; Rabêlo, F. H. S.; Castro, H. A.; Robodero, D.; Carvalho, M. A. C.; Roque, C. R. Cultivo mínimo é o sistema recomendado para introdução da *Brachiaria brizantha* em Latossolo na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 61, p. 1-7. 2018.

Salton, J. C.; Silva, W. M.; Tomazi, M. Hernani, L. C. Agregação do solo e estabilidade de agregados. In: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, p. 129-138, 2017.

Santos, E. A. N.; Campos, M. C. C.; Cunha, J. M.; Souza, F. G.; Wadt, P. G. S.; Pinheiro, E. N.; Jordão, H. W. C.; Lima, A. F. L.; Brito, W. B. M.; Freitas, L. Gypsum, Soil Scarification and Succession Planting as Alternatives to Mitigate Compaction of Dystrophic Red-Yellow Latosol. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 8, p. 277-285, 2018.

Santos Júnior, A. B. Dos; Silveira Júnior, O.; Lima, Ítalo C. S.; Nunes, M. E.; Santos, A. C. Dos; Faria, A. F. G. de. Spatial variability of soil chemical attributes submitted to different types of agricultural use in the Cerrado-Amazon Ecotone. **Agri-Environmental Sciences**, v. 7, n. 1, p. 16, 23 jun. 2021.

Santos, M. C. dos. **Qualidade do solo sob atividade agropecuária no sul do Amazonas**. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas. Humaitá, p. 63, 2022.

Silva, A. S.; Lima, J. S. S.; Oliveira, R. B.; Souza, G. S.; Silva, M. A. Análise espacial da erosão hídrica em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 335-342, 2007.

Silva, J. R.; Farias, C. H. A.; Oliveira, F. P.; Silva, P. L. F.; Campos, M. C. C.; Tavares, D. D. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes tempos de colheita mecanizada com tráfego controlado-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 11, p. e7696-e7708, 2024.

Silva, L. I.; Campos, M. C. C.; Brito, W. B. M.; Cunha, J. M.; Lima, A. F. L.; Santos, L. A. C. Dos; Hassane, A. L. Spatial variability of soil erodibility in pastures and forest areas in the municipality of Porto Velho, Rondônia. **Revista Ambiente e Água**, v. 16, p. 1-23, 2021.

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**, v. 46, p. 1277-1283, 2011.

Simone, T. E.; Lambert, D. M.; Cuvaca, I.; Eash, N. S. Sequestro de carbono do solo, mercados de carbono e práticas de agricultura de conservação: um exame hipotético em Moçambique. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 3, p. 167-179, 2017.

Soares, M. D. R.; Souza, Z. M.; Campos, M. C. C.; Moraes Tavares, R. L.; Cunha, J. M. Spatial dependency of soil chemical in production systems in the anthropogenic dark earth. **Canadian journal of soil science**, v. 101, p. 532-542, 2021. <https://doi.org/10.1139/cjss-2020-0110>

Sobucki, L.; Ramos, R. F.; Bellé, C.; Antonioli, Z. I. Manejo e qualidade biológica do solo: uma análise. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 3, n. 4, 2019.

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

conversion to different cropping systems in Southern Amazonas, Brazil. **Carbon Management**, v. 11, n. 1, p. 81-96, 2020.

Souza, F. G.; Campos, M. C. C.; Cunha, J. M.; Martins, T. S.; Assis, J. M.; Brito Filho, E. G.; Brito, W. B.; Silva, D. M. P.; Oliveira, F. P. Chemical attributes of amazon forest soil under conversion for different cultivation systems in the south of Amazonas, Brazil. **Applied ecology and environmental research**, v. 21, p. 1767-1787, 2023.

Statistica. **Statistica 7.0**. EUA Software. Tucksas: StatSof. Baltimore, 2005. 250p.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, p. 573, 2017.

Totsche, K. U.; Amelung, W.; Gerzabek, M. H.; Guggenberger, G.; Klumpp, E.; Knief, C.; Lehdorff, E.; Mikutta, R.; Peth, S.; Prechtel, A.; Ray, N.; Kögel-Knabner, I. Microaggregates in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 1, p. 104-136, 2018. doi: <https://dx.doi.org/10.1002/jpln.201600451>.

Trangmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, v. 38, p. 54-94, 1985.

Veldkamp E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.175-80, 1994.

VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; SIQUEIRA, G. M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.185-195, 2011.

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 Press, cap. 2, p. 319-344, 1980.

Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

3 CAPÍTULO II – IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE USO DO SOLO SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS NO CENTRO-NORTE DE RONDÔNIA

3.1 INTRODUÇÃO

A intensificação do uso do solo e a redução da cobertura vegetal nativa têm contribuído significativamente para a degradação dos recursos naturais. O uso indiscriminado das terras destinadas à produção agrícola e pecuária tem causado a perda da fertilidade natural do solo, bem como a degradação da sua qualidade física (Lima et al. 2022a).

O uso e o manejo inadequado do solo podem acarretar alterações nos seus atributos, desencadeando processos de degradação que promovem o empobrecimento das características físicas, químicas e biológicas (Silva et al. 2024). A degradação das características físicas constitui um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural do solo (Oliveira et al., 2023), expressando-se, principalmente pelo aumento da compactação, elevação da densidade do solo e intensificação da erosão. Por sua vez, a degradação das características químicas, contribui para a redução da fertilidade do solo e da matéria orgânica do solo. Essas alterações podem comprometer a sua capacidade produtiva (Souza et al. 2024).

A qualidade do solo pode ser definida como a sua capacidade de sustentar a sustentabilidade local, dentro dos limites estabelecidos pelo ecossistema, tanto em condições de manejo como em estado natural (Santana et al. 2019). As propriedades físicas são bons indicadores da qualidade do solo, e podem ser utilizadas para diferenciar os sistemas de produção, evidenciando aqueles que demonstram maior eficiência sobre o avanço da qualidade do solo (Silva *et al.* 2020). Da mesma forma, os atributos químicos também se mostram relevantes, sendo considerados indicadores eficazes para sistemas agrícolas, devido à sua forte relação com a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento das plantas e dos organismos que habitam o solo (Costa et al., 2019). Nesse sentido, o estudo da qualidade do solo torna-se essencial para um planejamento sustentável do uso da terra (da Luz et al. 2019).

A aplicação da análise multivariada tem contribuído no estudo do solo, pelo método dos Componentes Principais, que auxilia na redução do número de variáveis envolvidas nos atributos do solo. Alguns pesquisadores têm utilizado a geoestatística (Lima et al. 2024) para avaliar o impacto do uso e ocupação do solo. A geoestatística é usada para avaliar a variabilidade do solo e elaborar mapas de Krigagem, sendo um método estatístico capaz de explicar as complexidades associadas à homogeneidade e heterogeneidade do solo. Quando associada a técnicas de processamento de imagem (NDVI), permite destacar as características

do índice de vegetação e suas relações com os atributos do solo. Essa ferramenta tem sido amplamente utilizada por diversos pesquisadores, para analisar as mudanças ocorridas na cobertura do solo e seus impactos no ambiente (Song et al. 2020; Zebalos et al. 2022).

Desta forma, o estudo tem como hipóteses, i) as diferentes condições de uso do solo impactam de forma significativa os atributos, alterando a qualidade e funcionalidade do solo; ii) O uso de ferramentas estatísticas, como a análise multivariada e a geoestatística, permite identificar padrões e correlações entre os atributos, em função das condições de uso do solo. Logo, o objetivo do trabalho foi avaliar os impactos ocasionados nos atributos texturais, densidade do solo (Ds), fósforo (P) e matéria orgânica (MO) do solo, sob diferentes condições de uso na região centro-norte de Rondônia utilizando ferramentas estatísticas como a multivariada e a geoestatística.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Caracterização das áreas de estudo

Este trabalho foi desenvolvido 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.

A pesquisa foi realizada em solos sob ambiente natural (floresta) e alterados (pastagem, goiaba e SAFs), tais áreas estão localizadas na porção centro-norte do estado de Rondônia (Figura 1).

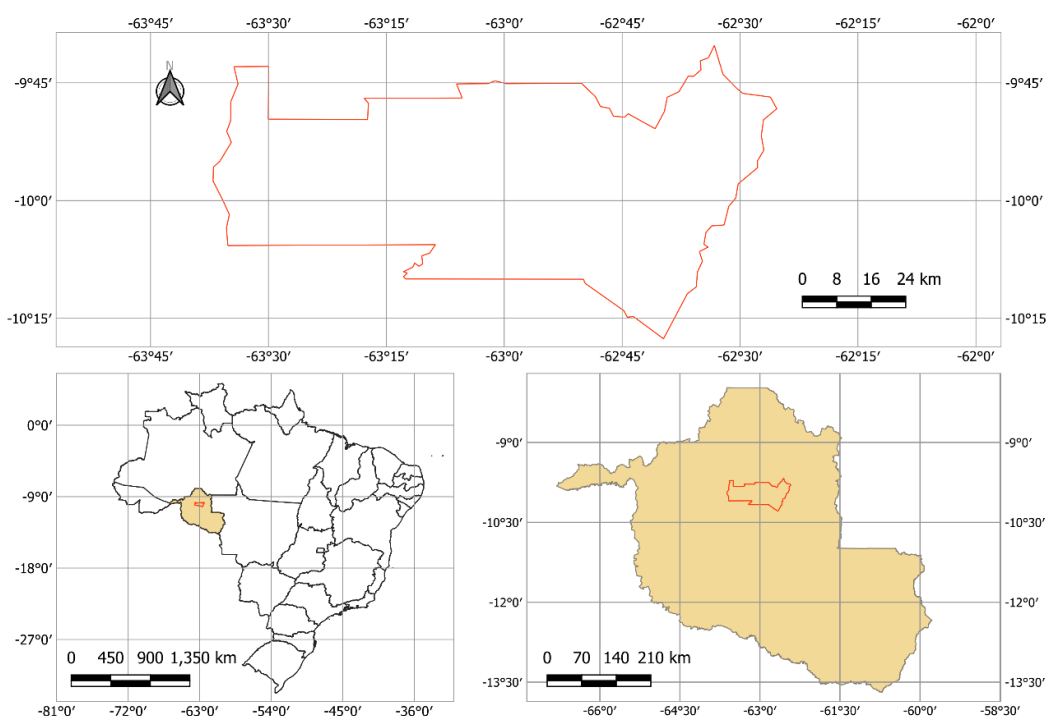


Figura 1. Mapa de localização do município de Ariquemes. **Fonte:** ARAUJO (2023).

Na região o clima segundo classificação de Köppen, pertencente ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), e tipo climático Aw, 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 pluviosidade está limitada pelas isoietas anuais de 1.750 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro prolongando-se até junho, a temperatura média anual de 24°C e com umidade relativa do ar variando entre 80 e 85% (Brasil, 1978). Os solos da região são classificados como Latossolos, Argissolos e Gleissolos (Embrapa, 1998), porém, na área de estudo o solo foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico (Oliveira et al. 2019).

A geologia da região apresenta rochas granulitos, migmatitos, granitos, adamelitos e granodiorito cristalinas do Pré-Cambriano Médio a Superior do Complexo Xingu; Granitos Rondonianos do Pré-Cambriano Superior; arenitos arcoseanos, localmente quartzíticos, brancos a vermelhos, folhelhos, siltitos e quartzitos do Pré-Cambriano Superior e Eopaleozóico e sedimentos são de natureza arenosa, siltosa e argilosa, recobertos por depósitos de resíduos vegetais de constituição e grau de decomposição diversos do Quaternário (Holoceno) (Brasil, 1978).

A cobertura vegetal predominam a Floresta Tropical Densa dos climas quentes úmidos e superúmidos sendo caracterizada sobretudo por suas grandes árvores, por vezes com mais de 50 m de altura, que sobressaem no estrato arbóreo uniforme entre 25 e 35 m de altura e Floresta Tropical Aberta que apresentam grandes árvores muito dispersas, com frequentes grupamentos de palmeiras e enormes quantidades de fanerófitas sarmentosas, que envolvem as árvores e recobrem completamente o estrato inferior (Brasil, 1978).

Na tabela 1 são apresentados os históricos das áreas de pastagem, goiaba (*Psidium guajava* L), SAFs e floresta dos últimos 5 anos.

Tabela 1. Histórico das áreas estudadas no centro-norte de Rondônia.

Uso	Histórico de uso e manejo
Pastagem	A área da pastagem passou por um processo de recuperação no ano de 2020, antes era uma área de pastagem degradada. Durante o manejo de recuperação, foi realizado um plantio de milho para a produção de silagem, após a colheita e ensilagem realizou-se aração, gradagem, calagem e adubação conforme as necessidades requeridas, seguida do preparo foi semeado o capim Mombaça (<i>Panicum maximum</i>). A partir de então, a área não recebeu mais nenhum tipo de

	manejo, a não ser o manejo dos animais sob a mesma. Está em cultivo efetivo há 5 anos.
Goiaba (<i>Psidium guajava</i> L)	O plantio possui espaçamento de 7 x 7 m. No ano de 2020 foram realizadas adubação, calagem e poda de produção. Já nos anos de 2021, 22 e 23 foram executadas somente as práticas culturais como, poda de produção e a roçagem das gramíneas plantadas nas entrelinhas, sendo essa uma atividade frequentemente realizada. A colheita é realizada com auxílio de trator agrícola e carretinha de arraste, para retirada dos frutos. Está em cultivo efetivo a mais de 15 anos.
Sistema agrofloresta (SAFs)	Na área de sistema agrofloresta (SAFs) é cultivada o cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>) em conjunto com a seringa (<i>Hevea brasiliensis</i>). O plantio possui espaçamento de 6 x 7 m. No ano de 2020 passou pelo manejo de calagem e adubação e as práticas culturais como, roçagem, poda de produção e poda fitossanitária. Nos anos seguintes realizou-se somente roçagem e poda fitossanitária. A colheita é realizada com auxílio de trator agrícola e carretinha de arraste, para retirada dos frutos. Está em cultivo efetivo a mais de 15 anos.
Floresta	Caracterizada como Floresta Tropical Densa de climas quentes úmidos e superúmidos, apresentando grandes árvores, por vezes com mais de 50 m de altura, com frequentes grupamentos de palmeiras e enormes quantidades de fanerófitas sarmentosas, que envolvem as árvores e recobrem completamente o estrato inferior.

Na tabela 2 são apresentados os dados de caracterização textural dos solos estudados.

Tabela 2. Caracterização textural das áreas de pastagem, goiaba (*Psidium guajava* L), SAFs e floresta nas profundidades de 0,00 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m.

Ambientes	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
	----- g.kg-1 -----			----- g.kg-1 -----		
	----- 0,00 – 0,10 m -----			----- 0,10 – 0,20 m -----		
Pastagem	193	226	581	157	217	626
Goiaba	329	187	484	310	198	492
SAFs	328	227	445	283	241	476
Floresta	172	163	672	144	173	683

3.2.2 Metodologia de campo

Após a seleção das áreas, foi estabelecida uma malha amostral em cada condição de uso do solo, sendo que essa variou de acordo com o tamanho das áreas de cultivo. Nas áreas de floresta e SAFs adotou-se malhas de 50 x 100 m com espaçamento regulares de 10 m, perfazendo um total de 66 pontos amostrais em cada malha (Figura 3.1). Na área de cultivo de goiaba a malha amostral utilizada era de 75 x 150 m com espaçamentos regulares de 15 m, com um total de 50 pontos amostrais (Figura 3.2). Já na área de pastagem, a malha continha 35 pontos amostrais, com espaçamento regulares de 45 m (Figura 3.3). Em seguida, nos pontos de cruzamento das malhas amostrais, realizou-se as coletas de amostras de solos deformadas e

indeformadas, nas profundidades de 0,00 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m. Todos os pontos amostrados foram georreferenciados com o equipamento GPS Garmin Etrex (DATUM SIRGAS, 2000).

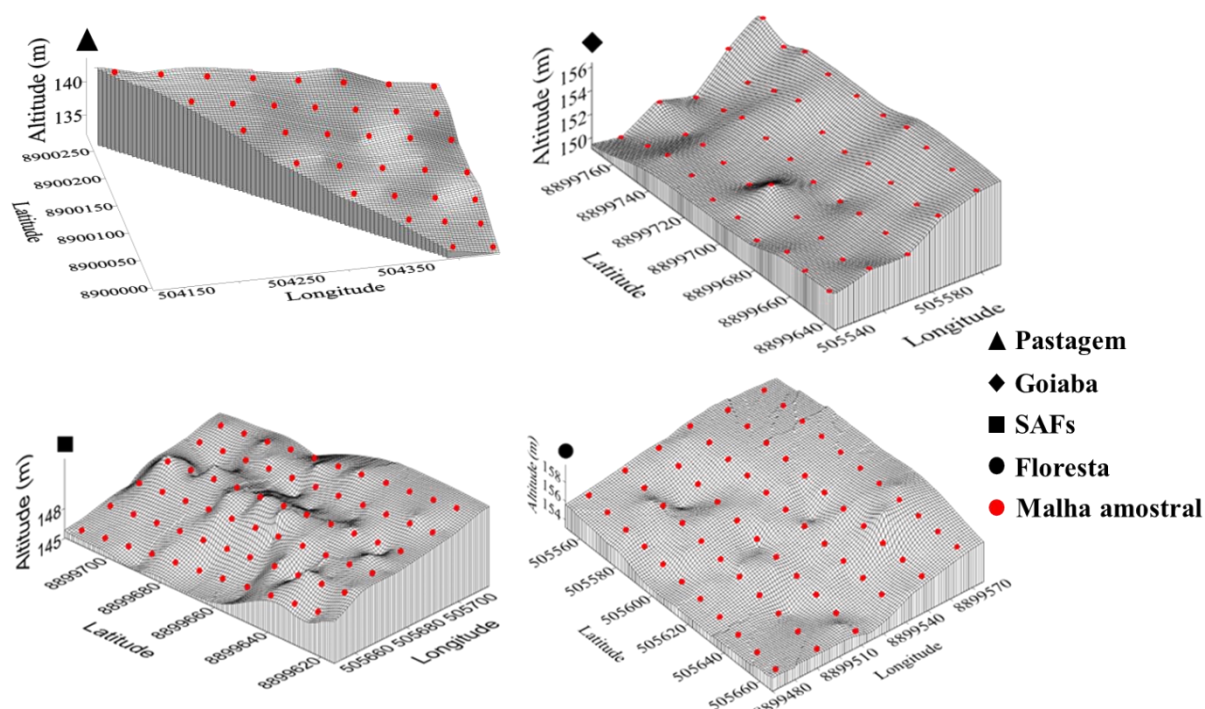


Figura 2. Modelo de Elevação Digital das áreas estudadas (Pastagem, Goiaba, SAFs e Floresta) e as malhas amostrais adotadas. **Fonte:** Autores (2024).

3.2.3 Análises laboratoriais

As amostras de solos coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm, separando o cascalho da terra fina seca ao ar (TFSA). Com a TFSA foram realizadas as análises físicas e químicas, conforme metodologia de Teixeira *et al.* (2017).

A granulometria foi realizada utilizando uma solução de NaOH a $0,1\text{mol L}^{-1}$ como dispersante químico e agitação mecânica utilizando o agitador tipo Wagner, com rotação lenta por 16 horas a 50 rpm. A fração argila foi separada por sedimentação pelo método da pipeta, a areia por tamisação e o silte foi calculado por diferença. A densidade do solo (D_s) foi obtida pelo método do anel volumétrico, calculada pela relação entre a massa da amostra de solo do cilindro volumétrico (seca a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 h) e o volume do mesmo cilindro (Almeida *et al.* 2017).

O teor de fósforo (P) foi determinado utilizando-se o método da resina trocadora de íons (Raij *et al.* 2001), a matéria orgânica (MO), por sua vez, foi estimada com base no carbono orgânico.

3.2.4 Análises estatística univariada e multivariada

Após a determinação dos atributos e tabulação dos dados, os mesmos foram submetidos às análises univariada e estatística descritiva e multivariada, no software Statistica 7 (Statistica, 2005). Através da estatística descritiva, foram calculados a média, mediana, coeficiente de variação, assimetria e curtose. As hipóteses de normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade. Para a apresentação das estatísticas descritivas e distribuição primária dos dados, foram confeccionados os gráficos de boxplot. Através do teste de Tukey a 5% de probabilidade, foram analisadas e comparadas as médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado.

Considerando a estrutura multivariada contida nos dados, foram empregadas técnicas estatísticas multivariadas para estabelecer atributos químicos com poder discriminatório e que possam ser considerados potenciais indicadores de mudanças ambientais e para verificar semelhanças entre os diferentes solos estudados na tentativa de agrupá-los usando-se os atributos avaliados.

Foi realizada uma análise de fatores que permite relações entre um conjunto de variáveis a serem explicadas em termos de um número limitado de novas variáveis e, optou-se por utilizar a extração por componentes principais (Jeffers, 1978) calculado a partir da matriz de correlação entre variáveis. Para facilitar a interpretação, utilizou-se o método de rotação ortogonal denominado Varimax (Hoffmann, 1992).

O procedimento utilizado para a seleção do número de componentes principais (CPs), foi o percentual cumulativo que explicasse 70% ou mais da variância dos dados e aqueles que apresentaram autovalores acima de 1,00 (Hair, 2009). Nesses componentes principais selecionados, detecta-se as variáveis mais informativas, ou seja, aquelas que mais se correlacionassem com os CPs, utilizando como critério de escolha de cargas das variáveis ou “loadings”, valores (em módulo) maiores ou iguais a 0,70. Este método permitiu estabelecer quais atributos estarão mais fortemente relacionados com os sistemas de usos (pastagem, goiaba, SAFs e floresta), e a partir destes dados, estabelecer métodos e modelos para preservação destes solos.

A comparação das áreas foi realizada utilizando todos os atributos dos solos conjuntamente, com a análise complementar que é a análise discriminante, uma matriz de classificação de dados. A partir desta análise é possível definir se as áreas estudadas são distintas ou apresentam alguma similaridade, sendo estas representadas em um gráfico “biplot”, no qual é possível verificar a separação entre elas.

3.2.5 Análise geoestatística e geoprocessamento

Por meio da geoestatística foi avaliado a variabilidade e a correlação espacial dos atributos físicos e químicos do solo e dos escores obtidos pela análise fatorial, que nesse caso, o uso desta ferramenta para determinar a variabilidade espacial dos escores da ACP visa estabelecer os limites de variabilidade, a partir das isolinhas representadas nos mapas. Para determinação da existência da dependência espacial modelaram-se semivariogramas (Isaaks e Srivastava, 1989). Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela Equação 2:

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

sendo:

$\gamma(h)$ - valor da semivariância para o vetor h ;

$N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância;

$Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ;

$Z(x_i + h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa gS+ 7.0 (Gamma Design, 2004). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, baseia-se no melhor coeficiente de determinação (R^2) e nos coeficientes linear e angular, obtidos nos procedimentos de validação cruzada (dados não apresentados).

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (efeito pepita, C_0 ; variância estrutural, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a), identificados nas figuras como Esf. ou Exp. ($C_0 - C_1 + C_0 - [(C_0/(C_0+C_1))*100 - R^2 - a$, onde Esf. e Exp., correspondem aos modelos esférico e exponencial, respectivamente). 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 (Trangmar *et al.* 1985).

Na análise do grau de dependência espacial ($GDE = [(C_0/(C_0+C_1)) * 100]$) das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994), onde valores de GDE menores que 25% são considerados dependência espacial forte, entre 25 e 75% indicam dependência espacial moderada e valores maiores que 75%, dependência espacial fraca.

Após os ajustes dos modelos matemático, os valores interpolados por meio da Krigagem e ajustes de semivariogramas, foram usados para construção de mapas dos atributos avaliados e os escores das amostras referentes ao CP1 e CP2, com uso do programa Surfer 11 (Golden Software Inc., 1999). Os mapas de Krigagem possibilitam verificar e relacionar espacialmente os atributos dos solos estudados.

Através do alcance dos semivariogramas de cada variável, é possível determinado o número mínimo de amostras para que ainda seja possível promover a caracterização da variabilidade espacial de cada atributo estudado individualmente.

$$N = \frac{A}{(a^2)/10000} \quad (5)$$

em que:

N = número mínimo de amostras necessárias para a determinação de uma malha de amostragem;

A = área total em hectares;

a = alcance do semivariograma em metros.

Para determinação do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), as imagens foram obtidas através do drone modelo DJI Mavic 3M, no qual é equipado com uma câmera multiespectral de 20MP RGB e 5MP nas bandas do verde, vermelho, infravermelho próximo e borda vermelha. O processamento de imagens e geração do índice de vegetação foram feitas pelos softwares Agisoft Metashape versão 1.5.3 e QGIS 3.28.14, respectivamente. O método utilizado para calcular o Índice de Vegetação foi o NDVI, conforme equação:

$$NDVI = \frac{Nir-V}{(Nir+V)} \quad (1)$$

sendo:

NIR - Infravermelho próximo

V - Banda do vermelho.

3.3 RESULTADOS

Ao analisar a distribuição dos dados apresentados na tabela 3, é possível identificar que o coeficiente de variação (CV%), apresentou valores variando de 4,00 a 72,00% e de 4,00 a 74,00%, nas camadas de 0,00 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, respectivamente, sendo classificados como baixo (<12%), médio (12 a 60%) e alto (>60%) segundo classificação de Warrick e Nielsen (1980).

A areia no ambiente de floresta, a argila no ambiente de floresta e na pastagem de 0,10 - 0,20 m, a Ds em todos os ambientes e pastagem, o P no ambiente de SAFs de 0,10 - 0,20 m e a MO no ambiente de SAFs apresentaram um CV% baixo, indicando uma baixa dispersão dos dados, enquanto o P na pastagem, goiaba e SAFs de 0,00 - 0,10 m e na goiaba e floresta 0,10 - 0,20 m apresentaram alto CV%, as demais variáveis foram classificadas com médio CV%.

Os atributos avaliados apresentaram valores de assimetria variando entre -1,44 a 4,54, onde a maioria se encontra próximos à zero, o que denota simetria dos dados (Tabela 3). Os atributos que apresentam valores de assimetria maiores que zero, são caracterizados pela distribuição assimétrica à direita, já os que possuem valores menores que zero contêm distribuição assimétrica à esquerda. Os valores da curtose variaram de -1,05 a 23,14, onde a maioria se apresenta dentro dos valores aceitáveis -2 a +2 (Negreiros Neto *et al.* 2014).

O teste de Kolmogorov Smirnov, realizado com um nível de significância de 5%, indicou normalidade na distribuição dos dados de quase todas as variáveis avaliadas, exceto para areia de 0,10 - 0,20 m na área de pastagem e 0,00 - 0,10 m na floresta, para argila nas áreas de pastagem e SAFs nas duas profundidades e de 0,00 - 0,10 m na goiaba, para Ds de 0,00 - 0,10 m da pastagem e nas duas profundidades do SAFs, para P de 0,10 - 0,20 m da floresta e MO também de 0,10 - 0,20 m no SAFs (Tabela 3).

Tabela 3. Análises descritiva e teste de normalidade dos dados, para atributos físicos, COT e ECOT em diferentes ambientes estudados no centro-norte de Rondônia.

Parâmetros	Areia	Argila	Ds	P	MO	Areia	Argila	Ds	P	MO
	----- g kg ⁻¹ -----		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mg ha ⁻¹
	----- 0,00 - 0,10 m -----					----- 0,10 - 0,20 m -----				
Pastagem										
CV	23,00	12,00	4,00	67,00	21,00	27,00	8,00	4,00	40,00	32,00
Assimetria	0,01	0,33	0,52	4,54	0,91	-0,58	0,03	-0,73	1,50	1,64
Curtose	-1,05	-0,21	0,19	23,14	0,79	0,77	-1,04	0,42	3,41	3,91
KS	0,11*	0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,33*	0,15*	0,10 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,10*	0,17*	0,15*
Goiaba										
CV	20,00	14,00	7,00	64,00	24,00	24,00	15,00	7,00	74,00	25,00
Assimetria	-0,36	-0,08	-0,82	1,80	1,17	-0,54	-0,03	-0,95	3,60	2,18
Curtose	-0,10	0,51	0,60	2,85	1,71	0,34	-0,17	1,22	16,39	8,04
KS	0,14*	0,08 ^{ns}	0,17*	0,19*	0,13*	0,12*	0,11*	0,10*	0,24*	0,14*
Sistema Agroflorestal										
CV	16,00	18,00	6,00	72,00	7,00	17,00	17,00	6,00	5,00	8,00
Assimetria	-1,01	0,30	0,10	0,96	-0,70	-1,39	0,37	-0,11	-1,18	-0,17
Curtose	0,56	-0,25	0,31	0,59	0,07	3,19	0,07	0,25	2,41	-0,24
KS	0,14*	0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,12*	0,10*	0,12*	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,10*	0,05 ^{ns}
Floresta										
CV	10,00	7,00	7,00	38,00	12,00	7,00	8,00	7,00	63,00	10,00
Assimetria	0,56	-0,57	-0,40	3,07	-0,48	0,51	-0,53	-0,65	1,30	-1,44
Curtose	1,70	2,67	0,99	13,42	0,10	-0,67	3,22	1,71	4,58	3,61
KS	0,05 ^{ns}	0,11*	0,10*	0,19*	0,10*	0,10*	0,14*	0,09*	0,07 ^{ns}	0,12*

CV = Coeficiente de Variação; KS = Kolmogorov Smirnov; ns = não significativo a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

Ao observar os componentes da textura do solo, percebe-se que houve diferença estatística para todas as variáveis avaliadas (Figura 3). O atributo de argila apresentou o mesmo comportamento nas duas profundidades, os maiores valores foram apresentados pela área da floresta (671,97 e 683,18 g kg⁻¹), já os menores valores foram para as áreas de SAFs de 0,00 - 0,10 m (445,15 g kg⁻¹) e goiaba e SAFs de 0,10 - 0,20 m (492,10 e 475,90 g kg⁻¹) não diferindo estatisticamente entre si. Os maiores teores de areia foram nas áreas de goiaba e SAFs de 0,00 - 0,10 m (328,52 e 327,60 g kg⁻¹) não apresentando diferença estatística entre si e de 0,10 - 0,20 m na goiaba (310,00 g kg⁻¹). Já os menores teores de areia são para a pastagem e floresta nas duas profundidades, com valores variando entre 143,98 e 192,50 g kg⁻¹ não havendo significância respectivamente entre as medias.

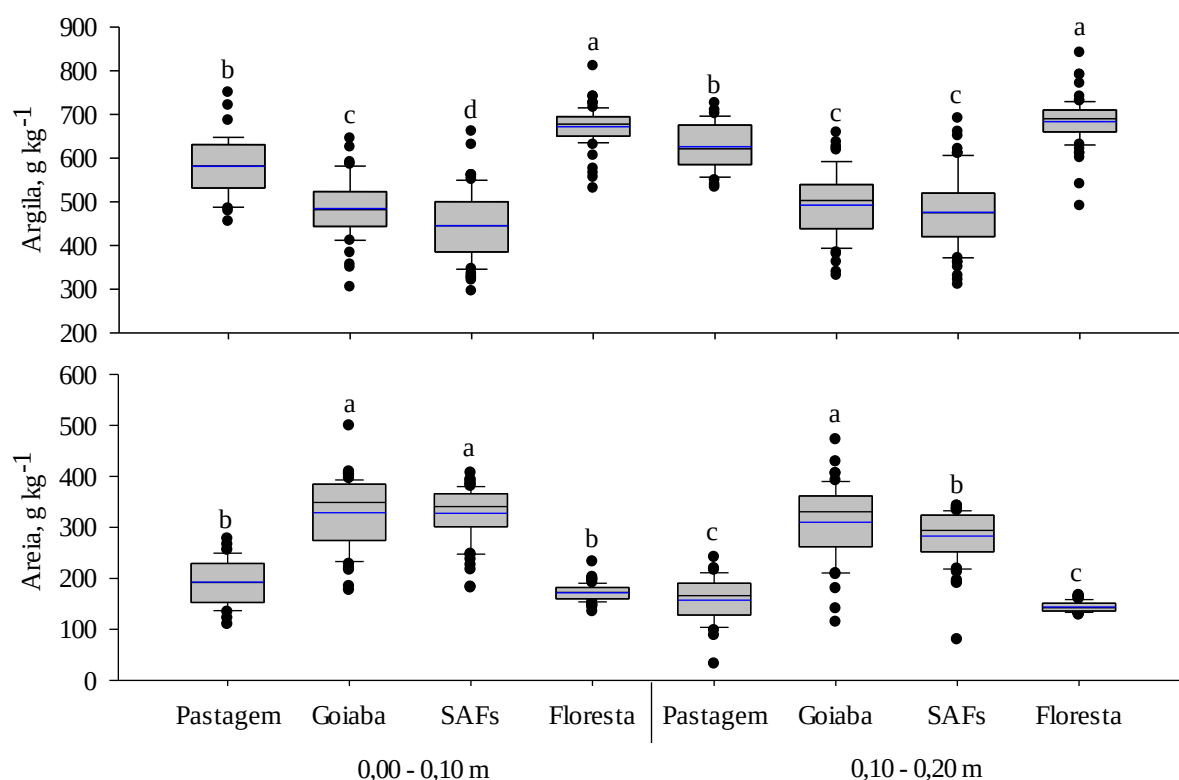


Figura 3. Boxplot e teste de média dos componentes da textura do solo em diferentes ambientes. A linha azul indica a média dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

O ambiente de floresta apresentou os menores valores de Ds (1,10 e 1,12 g dm⁻³) nas duas camadas avaliadas, já os maiores valores de Ds foram apresentados nas áreas de pastagem e goiaba nas duas profundidades, com valores entre 1,34 e 1,38 g dm⁻³. Para os teores de fósforo os maiores valores disponíveis estão nas áreas de pastagem (10,05 e 5,21 mg dm⁻³) e goiaba (9,50 e 5,81 mg dm⁻³) e os menores nas áreas de SAFs (1,43 e 1,76 mg dm⁻³) e floresta (3,23 e 1,83 mg dm⁻³) nas duas profundidades avaliadas. Os teores de fósforo variaram de 29,35 a 46,99

mg ha⁻¹ na primeira profundidade e 21,24 a 54,32 mg ha⁻¹ na segunda profundidade. Observando os valores é possível ver que a variável diferencia estatisticamente nas duas camadas avaliadas, sendo o ambiente de SAFs o que apresentou os maiores teores e a pastagem e a goiaba os menores teores, nas duas camadas avaliadas (Figura 4).

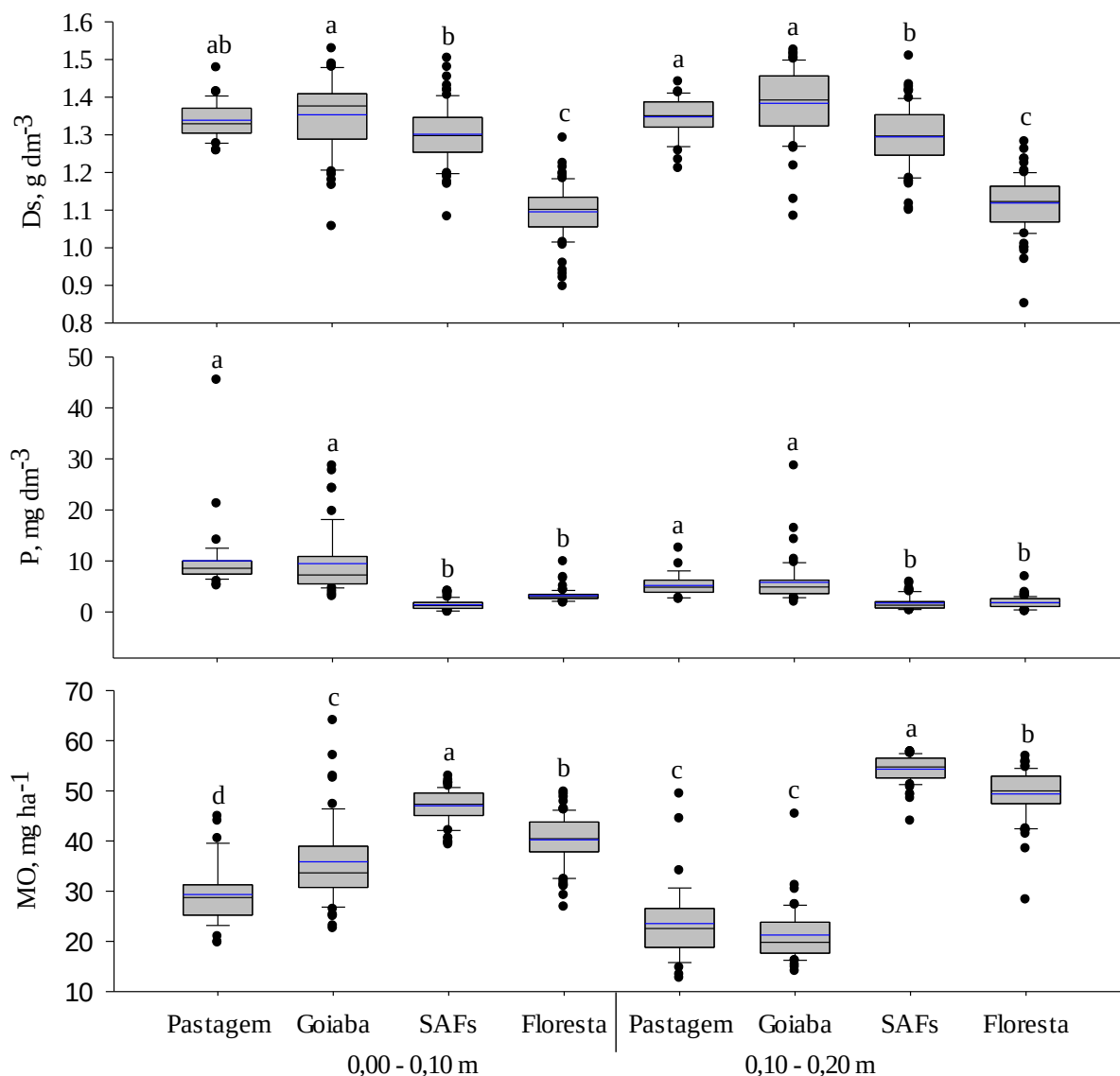


Figura 4. Boxplot e teste de média da densidade do solo e dos teores de fosforo e matéria orgânica do solo em diferentes ambientes. A linha azul indica a média dos dados. Letras minúsculas diferentes representa que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

A análise de fatores (Tabela 4) permitiu identificar os atributos com maiores cargas fatoriais, possibilitando determinar quais deles apresentaram um poder discriminatório comum entre as áreas estudadas. Na primeira camada de 0,0 - 0,10 m, pode-se observar que os dois primeiros fatores explicam 76,24% da variância total dos dados. Os atributos de areia, argila e Ds foram os mais relevantes para a determinação do Fator 1, explicando 46,34% da variância

total, e os atributos de P e MO estão relacionados ao Fator 2, explicando 29,90% da variância total. Já na segunda camada de 0,10 - 0,20 m, nota-se que os dois primeiros fatores explicam 79,09% da variância total dos dados, sendo que o Fator 1 explica 50,99% e o Fator 2 explica 28,10%. Os atributos de areia, argila e Ds foram os mais relevantes para a determinação do Fator 1, enquanto que o P e a MO não apresentaram carga fatorial nos dois primeiros fatores, o que indica uma baixa potencialidade de explicação dos resultados.

Tabela 4. Fatores extraídos por componentes principais, destacando os atributos com cargas superiores a 0,7 (módulo), na profundidade de 0,0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m.

Variáveis	Fator 1			Fator 2		
	----- 0,0 - 0,10 m -----			----- 0,10 - 0,20 m -----		
Areia	0,8939*	-0,1332	0,0141	-0,7856*	-0,4894	0,0177
Argila	-0,9144*	0,1214	-0,0327	0,7357*	0,5608	-0,1761
Ds	0,7944*	0,3830	0,1501	-0,8587*	0,0618	-0,3148
P mg dm ⁻³	0,1074	0,8074*	-0,5750	-0,5630	0,6194	0,5376
MO mg ha ⁻¹	0,1976	-0,8149*	-0,5063	0,5804	-0,6809	0,3028
Autovalores	2,3170	1,4952	0,6107	2,5496	1,4052	0,5112
% da variância total	46,3402	29,9046	12,2144	50,9912	28,1037	10,2231
Autovalores cumulativo	2,3170	3,8122	4,4230	2,5496	3,9547	4,4659
% cumulativa da variância total	46,3402	76,2449	88,4593	50,9912	79,0949	89,3180

DS = densidade do solo, P = fosforo, MO = Matéria Orgânica. * Valores mais significativos.

Por meio da análise de componentes principais (Figura 5), podemos observar a correlação dos atributos com os sistemas de uso adotados para a pesquisa. Os atributos de argila e areia apresentaram comportamentos semelhantes nas duas profundidades analisadas, assim como a densidade do solo. A argila demonstrou uma forte correlação com os ambientes de floresta e pastagem, enquanto a areia apresentou maior relação com os sistemas agroflorestais (SAFs) e a cultura de goiaba. Já a densidade do solo esteve fortemente associada ao ambiente de goiaba. Esses comportamentos sugerem que essas variáveis são mais sensíveis para descrever os ambientes a qual estão relacionados. O P apresentou correlação com o ambiente de pastagem na profundidade de 0,00 - 0,10 m, já a MO se correlacionou com o ambiente de SAFs. Através do plano fatorial, pode-se observar também, que a área da floresta se mostra distinta em relação às demais áreas.

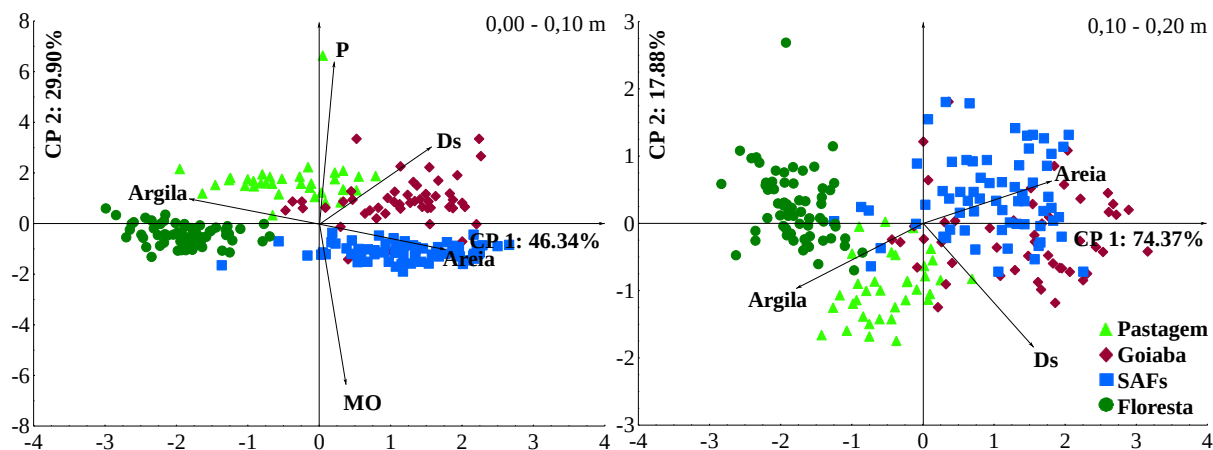


Figura 5. Análise de componentes principais dos atributos físicos, COT e ECOT, em áreas sob diferentes usos no centro-norte de Rondônia.

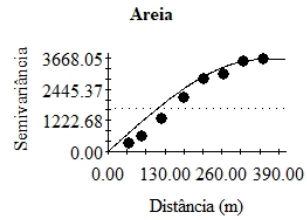
Na Figuras 6 são apresentados os semivariogramas das áreas de pastagem e goiaba e SAFs e floresta respectivamente. A análise geoestatística, avaliada por meio dos semivariogramas apresentou dependência espacial para todos os atributos avaliados, sendo o modelo esférico o único ajustado. O coeficiente de determinação apresentou valores variando de 0,72 a 0,99.

Os valores do Grau de Dependência Espacial (GDE) variaram de 36,10% a 99,70% para as áreas avaliadas, o que indica dependência espacial moderada e fraca. Apresentaram GDE fraco, o atributo de areia das áreas de pastagem e goiaba nas duas profundidades e SAFs na profundidade de 0,00 - 0,10 m e o atributo de argila na área da goiaba na profundidade de 0,10 - 0,20 m, todos os demais atributos apresentaram moderada dependência espacial.

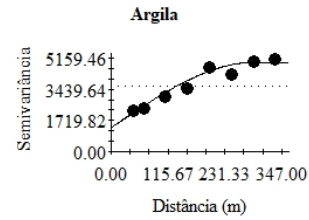
Ao avaliar o alcance, observamos diferentes distancias para os atributos dos diferentes sistemas de uso. No ambiente de pastagem os menores alcances foram observados no atributo de Ds (140,00 e 125,00 m) nas duas profundidades, já os maiores alcances foram encontrados pela areia (350,00 e 360,00 m). Na área de goiaba o P (62,00 m) e a Ds (105,00 m) apresentaram os menores alcances para a profundidade de 0,00 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m respectivamente, os maiores alcances foram dados pela argila (120,00 m) e MO (120,00 m) de 0,00 - 0,10 m e pela MO (125,00 m) na profundidade de 0,10 - 0,20 m. No cultivo de SAFs os menores alcances foram observados pelo P (20,00 m) na camada de 0,00 - 0,10 m e a Ds (25,00 m) na camada de 0,10 - 0,20 m, os maiores alcances foram observados pelos atributos texturais argila (72,00 m) na profundidade de 0,00 - 0,10 m e areia (70,00 m) na profundidade 0,10 - 0,20 m. Na floresta a MO (25,00 m) na camada 0,00 - 0,10 m e a Ds (22,00 m) na camada 0,10 - 0,20 m apresentaram os menores alcances, já os maiores alcances foram apresentados pela areia (80,00 e 75,00 m) nas duas camadas avaliadas respectivamente. Analisando todos os ambientes, observa-se que os maiores alcances foram encontrados para o ambiente de pastagem e cultivo

de goiabeira. Esse resultado leva em consideração o tamanho da malha amostral utilizada em cada ambiente, visto que na pastagem foi possível adotar uma malha com espaçamento 4,5 vezes maior e na goiaba 1,5 vezes maior que os ambientes de SAFs e floresta, o que contribui para a obtenção de alcances superiores.

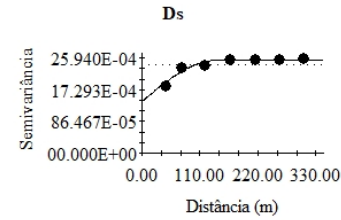
Pastagem 0,00 - 0,10 m



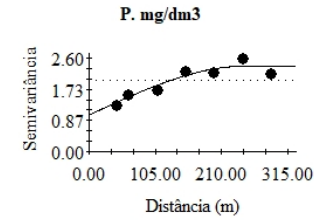
Esf. (10,00; 3611,20; 99,70; 350,00; 0,99)



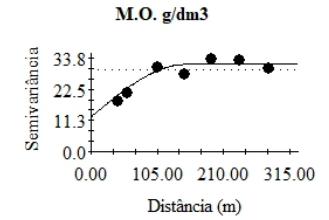
Esf. (1320,96; 4931,93; 73,20; 293,58; 0,94)



Esf. (0,00; 0,00; 44,20; 140,00; 0,93)

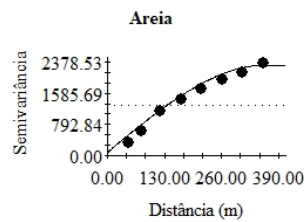


Esf. (1,02; 2,38; 57,20; 250,00; 0,89)

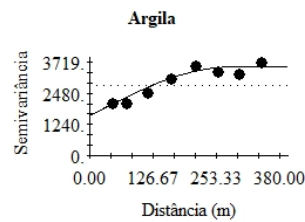


Esf. (12,60; 31,50; 60,00; 150,00; 0,89)

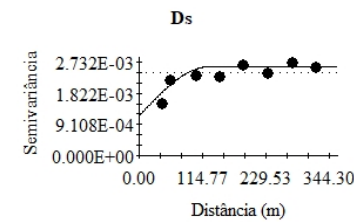
Pastagem 0,10 - 0,20 m



Esf. (88,01; 2299,80; 96,20; 360,00; 0,99)

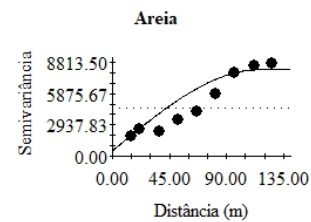


Esf. (1588,20; 3518,58; 54,90; 280,00; 0,91)

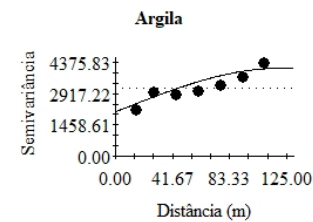


Esf. (0,00; 0,00; 55,10; 125,00; 0,76)

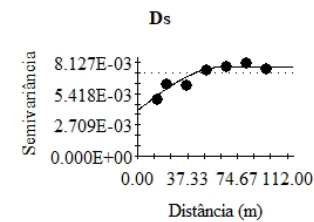
Goiaba 0,00 - 0,10 m



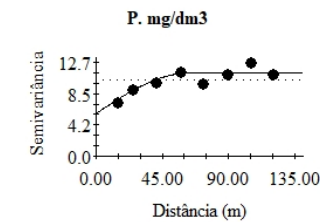
Esf. (514,50; 8124,29; 93,70; 116,00; 0,86)



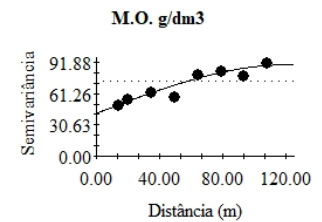
Esf. (2069,00; 4100,00; 49,50; 120,00; 0,81)



Esf. (0,00; 0,01; 48,50; 63,00; 0,88)

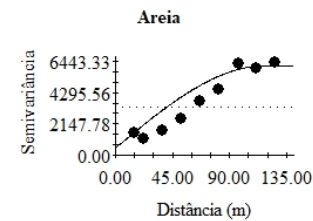


Esf. (5,78; 11,23; 48,50; 62,00; 0,77)

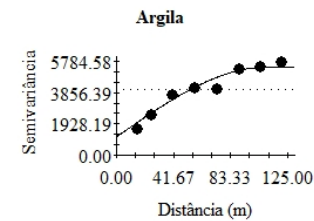


Esf. (41,90; 89,35; 53,10; 120,00; 0,88)

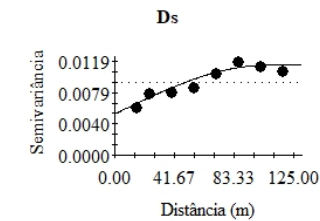
Goiaba 0,10 - 0,20 m



Esf. (520,43; 6145,01; 91,50; 118,00; 0,91)

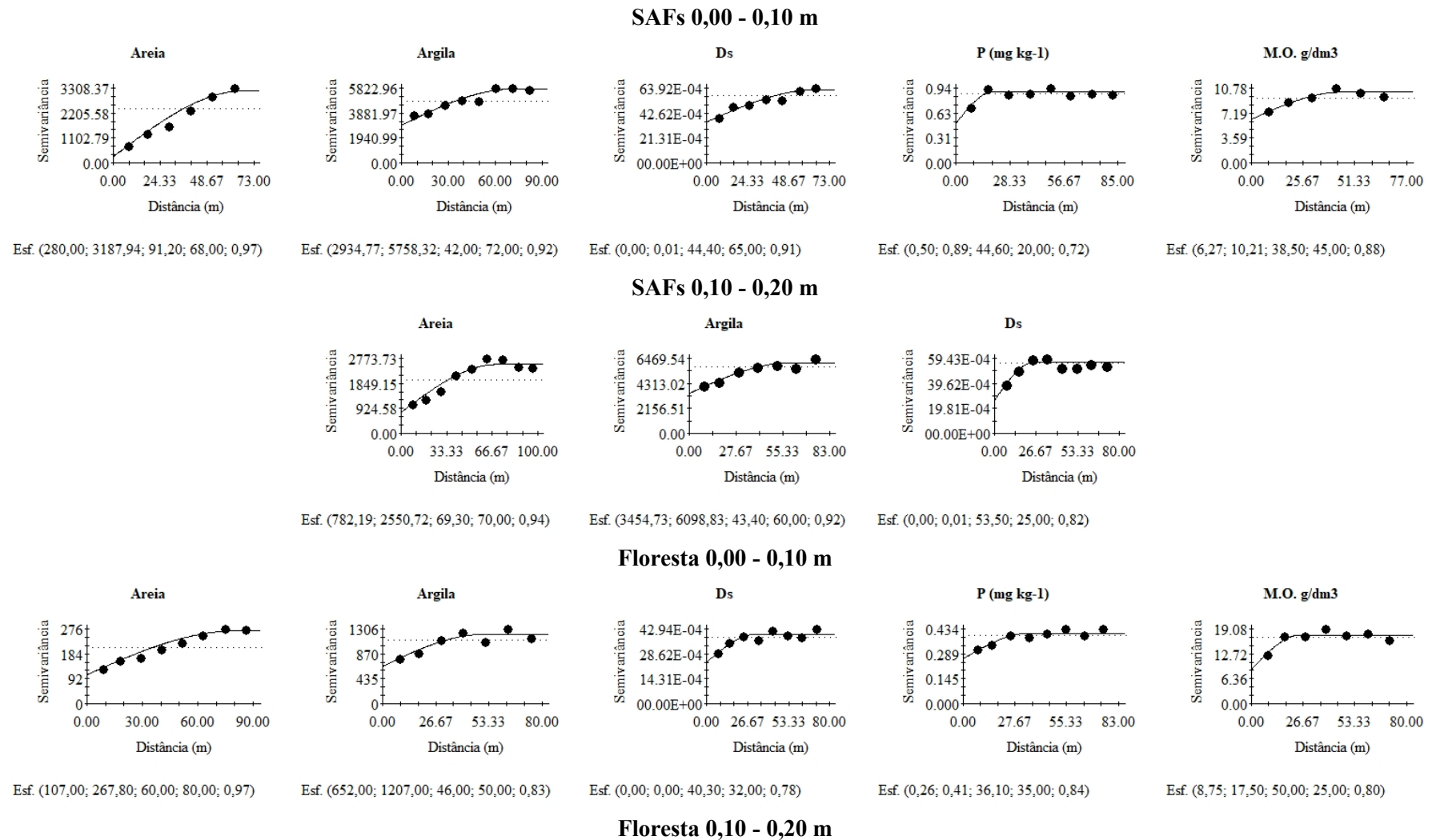


Esf. (1139,00; 5430,00; 79,00; 110,00; 0,95)



Esf. (0,01; 0,01; 54,00; 105,00; 0,91)

Figura 6. Semivariogramas dos atributos de areia, argila, Ds, P e MO das diferentes áreas avaliadas. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance; R^2) continua...]



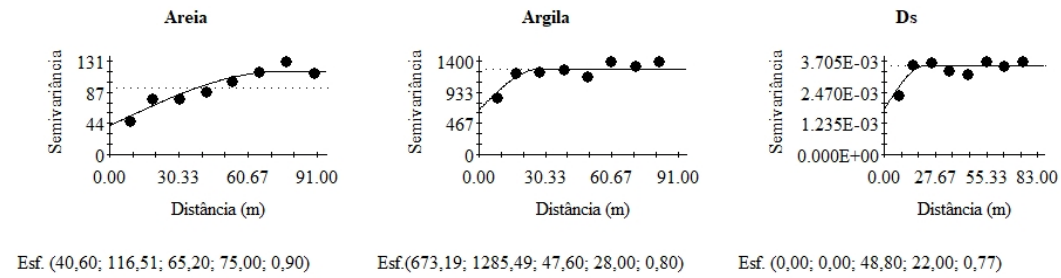


Figura 6. Semivariogramas dos atributos de areia, argila, Ds, P e MO das diferentes áreas avaliadas. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance; R^2)

Nas Figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 e 7.8, são apresentados os mapas de distribuição espacial dos atributos e os mapas de NDVI. Os mapas de Krigagem permitem uma melhor compreensão da distribuição dos atributos, onde os mesmos são apresentados em cinco intervalos regulares de valores, e assim fazer uma correlação com os mapas de NDVI, para analisar possíveis correlações dos atributos com o índice de vegetação de cada ambiente avaliado.

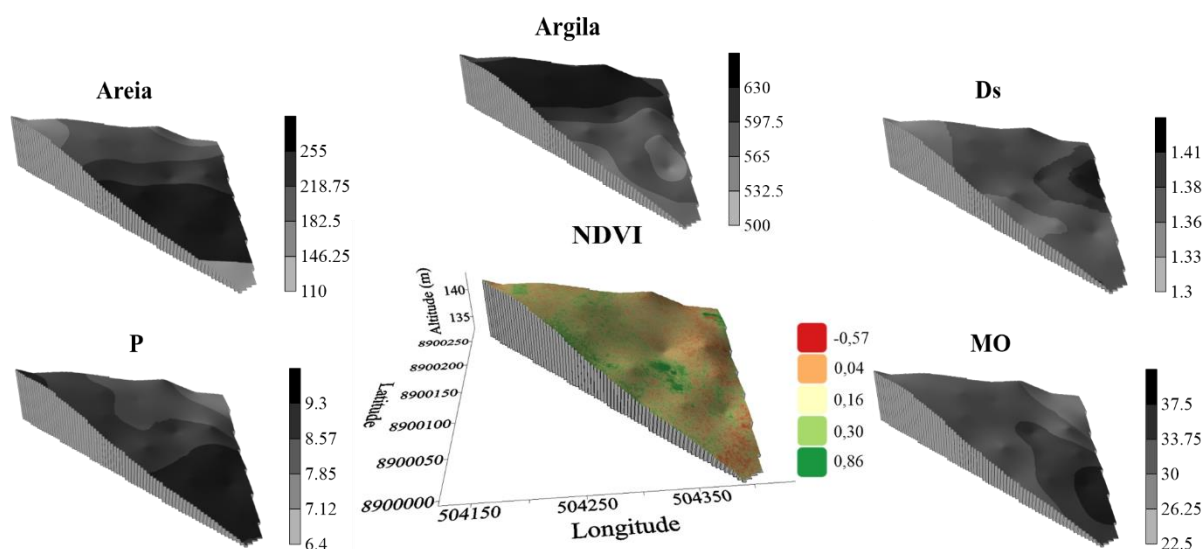


Figura 7.1. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila, Ds, P e MO na profundidade de 0,00 - 0,10 m e NDVI da área de pastagem.

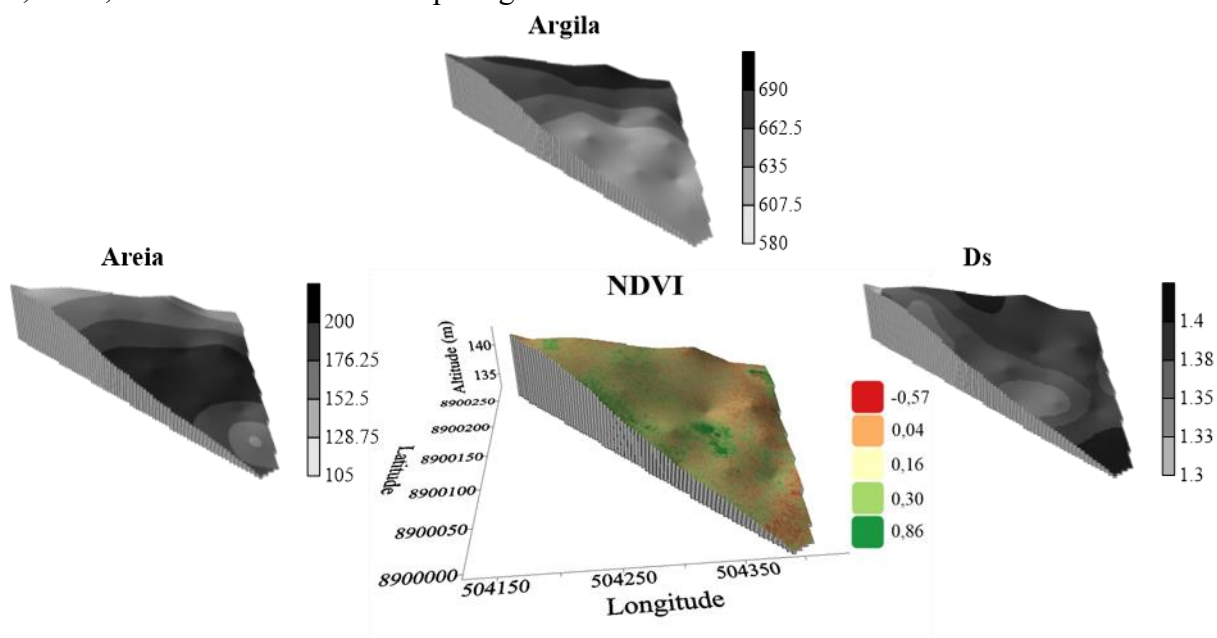


Figura 7.2. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila e Ds na profundidade de 0,10 - 0,20 m e NDVI da área de pastagem.

Nas Figuras 7.1 e 7.2, pode-se observar a relação entre os atributos da área de pastagem e o NDVI. De forma geral, o ambiente de pastagem apresentou predominantemente faixas de

valores que variaram de 0,16 a -0,57, correspondendo à coloração mais avermelhada. Entre os atributos avaliados, a Ds em ambas as profundidades, foi o que apresentou maior associação com a distribuição do índice de vegetação, onde as regiões da área que possuem os maiores valores de Ds correspondem às menores faixas de valores do NDVI, diminuindo uma relação inversa entre esses fatores.

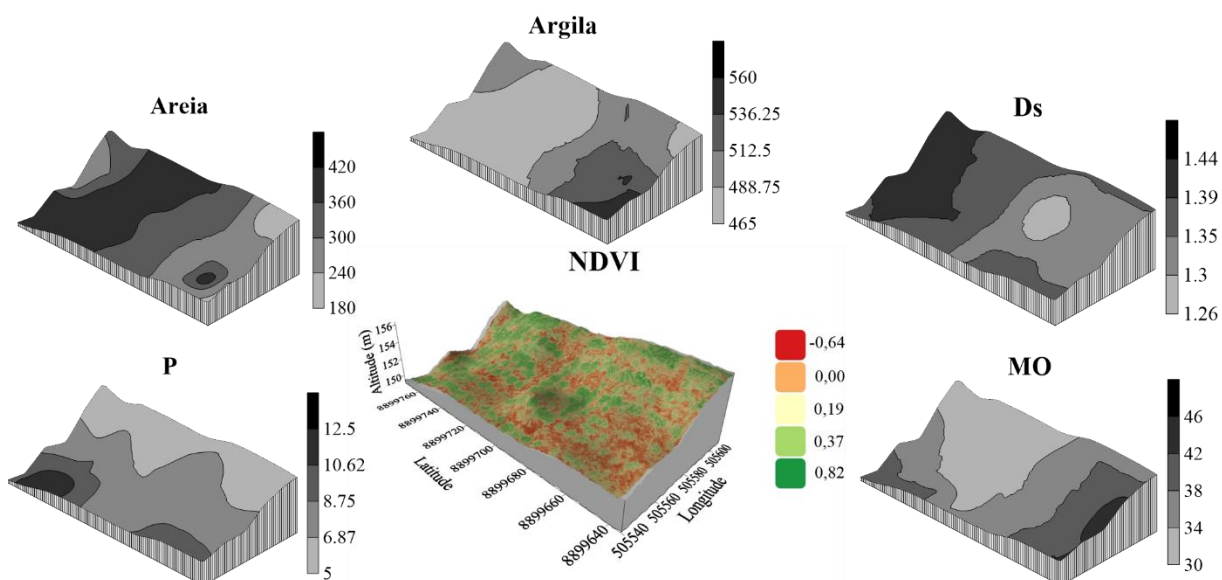


Figura 7.3. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila, Ds, P e MO na profundidade de 0,00 - 0,10 m e NDVI da área de goiaba.

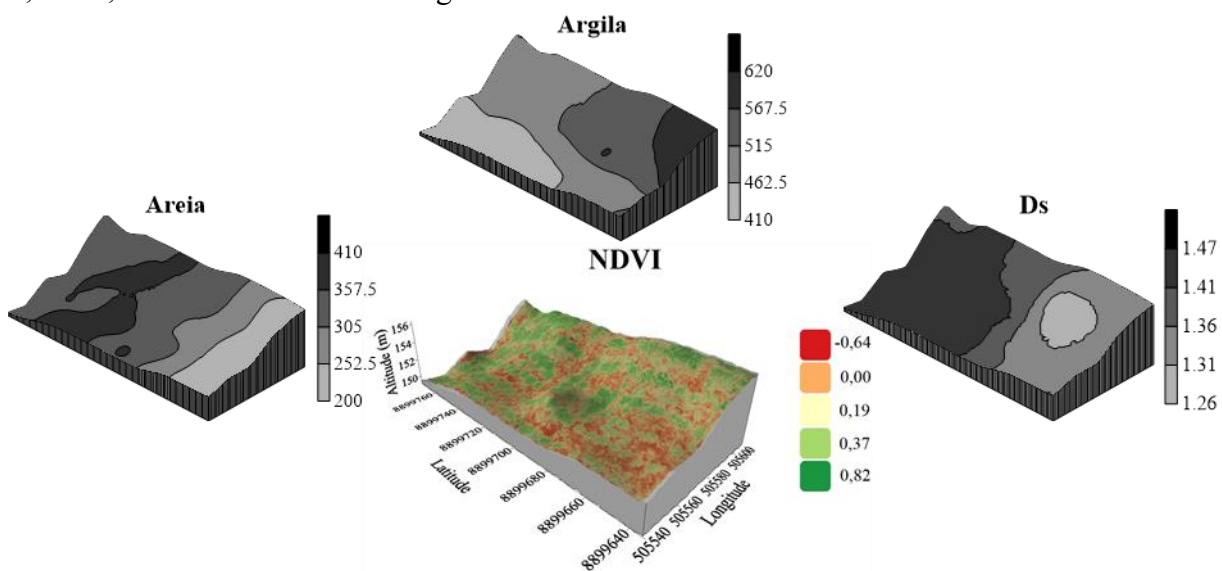


Figura 7.4. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila e Ds na profundidade de 0,10 - 0,20 m e NDVI da área de goiaba.

No ambiente de cultivo da goiaba (Figura 7.3 e 7.4), os valores do NDVI variaram, na maior parte, entre 0,19 e -0,64. Essa variação pode estar relacionada aos altos valores de Ds, que se mantiveram acima de 1,35 g dm⁻³ em praticamente toda a área avaliada, nas duas profundidades. Além disso, os teores de P e MO são apresentados em uma quantidade

considerável, porém assim como os atributos de textura do solo, como areia e argila, não possuíram relação direta com o comportamento do NDVI, não sendo suficientes para explicar as variações identificadas.

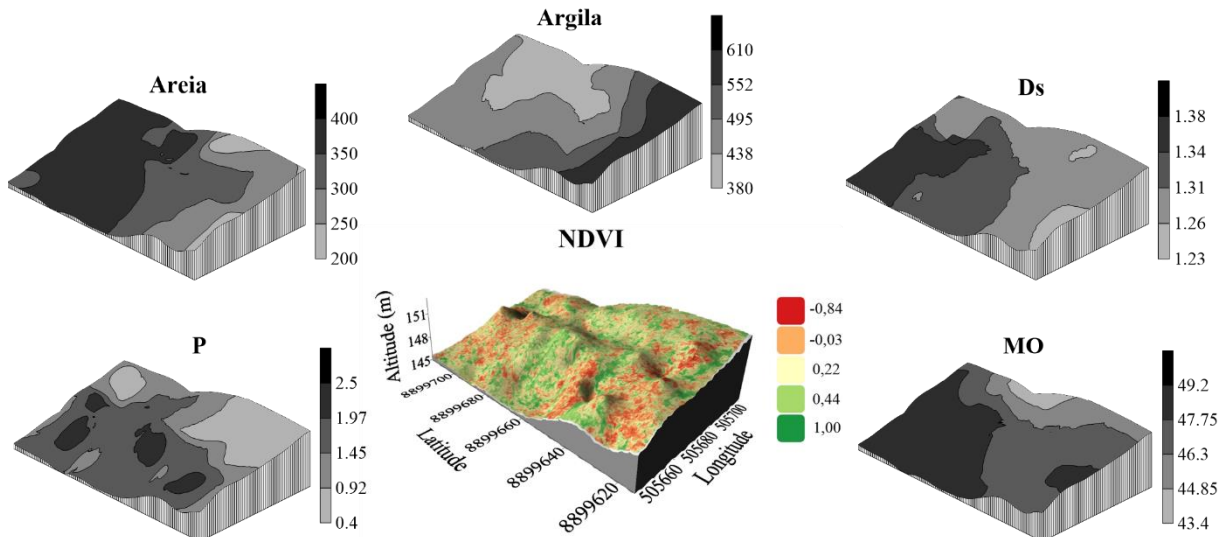


Figura 7.5. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila, Ds, P e MO na profundidade de 0,00 - 0,10 m e NDVI da área de SAFs.

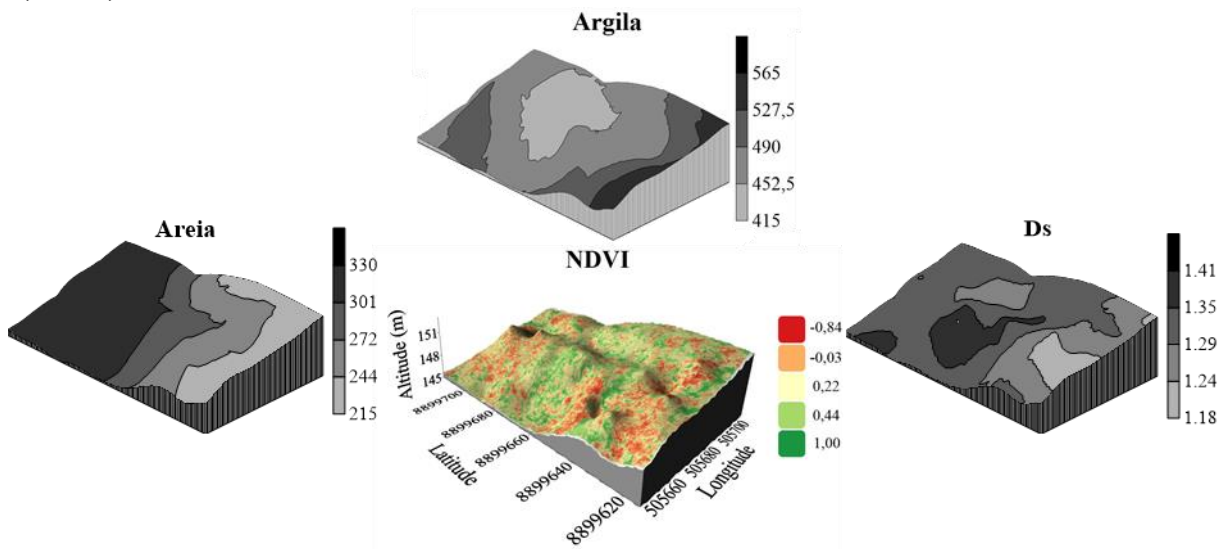


Figura 7.6. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila e Ds na profundidade de 0,10 - 0,20 m e NDVI da área de SAFs.

As Figuras 7.5 e 7.6 são referentes ao ambiente de SAFs, e nelas é possível observar que o NDVI apresentou para quase toda a área faixas de valores de 0,22 a 1,00. Esse comportamento positivo da distribuição, pode estar atrelada aos teores de MO que se destacaram como alto em quase todo ambiente. Em contrapartida o fósforo apresentou teores reduzidos nessa área, assim como os valores da Ds na primeira profundidade.

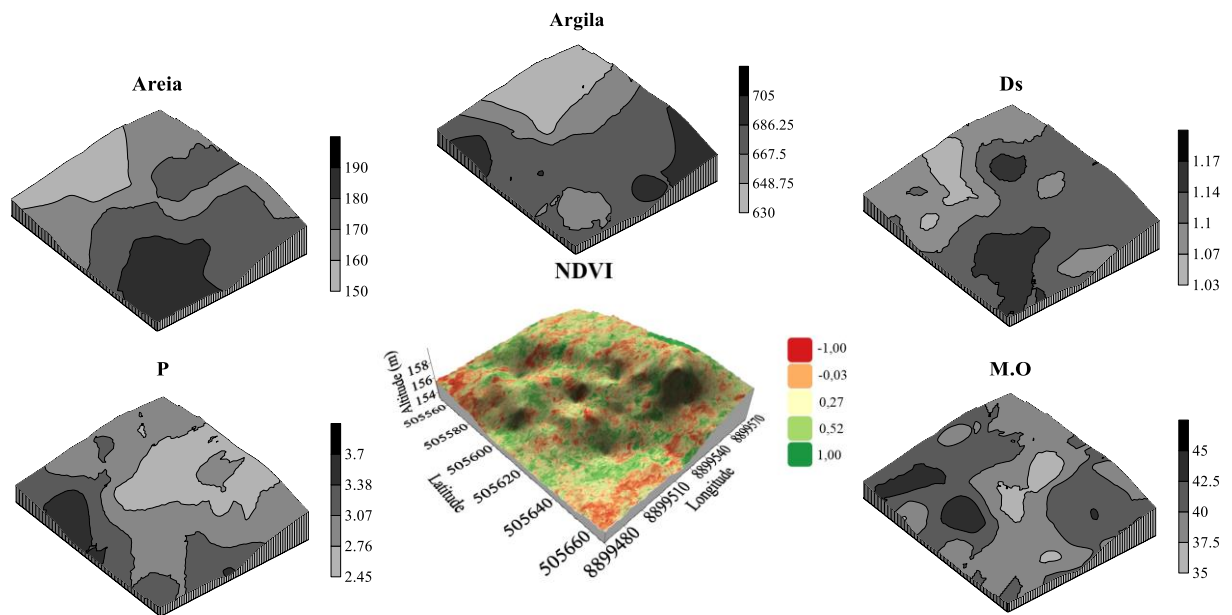


Figura 7.7. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila, Ds, P e MO na profundidade de 0,00 - 0,10 m e NDVI da área de Floresta.

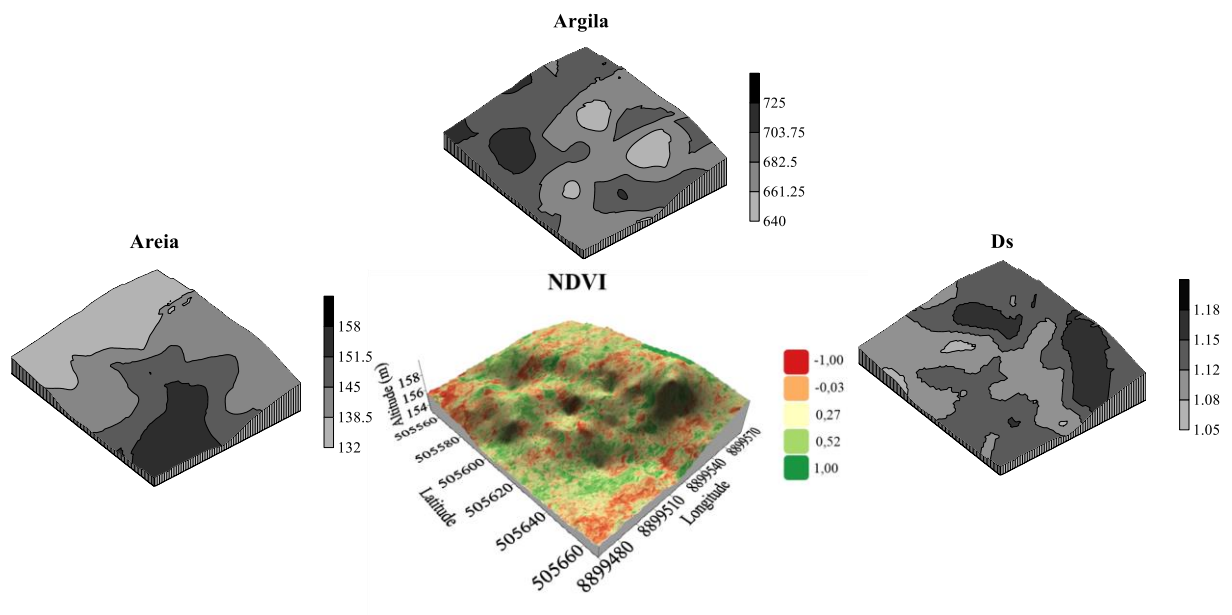


Figura 7.8. Mapas de Krigagem dos atributos de areia, argila e Ds na profundidade de 0,10 - 0,20 m e NDVI da área de Floresta.

O NDVI do ambiente de floresta, apresentou predominantemente valores de faixas entre 0,27 e 1,00, sendo esses valores considerados positivos, e que podem estar relacionados ao alto teor de MO presente nesse ambiente e aos baixos valores de Ds. Os atributos de areia, argila e P, não apresentaram relação com a distribuição do índice de vegetação (Figura 7.7 e 7.8).

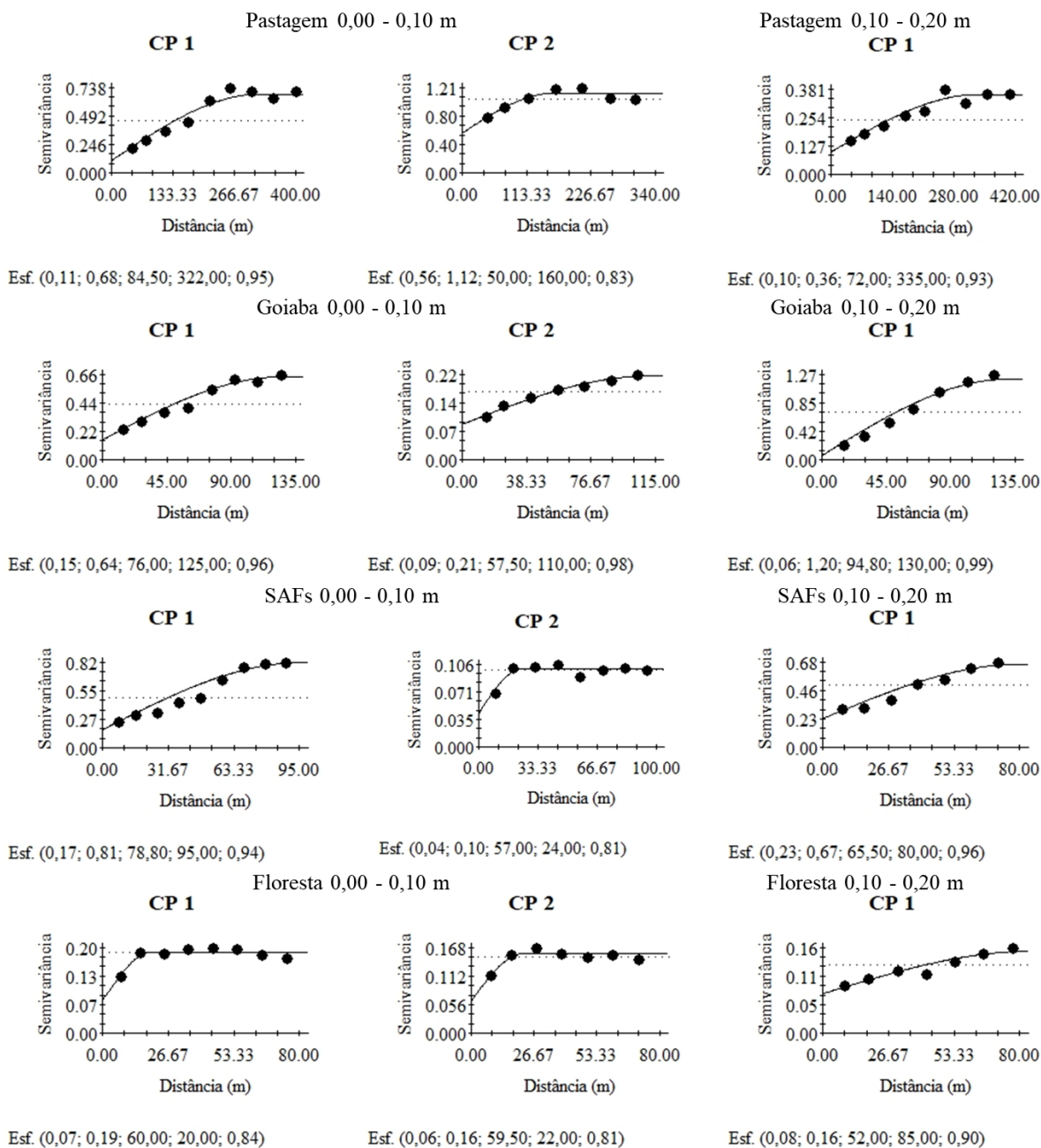


Figura 8. Semivariogramas experimentais ajustados aos valores de escores dos componentes principais para os diferentes ambientes estudados no centro-norte de Rondônia. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; alcance, R2)]

Na Figura 8 são apresentadas os semivariogramas ajustados aos valores dos scores obtidos pela análise de componentes principais. Os semivariogramas dos CP 1 estão relacionados a areia, argila e Ds em todos os ambientes nas duas profundidades avaliadas, já os CP 2 estão relacionados ao P e a MO na profundidade de 0,00 - 0,10 m, na profundidade de 0,10 - 0,20 m não foram modelados semivariogramas pois as variáveis não apresentaram carga fatorial significativa. Os semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico com coeficiente de determinação variando entre 0,81 e 0,99. O GDE dos CP 1 da pastagem, goiaba e SAFs na

profundidade de 0,00 - 0,10 m e o CP 1 da goiaba de 0,10 - 0,20 m apresentaram fraca dependência espacial, todos os demais apresentaram dependência espacial moderada. Avaliando a espacialidade, o CP 1 apresentou alcances variando de 20,00 a 335,00 m nas duas profundidades, sendo observado o maior valor na pastagem de 0,10 - 0,20 m e o menor valor na floresta na profundidade de 0,00 - 0,10 m. No CP 2 o alcance variou de 22,00 a 160,00 m, onde a maior distância foi obtida pela pastagem e a menor pela floresta.

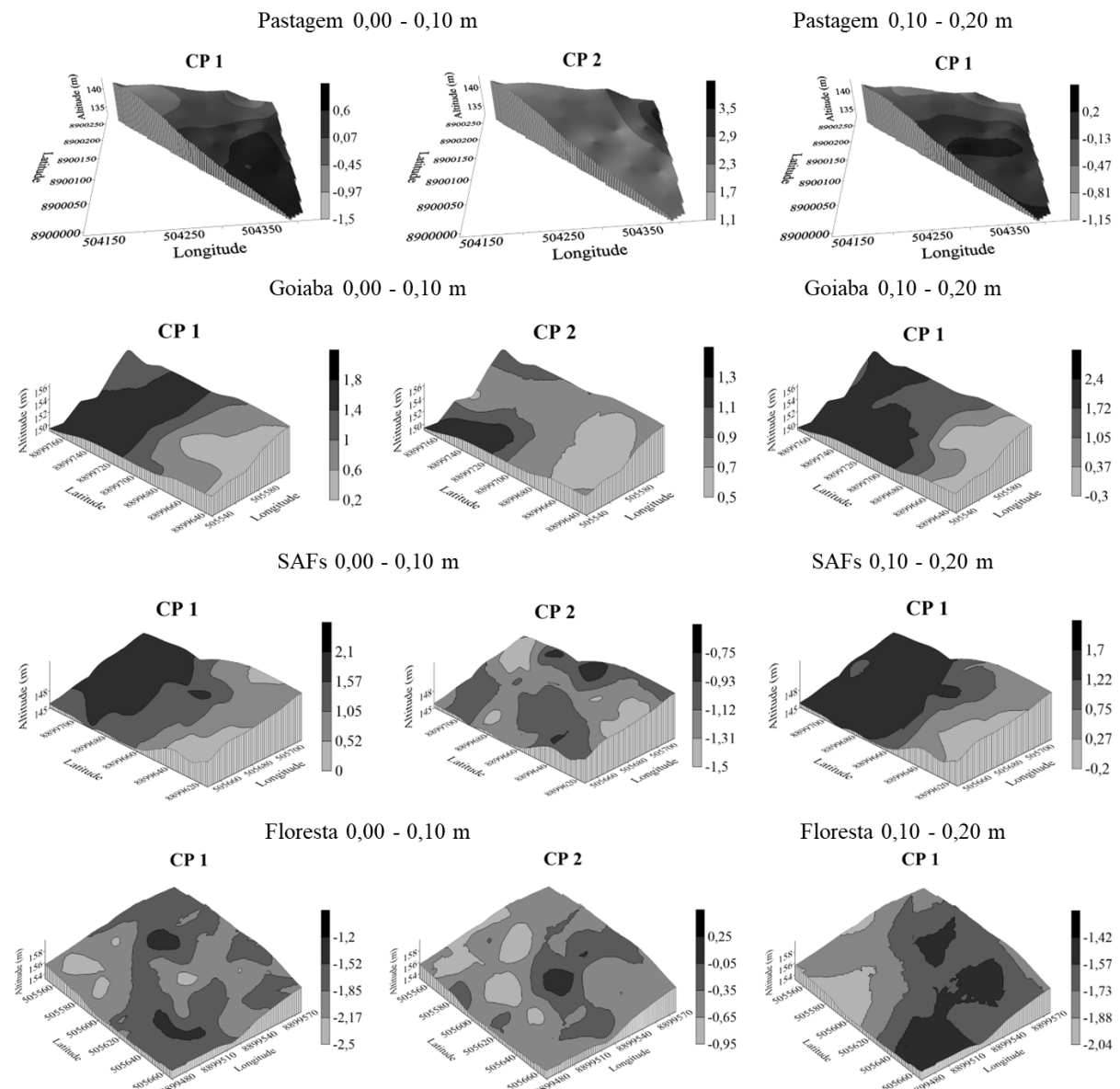


Figura 9. Mapas de krigagem dos valores de escores dos componentes principais para os diferentes ambientes estudados no centro-norte de Rondônia.

Os mapas de Krigagem dos escores (Figura 9), apresentam-se com formação de cinco classes, que melhor definiram as zonas de manejo. O CP 1 da área da floresta na profundidade

de 0,00 - 0,10 m, apresentou complexas zonas de manejo para os atributos texturais e Ds, isso devido a maior variabilidade destes. Já no CP 2, foram observadas complexas zonas de manejo nos ambientes de SAFs e floresta na primeira profundidade, para os atributos de P e MO. Os demais mapas evidenciaram zonas de manejo menos complexas, resultado que pode estar associado à baixa variabilidade dos atributos de referência.

De forma geral, observando todos os mapas de CP 1 e CP 2, é possível visualizar a distribuição dos valores positivos e negativos de escores. Os valores negativos são observados no CP 1 nas áreas de pastagem e floresta nas duas profundidades avaliadas, podendo esses valores estar associados a presença de menores teores de areia nas áreas atribuídas, e pelo CP 2 no SAFs e floresta, esses valores negativos podem estar atribuídos à presença de baixos teores de fósforo. Esses resultados se assemelham aos do teste de média.

3.4 DISCUSSÃO

Ao avaliarmos a análise descritiva e os testes de normalidade, observamos que os atributos avaliados apresentaram diferenças significativas entre as áreas de ambiente agricultáveis e natural. A maioria das variáveis analisadas apresentou um coeficiente de variação (CV) classificado como baixo. Conforme destacado por Santos Junior *et al.*, (2021), quanto menor o coeficiente de variação, mais homogênea será a distribuição dos dados e menor será o grau de dispersão em torno da média. Pelo contrário, um alto coeficiente de variação é um indicador inicial da heterogeneidade dos dados de uma variável, o que pode estar associado a fatores relacionados à formação e ao manejo do solo (Silva *et al.* 2020).

Para os valores de assimetria e curtose, nota-se que os atributos físicos (areia, argila e Ds) avaliados, apresentaram valores próximos a zero, o que reforça a proximidade à simetria na distribuição dos dados, enquanto que os atributos químicos (P e MO) apresentaram valores distantes de zero, indicando uma distribuição anormal dos dados. Os valores distantes de zero indicam que as distribuições das variáveis em estudo não se caracterizam como anormais (Santos Júnior *et al.* 2021). Soares *et al.* (2015), em estudo para as variáveis de física do solo, encontraram indicativo de normalidade, onde os valores do coeficiente de assimetria foram próximos a zero. Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov, indicaram normalidade para quase todas as variáveis. Embora a normalidade dos dados não seja um requisito obrigatório na aplicação da geoestatística, é fundamental que a distribuição não apresente caudas excessivamente alongadas, o que pode comprometer a precisão das

estimativas geradas pela krigagem (Isaaks & Srivastava, 1989), sendo também um indicativo de elevada variabilidade nos dados.

No teste de Tukey (Figura 3 e 4), é possível observar diferença estatística para todas as variáveis avaliadas. Foram observados os maiores valores de argila no ambiente floresta, e os menores no ambiente de goiaba e SAFs, já para areia, foram observados os maiores teores no ambiente de goiaba e os menores na pastagem e floresta. Ao avaliar o Latossolo em ambiente antropizado, Lima *et al.* (2022b) identificaram valores semelhantes aos observados no presente estudo, com os maiores teores de argila e os menores teores de areia encontrados nos ambientes de floresta.

O ambiente de floresta apresentou o menor valor de Ds em comparação com os demais ambientes, ao passo que os ambientes de pastagem e de cultivo de goiabeira registaram os maiores valores. Os altos valores de Ds, podem estar associados ao pastejo e consequentemente pisoteio animal, bem como ao tráfego de máquinas utilizadas nas práticas de manejo nos ambientes de pastagem e goiaba. A lotação de bovinos, com frequente pisoteio nesse ambiente, exerce pressão sobre o solo, podendo ocasionar a compactação de suas camadas (Sattler *et al.* 2018). Em um estudo envolvendo diferentes sistemas de manejo e uso do solo, Freitas *et al.* (2017), verificaram que todos os sistemas analisados promoveram aumento na Ds, porém os valores observados não atingiram níveis considerados limitantes para o crescimento radicular. Em um estudo avaliando Latossolos de textura média, Neves Júnior *et al.* (2013) estabeleceram como limite crítico valores de densidade do solo (Ds) superiores a $1,75 \text{ g cm}^{-3}$. Por sua vez, Silva *et al.* (2020), em seu trabalho, adotaram como índice crítico para Ds em solos arenosos o valor de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$.

Os teores de P disponível foram maiores nas áreas de pastagem e goiaba nas duas profundidades, o sistema agroflorestal e a floresta apresentaram os menores valores. Paulino *et al.* (2021), ao avaliar um Latossolo sob diferentes tipos de cultivo, observaram que todos os ambientes cultivados apresentaram teores de P superiores aos encontrados em solos de floresta nativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Freitas *et al.* (2017), que também identificaram os menores teores de P no ambiente de floresta. Em relação à MO, os maiores teores foram observados no ambiente de SAFs, seguido pelo ambiente de floresta. Esse comportamento pode estar associado à diversificação de culturas e ao aporte contínuo de resíduos orgânicos nesses sistemas, além disso, essas áreas sofrem menores perturbações no solo e possuem um microclima mais favorável à conservação da matéria orgânica. Comparando diferentes agrossistemas com florestas e pastagens, Lima *et al.* (2024) identificaram valores mais elevados de matéria orgânica (MO) nos agrossistemas, devido a maior capacidade de

armazenamento de carbono proporcionada pelas espécies utilizadas, cujas características são similares às das áreas nativas. Freitas *et al.* (2017) relatam em seu estudo que as mudanças nos sistemas influenciaram a concentração de MO, e que encontraram os maiores valores de MO no ambiente de floresta.

Na análise multivariada, por meio da análise de fatores, foi possível identificar os atributos que apresentaram as maiores cargas fatoriais, destacando aqueles com maior capacidade de discriminação entre as áreas estudadas, permitindo assim, compreender quais variáveis contribuíram de forma mais significativa para diferenciar os sistemas analisados. Lima *et al.* (2022a) obtiveram resultados satisfatórios ao aplicar a análise fatorial na avaliação dos atributos do solo, conseguindo identificar os atributos que melhor explicam as características do ambiente estudado. A maioria dos atributos do solo avaliados apresentou cargas fatoriais elevadas, exceto os atributos de P e a MO na profundidade de 0,10 - 0,20 m, que não apresentaram cargas fatoriais significativas nos dois primeiros fatores, sendo, portanto, considerados com baixa potencialidade para explicar os resultados obtidos. Isso pode ser explicado pelo fato desses atributos serem encontrados em quantidades reduzidas, nas camadas subsuperficiais. Santi *et al.* (2024), ao avaliarem os atributos químicos do solo nas camadas de superfície e subsuperfície, observaram que os teores de fósforo (P) e matéria orgânica (MO) foram reduzidos em aproximadamente 50% na camada subsuperficial.

Na análise dos componentes principais (Figura 5), é possível visualizar uma distinção entre o ambiente de floresta e os demais ambientes. Esse comportamento reforça que a conversão do ambiente natural para áreas agricultáveis, associada ao manejo adotado, influenciou significativamente o comportamento dos atributos do solo, principalmente na segunda camada avalia, em que o ambiente de floresta se encontra ainda mais distinto. Esse resultado corrobora com os encontrados por Lima et al (2022a), Lima et al (2022b) e Freitas et al (2015), que, ao avaliarem os atributos químicos e físicos de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo, também constataram que a substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo promove alterações significativas nos atributos do solo.

Foi observado dependência espacial para todos os atributos através dos semivariograma (Figura 6), sendo o modelo esférico o único ajustado em todas as áreas e profundidade, assim como na pesquisa realizada por Lima *et al.* (2022c), além disso os autores ainda afirmam que os modelos esféricos e exponenciais são os que mais se ajustam aos atributos do solo. O modelo esférico ajustado evidenciou que existe uma mudança mais suave e uma transeção entre os valores estimados de variabilidade (Isaaks & Srivastava, 1989). O coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores variando de 0,72 e 0,99. De acordo com Azevedo (2004) quanto mais

próximo de 1,00 o R^2 melhor a estimativa dos valores pelo método de Krigagem comum. O GDE apresentou valores classificados como moderado e fraco. Para Soares *et al.* (2021), a dependência espacial moderada ou fraca pode indicar uma homogeneidade intensa dos solos, resultante de aspectos relacionados aos usos ou aos sistemas de manejo.

Quanto o alcance, esse é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando o limite de distância onde posterior a esta as amostras não são correlacionadas, ou seja, são aleatórias (Aquino *et al.* 2014). Nos ambientes de floresta, foram observadas as menores distâncias de alcance, o que indica uma maior variabilidade espacial dos atributos nesse ambiente. Por outro lado, os maiores alcances foram registrados nos atributos dos ambientes de pastagem e cultivo de goiaba, demonstrando uma maior homogeneidade nessas áreas. Ao avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo Lima et al (2022b), observaram os maiores alcances para os atributos de areia e argila em ambiente de floresta, e para a Ds na área de pastagem. Já Lima et al (2022a) avaliando os atributos químicos, encontraram os maiores alcances nos ambientes de floresta.

Os mapas de distribuição espacial dos atributos do solo foram elaborados com base em cinco intervalos regulares de valores para cada atributo, proporcionando uma melhor visualização e compreensão da sua distribuição ao longo das áreas avaliadas. Os mapas de Krigagem permitem estabelecer critérios específicos de uso e manejo para cada variável analisada, possibilitando uma gestão mais eficiente da área (Alencar *et al.*, 2016). Já os mapas gerados a partir da aplicação do NDVI revelam o percentual de cobertura vegetal e as zonas de solo exposto em cada ambiente avaliado, proporcionando uma análise detalhada das condições de vegetação e uso do solo. O índice de vegetação permite avaliar a cobertura vegetal de forma qualitativa e quantitativa, destacando as características das plantas e a relação existente entre elas e o solo (Formaggio e Sanches, 2017). Cruzando as informações dos mapas de Krigagem e os mapa de NDVI, é possível observar que os ambientes com maior teor de MO e menor valores de Ds (SAFs e floresta), apresentaram maiores percentuais de vegetação. Além disso, ao analisar os mapas de distribuição espacial de todas as áreas, observa-se que, no ambiente de floresta, os mapas evidenciam a presença de zonas de manejo mais complexas, confirmando a elevada variabilidade espacial dos atributos nesse ambiente.

As zonas de manejo têm sido cada vez mais utilizadas com o objetivo de reduzir a variabilidade natural das áreas, garantindo uma produção elevada de forma sustentável, sem comprometer a qualidade do solo (Oliveira *et al.*, 2019). Ao analisar as zonas de manejo por meio dos semivariogramas dos escores em conjunto com os mapas de Krigagem, observa-se que os semivariogramas dos componentes principais (CP) com os menores alcances, também

correspondem aos que apresentaram zonas de manejo mais complexas, destacando os CP da floresta e o CP 2 do SAFs. Cada zona específica de manejo dentro de um ambiente requer práticas de manejo diferenciadas, que podem variar em intensidade, visando aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais do solo, contribuindo para a redução dos impactos ambientais causados pelas práticas de manejo (Santos *et al.*, 2017).

3.5 CONCLUSÃO

Os atributos areia, argila, densidade do solo, fósforo e matéria orgânica apresentaram valores distintos entre ambientes agricultáveis e naturais.

Por meio da análise multivariada, com destaque para os componentes principais e a análise de fatores, foi possível observar a distinção do ambiente de floresta dos demais ambiente.

Através da geoestatística, observou-se que a floresta, apresentou maior variabilidade espacial e zonas de manejo mais complexas, enquanto o ambiente de pastagem e cultivo de goiaba se mostraram mais homogêneos.

A integração dos NDVI com os a Krigagem, mostrou que maiores teores de matéria orgânica e menores de densidade do solo estão relacionados com áreas de maior cobertura vegetal, reforçando a relação entre atributos do solo e condições de vegetação.

REFERÊNCIAS

- Alencar, N. M.; Melo, J. C.; Santos, A. C.; Cunha, O. F. R.; & Paula Neto, J. J. Distribuição espacial das propriedades do solo, produção do capim-marandu com a intensidade de pastejo. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 24, n. 4, p. 338- 349, 2016.
- Almeida, B. G. de; Viana, J. H. M.; Teixeira, W. G.; Donagemma, G. K. Densidade do solo. In: Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, p. 65-75, 2017.
- Brasil. **Ministério das Minas e Energia**. Projeto RADAMBRASIL, folha SC. 20, Porto Velho. Rio de Janeiro, 1978. 668p.
- Costa, J. J. F.; Silva, E. B. D.; Coelho, F. F.; Tiecher, T.; Bissani, C. A.; Filippi, D. Atributos químicos relacionados à acidez e capacidade de troca de cátions de solos do Rio Grande do Sul com diferentes graus de intemperização. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 2, p. 81-100. 2019.
- Couto, W. H. D.; Anjos, L. H. C. D.; Wadt, P. G. S.; Pereira, M. G. Atributos edáficos e resistência a penetração em áreas de sistemas agroflorestais no sudoeste amazônico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 811-823, 2016.
- da Luz, F. B.; da Silva, V. R.; Mallmann, F. J. K.; Pires, C. A. B.; Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Cherubin, M. R. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 281, p. 100-110, 2019.
- EMBRAPA. **Mapa do Município de Ariquemes**. Embrapa Amazônia Oriental, 1998. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144421/1/Mapa-ARIQUEMES.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2024.
- Formaggio, A. R.; Sanches, I. D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- Freitas, L.; de Oliveira, I. A.; Silva, L. S.; Frare, J. C. V.; Filla, V. A.; Gomes, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.
- Gamma Design Software (GS+). **Geostatistics for the environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Design, 2004.
- Golden Software Inc. **SURFER for Windows, Realese 13.0: Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers, user's guide**. New York USA, 1999.
- Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. **An introduction to applied geoestatistics**. New York: Oxford University Press. 1989. 561p.
- Lima, A. F. L. De; Campos, M. C. C.; Enck, B. F.; Da Silva Simões, W.; De Araújo, R. M.; Dos Santos, L. A. C.; Da Cunha, J. M. Physical soil attributes in areas under forest/pasture

conversion in northern Rondônia, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 194, n. 1, p. 34, 2022b.

Lima, A. F. L.; Campos, M. C. C.; Brito Silva, J.; Araújo, W. O.; Mantovanelli, B. C.; Souza, F. G.; Beirigo, R. M.; Silva, D. M. P.; Macedo R. S.; Oliveira, F. P. The Stability of Aggregates in Different Amazonian Agroecosystems Is Influenced by the Texture, Acidity, and Availability of Ca and Mg in the Soil. **Agronomy**, v. 14, n. 4, p. 677, 2024.

Lima, A. F. L.; Campos, M. C. C.; Martins, T. S.; Silva, G. A.; Brito, W. B. M.; Santos, L. A. C.; Oliveira, I. A.; Cunha, J. M. Soil chemical attributes in areas under conversion from forest to pasture in southern Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, v. 12, p. 22555. 2022a.

Lima, A. F. L.; Cunha, J. M.; Campos, M. C. C.; Martins, T. S.; Brito, W. B. M.; Brito Filho, E. G. Influência do relevo na distribuição espacial da textura e fertilidade do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica em Novo Aripuanã, AM. **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 23, p. 1548-1567, 2022c.

Negreiros Neto, J. V.; Santos, A. C.; Guarnieri, A.; Souza, D. J. A. T.; Daronch, D. J.; Dotto, M. A.; Araújo, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014.

Neves Junior, A. F.; Silva, A. P.; Noronha, N. C.; Cerri, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 232-241, 2013.

Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Santos, R. V.; Almeida, R. G.; Martins, T. S.; Silva, D. M. P.; Freitas, L.; Oliveira, F. P.; Mantovanelli, B. C. Geostatistics and Sample Density of Chemical Attributes for Soil under Sugarcane and Agroforestry in Humaitá - AM, Brazil. **Journal of sustainable development**, v. 16, p. 79-91. 2023.

Oliveira, J. F.; Mayi, S.; Marchão, R. L.; Corazza, E. J.; Hurtado, S. C.; Malaquias, J. V.; Tavares Filho, J.; Brossard, M.; Guimarães, M. F. Spatial variability of the physical quality of soil from management zones. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1251-1273, 2019.

Oliveira, V. A. De; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Mendes, A. M.; Anjos, L. H. C. Dos; Cipriani, H. N.; Medeiros, I. M. De; Calderano, S. B.; Ker, J. C. Solos da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. In: Lumbreras, J. F. *et al.* **Guia de Campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos; RCC de Rondônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 94-142.

Paulino, G. D. S.; Oliveira Júnior, R. C. D.; Gaspar, A. B. D. S.; Guerreiro, Q. L. D. M. Atributos químicos do solo em função da mudança no uso da terra sob diferentes usos agrícolas e em uma floresta na Região Oeste do Pará. In: **Silvicultura e Manejo Florestal: técnicas de utilização e conservação da natureza-volume 2**. Editora Científica Digital, p. 13-24, 2021.

Raij, B. V.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade do solo. Campinas: **Instituto Agrônomo**. 2001. 285p.

Regazzi, A. J. **Análise Multivariada, Notas de aula EST 746**. Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v. 2, 2006.

Santana, W. D.; Dos Santos, A. C.; Da Silva Reis, A.; De Castro Tavares, R.; De Freitas, G. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de agropecuária familiar no Tocantins. **Científica**, v. 47, n. 3, p. 344-357, 2019.

Santi, A. L.; Gutheil, A.; de Conti, A. F.; Borges, M. A. F.; Pietroski, J. P. M.; Schardong, V. E.; Rossi, E. Diagnostico da variabilidade espacial e vertical da fertilidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 10, n. 10, p. e73524-e73524, 2024.

Santos Junior, A. B.; Silveira Junior, O.; Lima, I. C. S.; Nunes, M. E.; dos Santos, A. C. Faria, A. F. G. Spatial Variability of Soil Chemical Attributes Submitted to Different Types of Agricultural use in the Cerrado-Amazon Ecotone. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 7, e021004, 2021.

Santos, K. E. L.; Bernardi, A. D. C.; Bettiol, G. M.; Crestana, S. Geoestatística e geoprocessamento na tomada de decisão do uso de insumos em uma pastagem/geostatistics and gis in the decision making of the use of inputs in a pasture. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 3, p. 294-307, 2017.

Sattler, D.; Seliger, R.; Nehren, U.; Torres, F. N.; Silva, A. S.; Raedig, C.; Heinrich, J. Pasture Degradation in South East Brazil: Status, Drivers and Options for Sustainable Land Use Under Climate Change. In: **Climate Change Adaptation in Latin America**. Springer, Cham, p. 3-17, 2018.

Silva, E. R. O., Barros, M. M., Pereira, M. G., Gomes, J. H. G., Soares, S. C. Effects of spatial variability of soil chemical parameters on tifton 85 grass yield. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 236 - 245, 2020.

Silva, G. R. D.; Pauletto, D.; Silva, A. R. **Seasonal dynamics of soil nutrients and physical attributes in agroforestry systems**. 2020.

Silva, J. R.; Farias, C. H. A.; Oliveira, F. P.; Silva, P. L. F.; Campos, M. C. C.; Tavares, D. D. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes tempos de colheita mecanizada com tráfego controlado-de-açúcar sob colheita mecanizada com tráfego controlado. **Revista de agricultura neotropical**, v. 11, p. e7696-e7708. 2024.

Silva, M. A. O.; Veloso, C. L.; Nascimento, D. L.; de Oliveira, J.; Pereira, D. F.; Costa, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

Soares, M. D. R.; Campos, M. C. C.; Souza, Z. M.; Brito, W. B. M.; Francisco, U. F.; Castioni, G. A. F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 4, p. 434-441, 2015.

Soares, M. D. R.; Souza, Z. M.; Campos, M. C. C.; Moraes Tavares, R. L.; Cunha, J. M. Spatial dependency of soil chemical in production systems in the anthropogenic dark earth. **Canadian journal of soil science**, v. 101, p. 532-542, 2021.

Song, W.; Song, W.; Gu, H.; Li, F. Progress in the remote sensing monitoring of the ecological environment in mining areas. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 6, 2020.

Souza, F. G.; Campos, M. C. C.; Mantovanelli, B. C.; Santos, R. V.; Cunha, J. M.; Oliveira, F. P.; Lima, A. F. L.; Brito, W. B. M.; Freitas, L.; Brito Filho, E. G.; Brito Silva, J.; Almeida, R. G. Spatial variability of soil resistance penetration in forest areas converted for agricultural uses in the Amazon, Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, p. 332- 348. 2024.

Statistica. **Statistica 7.0**. EUA Software. Tucks: StatSof. Baltimore, 2005. 250p.

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. **Adv. Agron.**, v. 38, p. 54-94, 1985.

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 Press, cap. 2, p. 319-344, 1980.

Zebalos, C. H. D. S.; Oliveira, R. F. A.; Soares, E. R.; Almeida, U. O. D.; Melillo, R. C. S.; Cavalcante, E. R.; Rezende, J. W. Análise espaço-temporal da cobertura do solo do Município de Theobroma, Estado de Rondônia, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 21, p. 407-418, 2022.