

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE-IEAA  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA-CVRM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS-PPGCA

**Qualidade física, carbono orgânico e estoques de carbono em pastagens no sul do  
Amazonas**

**ROMÁRIA GOMES DE ALMEIDA**

Humaitá – AM  
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE-IEAA  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA-CVRM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS-PPGCA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREAS DE  
PASTAGENS DEGRADADAS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais, da Universidade Federal  
do Amazonas – UFAM para obtenção  
título de Mestre.

Mestranda:

Romária Gomes de Almeida

Orientador:

Prof. Dr. Milton César Costa Campos

Coorientador:

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

Humaitá – AM  
2022

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

A447q Almeida, Romária Gomes de  
Qualidade física, carbono orgânico e estoques de carbono em pastagens no sul do Amazonas / Romária Gomes de Almeida .  
2022  
60 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Milton Cesar Costa Campos  
Coorientador: Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Solos amazônicos. 2. Manejo do solo. 3. Produção de pastagens. 4. Impactos ambientais. 5. Qualidade do solo. I. Campos, Milton Cesar Costa. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**ROMÁRIA GOMES DE ALMEIDA**

**Qualidade física, carbono orgânico e estoques de carbono em pastagens no sul do Amazonas**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

**COMISSÃO JULGADORA**

*M Campos*

---

**Orientador**

**Prof. Dr. Milton Cesar Costa Campos**

*Bruno Campos Mantovanelli*

---

**Examinador(a) interno:**

**Dr. Bruno Campos Mantovanelli**

*Renato Francisco da Silva Souza*

---

**Examinador externo:**

**Dr. Renato Francisco da Silva Souza**

**Humaitá, 20/12/2022**

*Dedicatória*

*A minha mãe Rozenita Gomes de Oliveira Almeida.*

*Meu pai Eltro Lucidio de Almeida.*

*Ao meu sobrinho Wenso Gabriel dos santos Almeida.*

*Ao meu amigo Gilmar Paloschi Piva (in memoriam).*

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a Deus pela graça da vida e pelas oportunidades que tem me proporcionado.

À Universidade Federal do Amazonas, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, por possibilitar a realização desse trabalho e a Fapeam, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Milton César Costa Campos, pela confiança, orientação e conselhos passados durante toda graduação e período do curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Ao Prof. Dr. Douglas Marcelo Pinheiro da Silva, pela coorientação, apoio e conselhos durante a realização do projeto.

Aos membros da banca pela disponibilidade de tempo e contribuição os Professores Renato Francisco Souza e Bruno Campos Mantovanelli.

Aos produtores por ter cedido as áreas de estudo e ter acolhido todo a equipe de coleta de solos.

Aos meus amigos/Colegas Alan Ferreira Leite, Wildson Benedito, Aline Rossi, Chayanny Lemos, Bruna Montter, Simone Menezes, Igor, Fernando Correia, Raquel Araujo, Thalita Silva Martins, Isomar, Tayla Miranda, Francileo e Elilson Gomes de Brito pelo incentivo e apoio durante a coleta e análises de laboratório.

A toda a equipe que integra ou fizeram parte do Grupo de Pesquisa Solos e Ambientes Amazônicos do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) da UFAM, em especial Prof. Douglas Marcelo, José Frozzi, Renato Francisco e Robson Santos.

Aos demais professores, pesquisadores da Universidade Federal do Amazonas e amigos do mestrado, que sempre estiveram direta ou indiretamente acreditando ou contribuindo para que o objetivo final deste trabalho fosse alcançado.

## **RESUMO**

O bioma amazônico apresenta uma enorme biodiversidade, porém nos últimos anos vem sofrendo com o avanço das atividades antrópicas em suas maiorias de forma errônea e sem os devidos cuidados, sendo uma delas a agropecuária, com a substituição das florestas nativas por áreas de pastagem para fins de produção pecuária, logo, estudar a relação solo-planta é fundamental para entendimentos dos impactos ocasionados por esses manejos. Diante disso, há a necessidade de trabalhos que avaliem áreas com pastagem identificando o efeito do cultivo nos atributos físicos e carbono orgânico do solo em áreas sob manejo recorrentes de atividades pecuárias. As áreas de estudo estão localizadas no município de Humaitá, sul do estado do Amazonas. Em campo foram selecionados cinco (05) áreas de pastagens, uma (01) área de campo natural e uma (01) área de floresta, em cada área foi feito um transecto com quinze (15) pontos amostrais, em cada um desses locais foram abertos minitrincheira para coleta de solo (amostra deformada e indeformada) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. O solo coletado em torrão foi seco a sombra e posteriormente destorroado para obtenção dos agregados e terra fina seca ao ar, os anéis volumétricos (amostra indeformados) foram saturados na mesa de tensão e por últimos levado ao penetrógrafo, sendo assim determinados em laboratório os atributos: areia, silte, argila, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, DMG, DMP, índice de estabilidade dos agregados, umidade gravimétrica, densidade do solo, resistência do solo a penetração, carbono orgânico e estoque de carbono do solo. Com obtenção dos dados, esses foram tabulados e analisados por meio de estatística descritiva, teste de médias para comparar os ambientes, análise de correlação e por fim a análise de componentes principais pela multivariada. A conversão de floresta em pastagem impactou negativamente os agregados >2 mm, a densidade do solo, concentração e estoque de carbono orgânico do solo, bem como na resistência do solo a penetração, umidade gravimétrica, porosidade total e macroporosidade do solo. O carbono orgânico tem correlação positiva com agregados >2 mm, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, e negativa com a densidade do solo. A estabilidade de agregados influencia no sequestro de carbono nas áreas de pastagem e floresta estudadas, mas não tem influência no ambiente de campo natural.

**Palavras Chave:** solos amazônicos, uso e manejo do solo, produção de pastagens, impactos ambientais, qualidade do solo.

## **ABSTRACT**

The Amazon biome has an enormous biodiversity, but in recent years it has been suffering from the advance of anthropic activities, mostly in an erroneous way and without proper care, one of which is agriculture, with the replacement of native forests by pasture areas for of livestock production, therefore, studying the soil-plant relationship is fundamental for understanding the impacts caused by these managements. In view of this, there is a need for studies that evaluate areas with pasture, identifying the effect of cultivation on the physical attributes and organic carbon of the soil in areas under recurrent management of livestock activities. The study areas are located in the municipality of Humaitá, in the south of the state of Amazonas. In the field, five (05) pasture areas, one (01) natural field area and one (01) forest area were selected, in each area a transect was made with fifteen (15) sample points, in each of these places were open mini-trenches for soil collection (deformed and undeformed sample) in layers of 0-10 and 10-20 cm. The soil collected in clods was dried in the shade and subsequently crushed to obtain aggregates and air-dried fine earth, the volumetric rings (undeformed sample) were saturated on the tension table and finally taken to the penetrometer, thus determining the attributes in the laboratory. : sand, silt, clay, macroporosity, microporosity, total porosity, DMG, DMP, aggregate stability index, gravimetric moisture, soil density, soil resistance to penetration, organic carbon and soil carbon stock. After obtaining the data, these were tabulated and analyzed using descriptive statistics, test of means to compare the environments, correlation analysis and finally the analysis of principal components by multivariate. Conversion of forest to pasture negatively impacted aggregates >2 mm, soil density, concentration and soil organic carbon stock, as well as soil resistance to penetration, gravimetric moisture, total porosity and soil macroporosity. Organic carbon is positively correlated with aggregates >2 mm, geometric mean diameter, weighted mean diameter, and negatively correlated with soil density. Aggregate stability influences carbon sequestration in the studied pasture and forest areas, but does not influence the natural grassland environment.

**Keywords:** Amazonian soils, soil use and management, pasture production, environmental impacts, soil quality.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	12
<b>CAPÍTULO I: ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ESTOQUE DE CARBONO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA PARA PASTAGEM NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL</b> .....	14
RESUMO.....	14
ABSTRACT .....	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
2.1. Caracterização do ambiente de estudo.....	16
2.2. Metodologia de campo .....	18
2.3. Análises laboratoriais .....	19
2.4. Análise estatística .....	20
3. RESULTADOS .....	22
4. DISCUSSÃO .....	32
4.1. Estabilidade de agregados .....	32
4.2. Densidade do solo, carbono orgânico e estoque de carbono orgânico .....	33
4.3. Análise de correlação e de componentes principais .....	34
5. CONCLUSÃO.....	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
<b>CAPÍTULO II: ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO EM ÁREAS SOB A CONVERSÃO FLORESTA EM PASTAGEM NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL</b> .....	40
RESUMO.....	40
ABSTRACT .....	40
1. INTRODUÇÃO.....	42
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.1. Caracterização do ambiente de estudo.....	43
2.2. Metodologia de campo .....	45
2.3. Análises laboratoriais .....	45
2.4. Análise estatística .....	46
3. RESULTADOS .....	46
4. DISCUSSÃO.....	54

4.1.	Resistência do solo à penetração (RSP) .....	54
4.2.	Umidade gravimétrica (Ug).....	55
4.3.	Porosidade total (Pt) .....	55
4.4.	Macroporosidade (MaP).....	56
4.5.	Microporosidade (MiP) .....	56
5.	CONCLUSÃO.....	57
6.	REFERÊNCIAS .....	57

## INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, atualmente, se há uma grande demanda por espaços, espaços esses que estão sendo preenchidos por atividade antrópicas para as mais diversas atividades, incluindo produção de alimentos, que se destacam atividades envolvendo agropecuária, possuindo cerca de 162,19 milhões de hectares recobertos por pastagens (Carvalho et al., 2017). Dentre as culturas comerciais as espécies forrageiras representam as plantas de interesse econômico mais cultivadas no Brasil e no mundo (Vitória et al., 2012). Sendo em sua maior proporção cultivadas espécies de gramíneas do gênero *Brachiaria* e *Panicum* de maior aceitabilidade e fácil implantação no rebanho brasileiro (Sbrissia et al., 2017; Santos et al., 2015).

É importante ressaltar que nem todos os manejos destas pastagens utilizadas no Brasil é feita de forma correta, manejada com coerência (Freitas et al., 2016). Os dados de degradação de pastagens no Brasil ainda são pouco precisos, mas já mostram que 63,74 milhões de hectares a 13,9 milhões de hectares (Terra et al., 2019). Em análises baseadas em séries temporais de NDVI, Andrade et al. (2016), indicaram que 173 municípios do cerrado brasileiro estão com mais de 50% de suas pastagens cultivadas sob algum processo de degradação, afetando diretamente o equilíbrio na sustentabilidade pecuária-meio ambiente (Barreta et al., 2020).

Na Amazônia apesar de não haver um número consolidado para toda a região, sabe-se que em muitos estados, tais como Rondônia, Pará, Tocantins e sul-sudeste do Amazonas as áreas de pastagens são vastas e muitas destas áreas ou estão degradadas ou em processo de degradação, e que, atualmente vem crescendo à medida que se há o avanço dos produtores sobre as florestas, bem como, flexibilização das políticas públicas (Lima et al. 2022).

Como consequências das atividades incorretas no processo de instalação das pastagens essas vêm causando extinção da biota, redução da quantidade e qualidade de água, aumento de temperatura, mudanças no regime de chuvas, diminuição da produtividade agrícola, e além disso um outro problema maior que é a perda de solo por erosão (Miccolis et al., 2016).

Dentre as atividades utilizadas, a queima apresenta-se como uma alternativa barata para limpar as áreas de floresta e introduzir a pastagem na Amazônia (Navarrete et al., 2016). Algo preocupante, uma vez que, logo após seu processo se não houver os devidos

manejos, pode causar mudanças negativas nos atributos do solo, e a longo prazo pode ocasionar desertificação da área (Rezende et al., 2017). Assim, esse modelo de desenvolvimento agropecuário necessita ser repensando de forma mais ampla, com uma visão a médio e longo prazo no desenvolvimento realmente sustentável na ótica de produção e conservação dos recursos naturais (Mendes et al., 2010).

É importante, ainda, ressaltar a relação simbiótica que existe entre o solo e a biomassa epígea de pastagem, Ferreira et al. (2010) observou que a produção de biomassa é mais influenciada pelos atributos físicos do solo do que pelos químicos, logo se há uma atenção maior a eles. A qualidade física do solo está associada à infiltração, retenção e disponibilização de água e nutrientes às plantas e o crescimento das raízes, porém quando a pastagem começa a degradar ela irá prejudicar ambos os atributos e logo afetando a sua própria produção (Nascimento et al., 2017).

No estudo de Furquim et al (2020) os mesmos evidenciaram que quanto maior a RSP menor é a produção de raízes de *Panicum maximum* e que a classe de maior produção de raízes foi definida quando os valores de resistência à penetração foram inferiores a 1 MPa. Já no estudo de Silva et al. (2010), avaliando a compactação dos solos em áreas de pastagens e florestas em Porto Velho, Rondônia, evidenciaram os maiores índices de RSP para áreas de pastagens em relação a floresta, que apresentaram valores de RSP superiores a 2,5 MPa considerado restritivo ao desenvolvimento radicular. Vitória et al. (2012), encontraram correlação linear negativa entre a produtividade de matéria seca e a densidade do solo na camada superficial.

Por outro lado, podem haver efeitos benéficos ao solo quando a pastagem é manejada de forma correta, atingindo adversas propriedades do solo, dentre elas a retenção de água, estabilidade de agregados, matéria orgânica do solo e ciclagem de nutrientes (Neves Neto et al., 2013). Já Soares et al. (2016) observaram aumento dos estoques de carbono em pastagens após 8 anos de uso em relação à floresta. Além disso, constataram, que a conversão de floresta para em pastagem com a utilização do fogo aumenta os valores de pH e disponibilidade de P, Ca e K no solo, e diminui o Al trocável.

Logo, Apesar de grande parte dos trabalhos mostrarem que áreas com pastagens estão degradadas, há trabalhos que mostram resultados divergentes, não havendo consenso generalizado entre as pesquisas que relatam sobre o tema. Diante disso, há a necessidade de trabalhos que avaliem áreas com pastagem identificando o efeito do cultivo nos atributos

físicos e carbono orgânico do solo em áreas de manejo recorrentes em atividades pecuárias, e assim possibilitar a o diagnóstico das práticas ao ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M.P.; RIBEIRO, C.B.M.; LIMA, R.N.S. Modelagem dinâmica da mudança do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul a partir de imagens *modis* e um modelo de sub-regiões. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.l, v.68, n.5, 965-978, 2016.

BARRETA, D. A.; NOTTAR, L. A.; SEGAT, J. C.; BARETTA, D. Produção, valor nutritivo e produtividade estimada de leite de pastagens consorciadas de estação fria. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, p. 599-606, 2020.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, p. 0947-1073, 2017.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-27, 2010.

FREITAS, G. A.; BENDITO, B. P. C.; DOS SANTOS, A. C. M.; DE SOUSA, P. A. Diagnóstico ambiental de áreas de pastagens degradadas no município de Gurupi-TO. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 1, p. 10-15, 2016.

FURQUIM, L. C.; DE SOUZA, E. J.; SILVA, N. F.; NUÑEZ, D. N. C.; CABRAL, J. S. R.; SANTINI, J. M. K.; STONE, L. F. Resistência do solo à penetração e velocidade de infiltração de água em sistemas de cultivo integrados sobre área de pastagem degradada. **Colloquium Agrariae**, v.16, n.5, p. 82-95, 2020.

LIMA, A. F. L.; CAMPOS, M. C. C.; ENCK, B. F.; SIMÕES, W. S.; ARAÚJO, R. M.; SANTOS, L. A. C.; & CUNHA, J. M. Atributos físicos do solo em áreas sob conversão floresta / pastagem no norte de Rondônia, Brasil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 1, p. 1-27, 2022. Doi: 10.1007/s10661-021-09682-y

MENDES, C. R.; DE SOUZA LIMA, M. D. G.; DE QUADROS, F. L. F.; ABREU, C. M.; GARAGORRY, F. C. Influência da queima no teor de pigmentos, proteína solúvel e carboidratos em gramíneas de pastagens naturais. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 3, p. 239-245, 2010.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, p.266, 2016.

NASCIMENTO, V. N.; ALMEIDA, G. L. P.; BATISTA, P. H. D.; COUTINHO, A. S. Atributos físicos do neossolo regolítico distrófico sob pastagem submetido à colheita

mecanizada da forragem e pastejo animal. **Boletim de Indústria Animal**, v.74, n.3, p. 169-175, 2017.

NAVARRETE, D.; SITCH, S.; ARAGAO, L. E. O. C.; PEDRONI, L. Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to contrasting soil carbon dynamics depending on land management practices. **Global Change Biology**. v. 22, p.3503–3517, 2016.

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.17, n.9, p.995–1004, 2013.

REZENDE, L. P.; DE FRANÇA PORTELA, G.; MACEDO, N. C.; DINIZ, K. D. Identificação da macrofauna do solo em pastagem de *Panicum maximum* Jacq. e área submetida à queimada no município de Sambaíba-MA. **Biodiversidade**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2017.

SANTOS, M. V.; FERREIRA, E. A.; FONSECA, D. M. D.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; SILVA, D. V. Levantamento fitossociológico e produção de forragem em pasto de capim-gordural. **Revista Ceres**, v. 62, p. 561-567, 2015.

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ECHEVERRIA, J. R.; MIQUELOTO, T.; BERNARDON, A.; AMÉRICO, L. F. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, n. 1-2, p. 47-60, 2017.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a humic rhodic hapludox under coffee cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 467-474, 2010.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M.; Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agrária**, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016.

TERRA, A. B. C.; FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V. D.; SILVA, N. C. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.2, p. 11-20, 2019.

VITÓRIA, E. L.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; LACERDA, E. G. Correlação linear e espacial entre produtividade de *brachiaria brizantha*, densidade do solo e porosidade total em função do sistema de manejo do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 909-919, 2012.

## **CAPÍTULO I: ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ESTOQUE DE CARBONO EM PASTAGENS NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL**

### **RESUMO**

A conversão de floresta em pastagem provoca alterações na estrutura do solo que podem culminar no declínio estrutural e na perda de matéria orgânica solo. Assim, objetivou-se avaliar o impacto da conversão de floresta para pastagem na estabilidade de agregados e no estoque de carbono orgânico do solo, no sul do Amazonas. A pesquisa foi realizada em sete áreas no município de Humaitá, Amazonas, sendo cinco áreas de pastagem, uma de floresta nativa e uma de campo natural. Amostras de solos indeformadas foram coletadas nas camadas de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m, nas sete áreas de estudo, e analisadas quanto a estabilidade de agregados, densidade do solo, carbono orgânico do solo, e o estoque de carbono orgânico do solo calculado. Em seguida, foram realizadas análises univariadas, bivariadas e multivariadas. A conversão de floresta em pastagem impactou negativamente os agregados >2 mm, a densidade do solo, a concentração e o estoque de carbono orgânico do solo. O carbono orgânico tem correlação positiva com agregados >2 mm, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, e negativa com a densidade do solo. A estabilidade de agregados influencia no sequestro de carbono nas áreas de pastagem e floresta estudadas, mas não tem influência no ambiente de campo natural.

Palavras-chave: Pastagem degradada, campo natural, qualidade estrutural do solo

### **ABSTRACT**

The conversion of forest to pasture causes changes in soil structure that can culminate in structural decline and loss of soil organic matter. Thus, the objective was to evaluate the impact of the conversion of forest to pasture on the stability of aggregates and on the stock of organic carbon in the soil, in southern Amazonas. The study was carried out in seven areas in the municipality of Humaitá, Amazonas, five areas of pasture, one of native forest and one of natural grassland. Undisturbed soil samples were collected in the 0.00–0.10 and 0.10–0.20 m layers, in the seven study areas, and analyzed for aggregate stability, soil density, soil organic carbon, and the calculated soil organic carbon stock. Then, univariate, bivariate and multivariate analyzes were performed. Conversion of forest to pasture negatively impacted aggregates >2 mm, soil density, soil organic carbon concentration and stock. Organic carbon is positively correlated with aggregates >2 mm, geometric mean

diameter, weighted mean diameter, and negatively correlated with soil density. Aggregate stability influences carbon sequestration in the studied pasture and forest areas, but does not influence the natural grassland environment.

Keywords: Degraded pasture, natural grassland, soil structural quality

## 1. INTRODUÇÃO

As pastagens são uso mais extensivo do solo no planeta, ocupando uma área de aproximadamente 3,2 bilhões de hectares (FAO, 2021). Desempenham um importante papel na segurança alimentar mundial por fornecer 48% da biomassa utilizada por ruminantes (Stanimirova et al., 2019). No Brasil, as pastagens correspondem  $\approx 162,19$  milhões de hectares (Carvalho et al., 2017), equivalente a 19% do território nacional ou todo estado do Amazonas (Damian et al., 2020; Projeto MapBiomias, 2021). No entanto, 53% das pastagens brasileiras apresentam algum grau de degradação (Projeto MapBiomias, 2021).

A conversão de floresta em pastagem é a principal mudança do uso do solo na Amazônia brasileira (Araújo et al., 2011; Silva Junior et al., 2009). Nesta região, os solos apresentam baixa fertilidade, elevados índices de acidez e alta toxidez por  $Al^{3+}$ , na maioria das áreas (Artur et al., 2014). Após a conversão, o manejo inadequado das áreas causa a degradação do solo (Fragoso et al., 2016; Fonte et al., 2014), devido ao declínio estrutural do solo e às perdas de matéria orgânica (Fonte et al., 2014; Nesper et al., 2015; Lima et al., 2022).

A estabilidade dos agregados do solo é frequentemente usada como um indicador da estrutura do solo, e está relacionada com a dinâmica do carbono (Campos et al., 2016). Nesse sentido, na Amazônia colombiana a proporção de macroagregados ( $> 2$  mm) foi significativamente maior em solos sob pastagem manejada do que naqueles sob pastagem degradada. Um estudo recente revelou que a conversão de floresta em pastagens na Amazônia brasileira diminuiu os macroagregados, os diâmetros dos agregados (DMP e DMG) e a concentração de carbono orgânico do solo, indicando que as pastagens se encontram degradadas (Lima et al., 2022).

Na região sul-sudeste do Amazonas, das vastas áreas de pastagens que estão implantadas, muitas já estão degradadas ou em processo de degradação. Esta região é

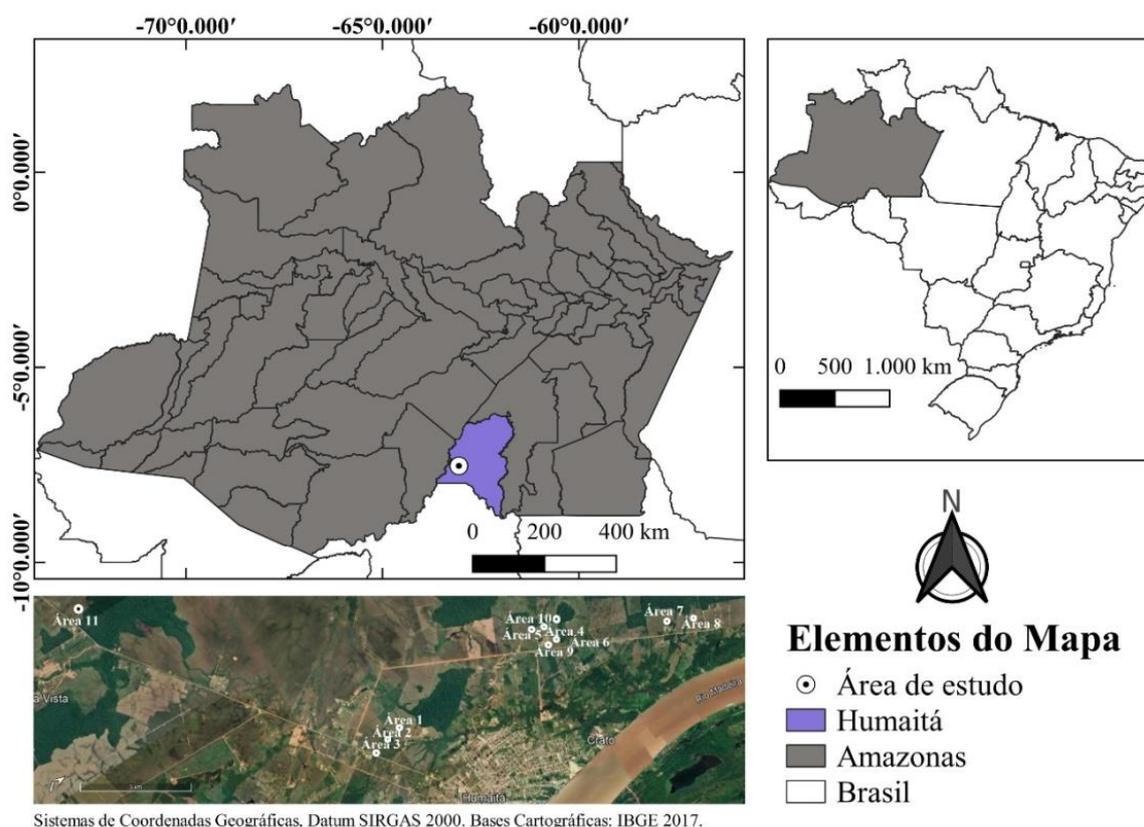
conhecida como arco do desmatamento (Campos et al., 2015), pois à medida que as pastagens já implantadas se tornam improdutivas, novas áreas de floresta são mapeadas para substituição. Neste contexto, a avaliação da estabilidade de agregados e do carbono orgânico do solo torna-se fundamental na avaliação da qualidade estrutural do solo, uma vez que é sensível a variações no uso do mesmo, podendo identificar possíveis alterações promovidas tanto pela conversão da floresta em áreas agrícolas como pelo manejo adotado nas áreas de pastagens.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o impacto da conversão de floresta para pastagem na estabilidade de agregados e estoque de carbono orgânico do solo, no sul do Amazonas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização do ambiente de estudo**

As áreas de estudo localizam-se na Amazônia ocidental, mais precisamente na região Sul do estado do Amazonas, na zona de ocorrência conhecida como “arco do desmatamento” (Figura 1). O critério de escolha se baseou em áreas com histórico de pastagens degradadas, bem como áreas com presença de pastagem natural (campos naturais) e área de floresta. Foram selecionadas sete áreas, sendo quatro áreas de pastagem utilizada de forma rotacionada, uma área pastagem utilizada de forma extensiva, uma área de pastagem natural (campos naturais) e uma área de floresta (testemunha) (Tabela 1).



**Figura 1.** Mapa de localização aproximado da área de estudo com as áreas de pastagens e floresta.

**Tabela 1.** Descrição de uso e histórico das áreas sob pastagem e floresta na região sul-sudeste do Amazonas

Área de estudo	Descrição da área
<i>Panicum maximum</i> (Área 1)	Área de pasto com mais de 35 anos, cultivado com mombaça ( <i>Panicum maximum</i> cv. mombaça), com pasto reformado, feita calagem, sem adubação. Manejada com gado de leite, utilizando piquete rotacionado, permanecendo os animais três dias em cada piquete.
<i>Brachiaria brizantha</i> (Área 2)	Área de pasto com mais de 35 anos, cultivado com braquiária ( <i>Brachiaria brizantha</i> cv. marandu), com pasto reformado, feita calagem, sem adubação e com plantas daninhas. Área manejada extensivamente com gado de leite.
<i>Brachiaria humidicola</i> (Área 3)	Área com mais de 20 anos de pasto, cultivada com braquiária ( <i>Brachiaria humidicola</i> ), com pasto reformado, feita calagem, sem adubação e com plantas daninhas. Área manejada com gado de corte, utilizando piquete rotacionado, permanecendo os animais trinta dias em cada piquete.
Consórcio ( <i>Brachiaria brizantha</i> ; <i>Brachiaria humidicola</i> )	Área de pasto misto ( <i>Brachiaria brizantha</i> e <i>Brachiaria humidicola</i> ) com mais de 30 anos, pasto reformado, feita calagem e adubação mineral e aplicação de esterco bovino e com plantas

(Área 4)	daninhas. A área manejada com gado de corte e leite e tem rotação de pastagem, os animais permanecendo 15 dias em cada piquete.
Consórcio ( <i>Brachiaria brizantha</i> ; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Pennisetum clandestinum</i> ) (Área 5)	Área de pasto consorciado de <i>Brachiaria brizantha</i> , <i>Brachiaria humidicola</i> e <i>Pennisetum clandestinum</i> , cultivado há mais de vinte anos, pasto reformado, feita calagem, sem adubação, com presença de pragas e com plantas daninhas. Esta área é manejada com gado de corte, com piquete rotacionado, com animais trinta dias em cada piquete.
Campo Natural (Área 6)	A área de campo natural que caracteriza-se por platô rebaixado da paisagem, com várias formações campestres, prevalecendo formações gramíneo-lenhosa baixa, com ocorrência de gramíneas e ciperáceas dos gêneros <i>Andropogon</i> e <i>Paspalum</i> e árvores retorcidas e espaçadas, como <i>Curatela americana</i> L. e <i>Eupatorium</i> sp.
Floresta (Área 7)	Caracterizada como uma floresta tropical densa, cuja vegetação é perene, composta por árvores densas e multiestratificadas entre 20 e 50 metros de altura.

Segundo classificação de Köppen, o clima da região pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando uma estação seca de pequena duração entre os meses de junho a setembro. A pluviosidade anual varia de 2.500 a 2.800mm. A temperatura anual varia entre 24 a 26° C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% a 90% na estação chuvosa e entre 60 a 70% na estação seca. O relevo local é suavemente ondulado com altitude variando entre 100 a 200 m (Alvares et al., 2013).

Os solos das áreas de estudo são classificados como Latossolo/Argissolo/Gleissolos localizados sobre a Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais recentes, do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talwegues de aprofundamento muito fraco, isto é, o relevo apresentam declives muito suaves, e a drenagem natural é deficiente.

## 2.2. Metodologia de campo

Para as áreas de pastagem, campo natural e floresta foram demarcados 10 pontos amostrais aleatórios distribuídos nas áreas. Em cada ponto foram coletados solos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, sendo essa a profundidade de maior interação do sistema radicular, atributos e dinâmica do carbono, perfazendo um total de 20 amostras por área, totalizando 220 amostras. As amostras de solos foram coletadas em forma de torrão e em

anel volumétrico, para avaliação dos atributos físicos e carbono orgânico do solo. Os pontos amostrais foram georreferenciados para elaboração de um mapa de localização (Figura 1).

### 2.3. Análises laboratoriais

Os torrões coletados foram secos à sombra e destorroadas manualmente. Em seguida passaram por um conjunto de peneiras de 9,51 mm de diâmetro de malha, 4,76 mm de diâmetro, onde ficaram retidos os agregados, e de 2,00 mm de diâmetro, onde ficaram retidas a Terra Fina Seca ao Ar - TFSA.

O material de solo retido na peneira de 4,76 mm foi utilizado para análise da estabilidade do agregado, diâmetro geométrico médio (DMG), diâmetro médio do peso (DMP) e classes de agregado >2 mm, 1–2 mm e <1 mm. Enquanto o material de solo proveniente da peneira de 2 mm foi utilizado para análise de carbono orgânico, após maceração de subamostras em almofariz.

As amostras coletadas em anéis volumétricos foram utilizadas para determinação da densidade do solo, onde após a assepsia em laboratório foi deixado em estufa por 24 horas a 105 °C. Posteriormente, foram levados ao dessecador e pesados, na qual obteve-se a massa do solo e o peso do anel. Após o solo ser retirado do anel, o mesmo foi pesado e seu volume registrado, obtendo as medidas necessárias para cálculo da densidade do solo.

A separação e estabilidade dos agregados foram determinados pelo método de peneiramento úmido, segundo Kemper e Chepil (1965). Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (SOLOTEST, Bela Vista, São Paulo, Brasil) por 15 min, com 32 oscilações por minuto. O material retido em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105 °C, e em seguida foram mensuradas as respectivas massas em balança digital. Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras para >2 mm, 1-2 mm e <1 mm, e posteriormente foram calculados os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) através da fórmula proposta por Castro Filho et al. (1998) e o diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado segundo Schaller e Stockinger (1953), citado por Alvarenga et al. (1986), de acordo com as equações:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^N n_i D_i}{\sum n_i} \quad (3)$$

$$DMG = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum n_i}} \quad (4)$$

Onde:

$n_i$  é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira;

$D_i$  é o diâmetro médio de uma determinada peneira;

$N$  é o número de classes de peneiras.

O carbono orgânico (CO) foi quantificado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans & Bremner (1988). Já o estoque de carbono (EC) foi definido pela equação:

$$EC = D_s \times h \times CO \quad (2)$$

Onde:

EC = estoque de carbono ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ );

$D_s$  = densidade do solo ( $g \text{ cm}^{-3}$ );

$h$  = espessura da camada de solo amostrada (cm);

CO = teor de CO (%).

## 2.4. Análise estatística

Os dados obtidos nas análises em laboratório foram submetidos, inicialmente, à análise estatística descritiva, onde foram determinados os valores de média, mediana, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação e teste de normalidade, sendo estes analisados por meio do Software Statistica 7 (STATSOFT, 2004).

A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para comparar as médias dos atributos individualmente utilizando do teste de Scott knott a 5 %. Os coeficientes de correlação de Pearson foram calculados com intuito de determinar possíveis relações entre a estabilidade de agregados e os estoques de carbono orgânico.

Em seguida, foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial e de agrupamento, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, verificando as relações internas e externas existentes entre os atributos e a produção da biomassa.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade.

A extração dos fatores foi realizada pelos componentes principais, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco (5). A escolha do número de fatores utilizados foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1).

A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (Varimax) dos fatores e representada em um plano fatorial das duas componentes. Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA versão 8 (Statsoft, 2004).

### 3. RESULTADOS

Avaliando a dispersão das variáveis nas áreas de estudo, observou-se que os agregados apresentaram menor coeficiente de variação (CV) para a classe de agregados com diâmetro > 2 mm nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, variando entre 3,20 a 13,56% e de 6,95 a 41,78%, respectivamente, com exceção para área de campo natural que apresentou maior dispersão (74,35%). O DMP e DMG tiveram CV entre 2,44 a 8,33% e de 7,54 a 36,49%, respectivamente, na primeira camada, e de 5,00 a 43,04% e de 14,69 a 41,01% respectivamente, na segunda camada, com exceção para área de campo natural que apresentou CV de 70,28% (Tabela 2).

Sendo assim, nota-se que todas as áreas tiveram coeficientes de variação para classe de agregados, DMP e DMG variando entre <12% a <60%, sendo consideradas variações com caráter de baixa a média, com exceção para área de campo natural que apresentou variações consideradas alta, segundo a classificação de Warrick e Nielson (1980) que classifica as variáveis do solo como sendo baixa (< 12%), média (12 a 60%) e alta (>60%).

A densidade do solo (Ds) mostrou variabilidade de baixa a média para maioria das áreas avaliadas, destacando-se as áreas 2 e 1 apresentando a menor variação com 4,76% e 4,11% na camada de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. O carbono orgânico do solo (COS) e o estoque de carbono (ECOS) apresentaram variações de baixa a média em todas as áreas e camadas, variando entre 12,88 a 29,41% e de 12,53 a 32,11%, respectivamente na primeira camada e de 16,96 a 58,85% e de 14,55 a 61,19% respectivamente na camada inferior, com exceção da área 1 que apresentou variabilidade alta para o ECOS na segunda camada (Tabela 2).

Observou-se que os dados apresentaram assimetria oscilando entre -0,059 a 2,58 em todas as áreas e camadas. Coeficientes de assimetria maiores que zero indicam que os dados possuem distribuição assimétrica à direita enquanto os coeficientes negativos indicam que os dados apresentam distribuição assimétrica à esquerda. Com relação ao coeficiente de curtose, notou-se que os dados tiveram variações aleatórias entre -2,17 a 6,91, havendo distanciamento do referencial zero, indicando que os dados apresentaram um afastamento significativo do normal (Tabela 2).

Avaliando a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk com nível de significância de 5%, observou-se que a maioria das variáveis em todas as áreas e camadas apresentaram distribuição normal ( $p > 0,05$ ), com exceções na primeira camada (0-10 cm)

para classe de agregados > 2 mm nas áreas 4 e 5; 1-2 mm nas áreas 2, 4, 5 e floresta; < 1 mm na área 5, DMG nas áreas 1 e 5, DMP nas áreas 4 e 5, Ds na área 4 e ECOS na área 1, enquanto que na segunda camada (10-20 cm) as variáveis apresentaram distribuição menor ou igual à 0,05 nas classes de agregados > 2 mm e 1-2 mm na área de floresta; DMG na área de campo natural; DMP na área de floresta, COS nas áreas 1, 2 e floresta e ECOS nas áreas 1 e floresta (Tabela 2).

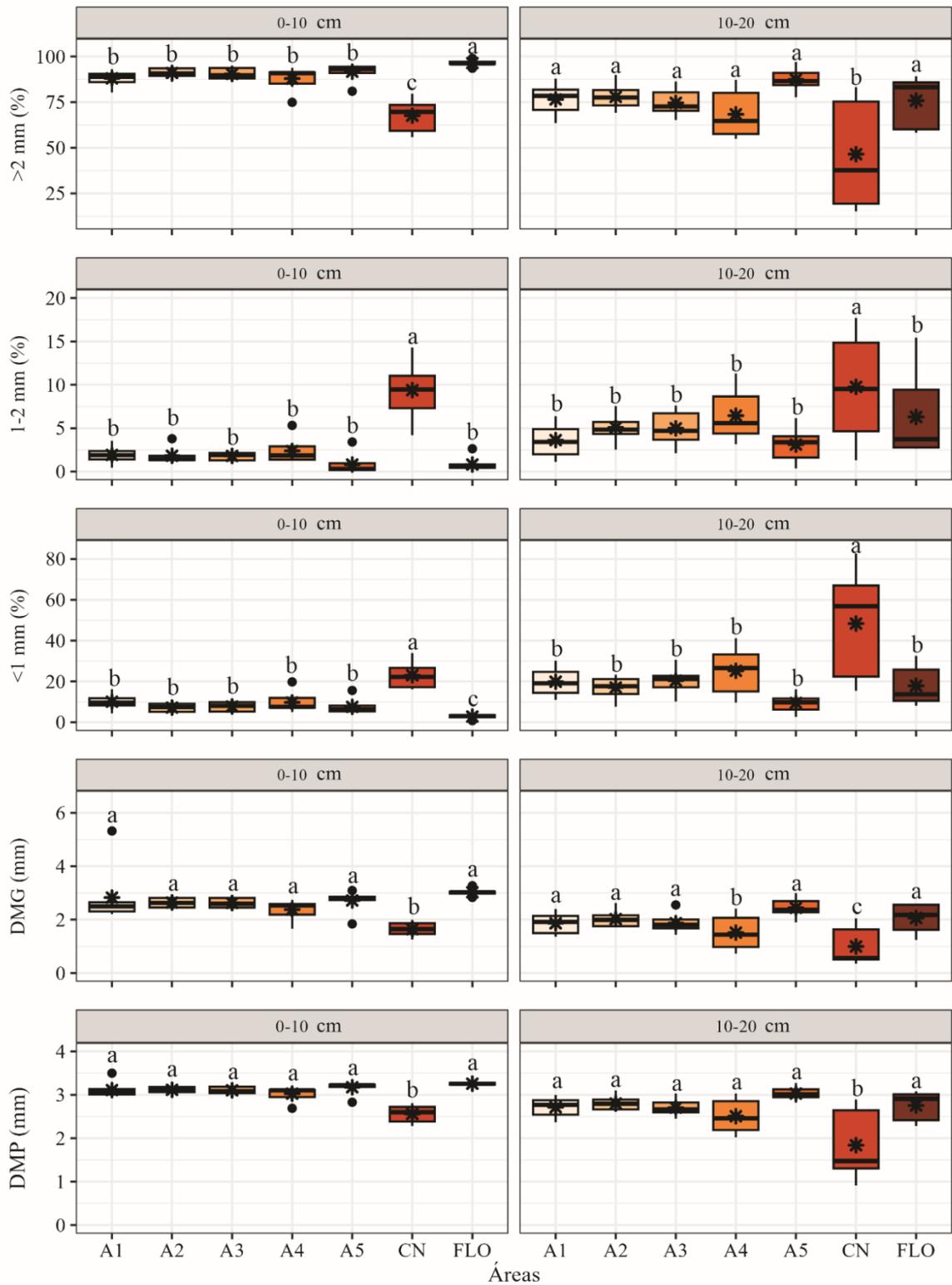
**Tabela 2.** Variabilidade e teste de normalidade na avaliação da estabilidade de agregados e estoque de carbono nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

Áreas	Classe de agregados (%)			DMG mm	DMP	Ds --g cm <sup>-3</sup> --	COS --g kg <sup>-1</sup> --	ECOS --Mg ha <sup>-1</sup> --
	> 2 mm	1-2 mm	< 1 mm					
<b>Área 1</b>								
	0-10 cm							
CV	4,72	48,35	35,71	36,49	5,62	10,20	21,46	20,59
Assimetria	-0,789	0,234	0,245	2,58	1,80	0,447	-0,818	-1,66
Curtose	0,411	0,683	0,366	6,91	3,86	-1,50	-0,327	2,14
SW-p	0,748	0,991	0,997	<0,001	0,06	0,328	0,365	0,013
<b>Área 2</b>								
CV	3,20	47,87	31,72	7,88	2,44	4,76	12,88	12,53
Assimetria	-0,314	2,07	-0,106	0,222	-0,059	0,057	-0,449	-1,32
Curtose	-0,920	4,13	-1,79	-1,62	-1,41	0,414	0,079	3,20
SW-p	0,624	0,002	0,435	0,509	0,753	0,765	0,737	0,198
<b>Área 3</b>								
CV	3,24	36,24	30,77	6,59	2,44	6,44	19,34	16,36
Assimetria	0,284	-0,057	-1,46	0,199	0,249	0,465	-0,443	-0,278
Curtose	-2,16	-1,25	-2,02	-2,10	-2,11	-0,815	-1,42	0,449
SW-p	0,064	0,595	0,162	0,061	0,071	0,509	0,440	0,850
<b>Área 4</b>								
CV	6,94	57,49	48,91	14,80	5,27	18,87	19,63	14,04
Assimetria	-1,60	1,65	1,54	-1,32	-1,58	0,71	-0,39	0,81
Curtose	2,60	2,74	2,46	1,54	2,51	-1,90	-0,50	0,26
SW-p	0,035	0,029	0,062	0,124	0,042	0,010	0,344	0,737
<b>Área 5</b>								
CV	5,75	138,00	79,26	13,94	4,64	7,60	29,41	32,11
Assimetria	-2,37	2,23	2,35	-2,11	-2,36	-0,43	0,45	0,74
Curtose	6,09	5,26	6,09	5,31	6,09	-0,54	-2,00	-0,74
SW-p	0,002	0,002	0,002	0,010	0,002	0,626	0,070	0,388
<b>CN</b>								
CV	13,56	35,93	28,67	16,84	8,33	9,26	23,27	24,14
Assimetria	-0,15	0,05	0,59	-0,17	-0,27	0,02	-0,61	-0,43
Curtose	-1,70	-0,62	-0,99	-1,68	-1,77	0,41	-0,25	-0,10
SW-p	0,390	0,932	0,354	0,455	0,284	0,952	0,621	0,950
<b>FLO</b>								
CV	3,39	94,31	67,12	7,54	2,54	7,44	24,50	19,22
Assimetria	-1,34	1,18	1,59	-0,92	-1,30	1,27	0,71	0,90
Curtose	2,33	-0,13	3,47	1,81	2,41	2,03	0,58	0,40
SW-p	0,292	0,034	0,140	0,580	0,291	0,246	0,702	0,562
<b>Área 1</b>								
	10-20 cm							
CV	12,22	55,60	37,73	21,92	9,15	4,11	58,85	61,19
Assimetria	-0,40	0,39	0,33	-0,05	-0,43	-0,69	2,27	2,29
Curtose	-1,04	-1,34	-1,21	-1,54	-1,19	1,14	5,61	5,64

SW-p	0,320	0,365	0,348	0,366	0,274	0,888	0,004	0,003
<b>Área 2</b>								
CV	9,05	33,67	32,07	14,88	6,00	6,82	20,28	20,42
Assimetria	0,41	0,36	-0,54	1,10	0,60	0,01	2,12	1,70
Curtose	-0,64	-0,32	-0,78	1,12	-0,38	1,64	5,40	3,88
SW-p	0,655	0,392	0,379	0,132	0,499	0,801	0,009	0,081
<b>Área 3</b>								
CV	9,64	38,22	30,19	18,76	6,94	5,82	16,96	14,55
Assimetria	0,41	0,00	-0,06	0,95	0,48	-0,60	0,97	0,59
Curtose	-0,93	-1,25	0,51	1,11	-0,25	-0,10	-0,46	-0,08
SW-p	0,733	0,687	0,983	0,707	0,936	0,780	0,081	0,799
<b>Área 4</b>								
CV	18,58	44,47	44,85	41,01	14,92	7,25	37,76	39,73
Assimetria	0,44	0,62	-0,05	0,22	0,18	-0,46	0,60	1,02
Curtose	-1,77	-0,90	-1,52	-1,63	-1,74	-0,44	-0,86	0,80
SW-p	0,195	0,479	0,692	0,492	0,441	0,760	0,444	0,481
<b>Área 5</b>								
CV	6,95	62,17	48,52	14,69	5,00	8,51	23,91	22,30
Assimetria	0,09	0,11	0,10	0,15	0,18	-1,12	1,07	1,62
Curtose	-0,12	-0,71	-0,81	-0,61	-0,69	2,24	1,58	3,15
SW-p	0,986	0,934	0,848	0,930	0,960	0,262	0,481	0,128
<b>CN</b>								
CV	74,35	63,04	54,21	70,82	43,04	5,00	18,22	17,73
Assimetria	0,45	0,03	-0,28	0,73	0,47	-1,36	0,46	0,17
Curtose	-2,04	-1,68	-1,79	-1,73	-1,92	2,14	-0,89	-0,51
SW-p	0,072	0,552	0,199	0,018	0,088	0,256	0,623	0,927
<b>FLO</b>								
CV	18,18	75,47	54,23	25,60	12,04	8,13	36,12	30,86
Assimetria	-0,56	1,19	0,67	-0,44	-0,57	0,56	1,92	1,77
Curtose	-2,17	0,36	-1,50	-1,62	-1,95	-1,02	4,47	3,88
SW-p	0,015	0,026	0,119	0,163	0,050	0,355	0,026	0,049

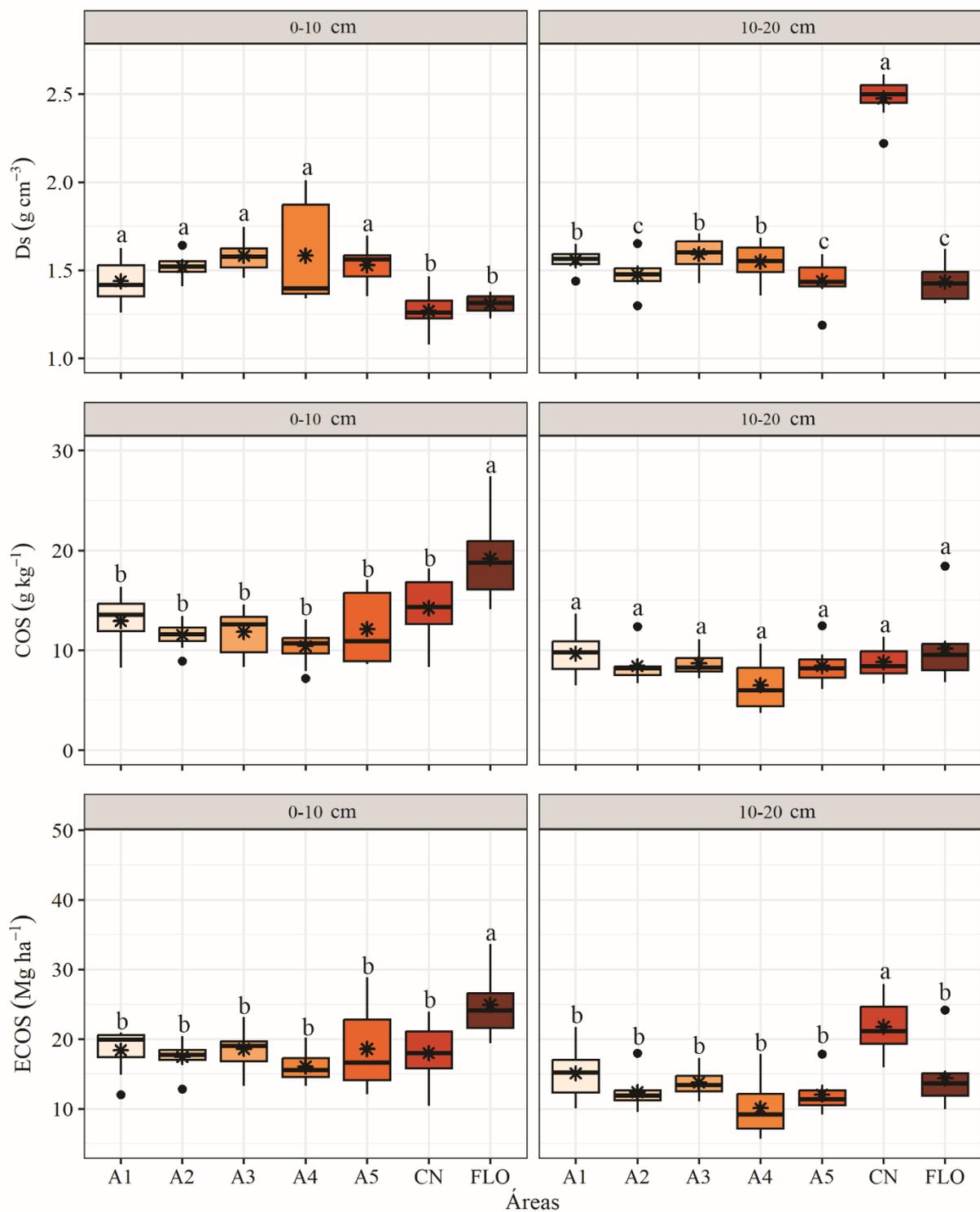
CV = Coeficiente de variação (%), DMG = diâmetro médio geométrico, DMP = diâmetro médio ponderado SW-p = valor p do teste Shapiro-Wilk, CN = campo natural, FLO = Floresta, Ds = densidade do solo, COS = carbono orgânico do solo, ECOS = estoque de carbono orgânico do solo.

A área de floresta apresentou a maior ( $p < 0,05$ ) percentagem de agregados  $> 2$  mm na primeira camada (0-10 cm), seguido por todas as áreas de pastagem e depois campo natural. Por outro lado, a percentagem de agregados de 1-2 mm e  $< 1$  mm foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) na área de campo natural, do que nas demais áreas (Figura 2). Na segunda camada (10-20 cm), todas as áreas de pastagem e floresta foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ), para classe de agregados  $> 2$  mm, em relação a área de campo de natural, enquanto a classe de agregados de 1-2 mm e  $< 1$  mm foram maiores na área de campo natural em relação as demais áreas (A1, A2, A3, A4, A5 e floresta) (Figura 2). Em ambas as camadas, os diâmetros dos agregados (DMP e DMG) foram maiores ( $p < 0,05$ ) nas áreas de pastagem e floresta, do que em campo natural (Figura 2).



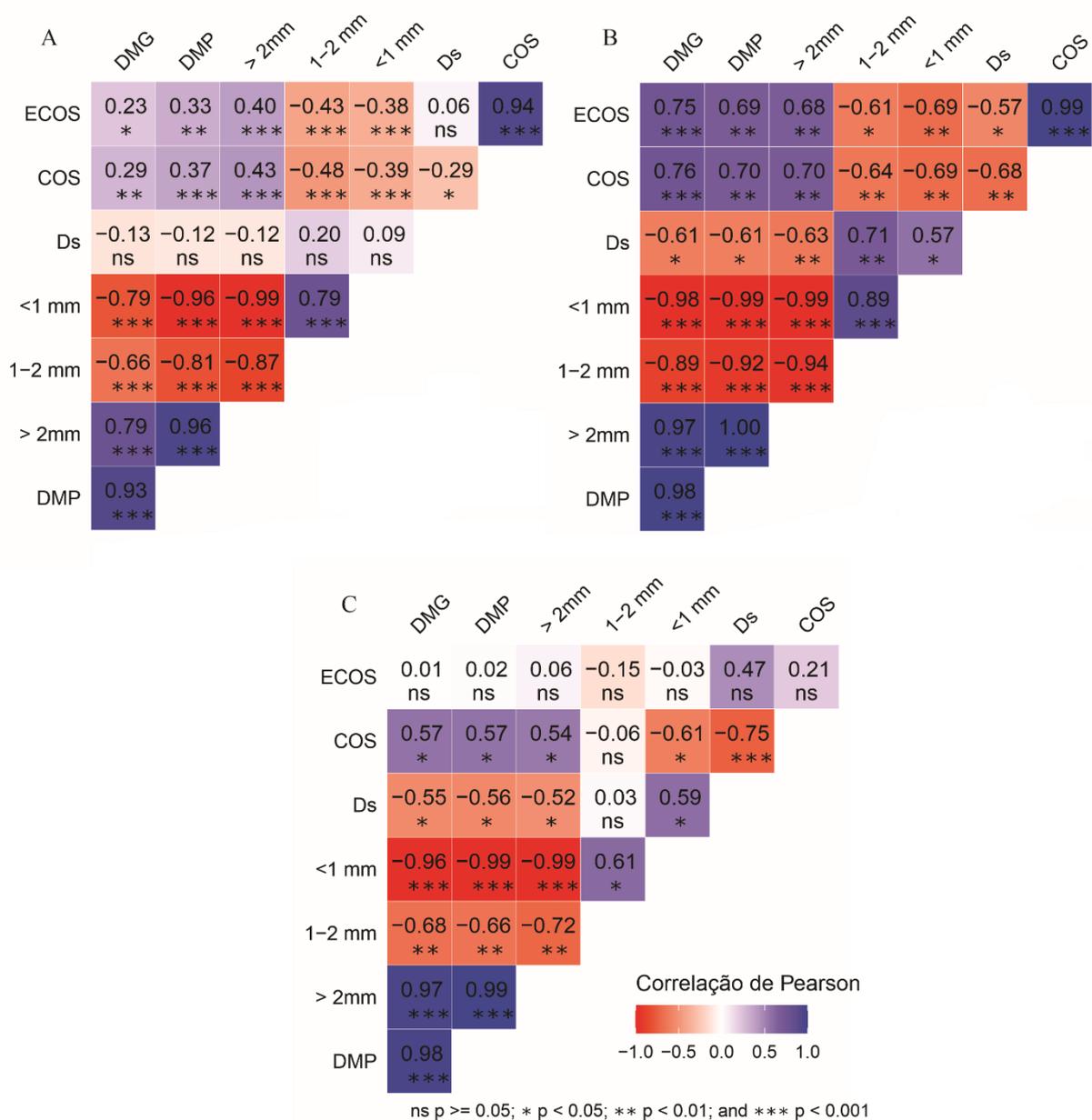
**Figura 1.** Boxplot e teste de média da estabilidade de agregados nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil. A linha horizontal dentro das caixas é a mediana, os pontos são outliers e os asteriscos às médias.

Na primeira camada, a Ds foi maior ( $p < 0,05$ ) em todas as áreas de pastagem do que nas áreas de campo natural e floresta, mas na segunda camada a área de campo natural apresentou a maior densidade ( $p < 0,05$ ), seguido das áreas de pastagem A1, A3 e A4 e das áreas A2, A5 e floresta (Figura 3). Em 0-10 cm de profundidade o COS e ECOS foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) na área de floresta em relação as áreas de pastagem e campo natural. Porém, na segunda camada as concentrações de COS não diferiram significativamente ( $p > 0,05$ ) entre as áreas, ao passo que o ECOS foi significativamente maior na área de campo natural (Figura 3).



**Figura 2.** Boxplot e teste de média da densidade do solo, carbono orgânico e estoque de carbono orgânico de áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil. A linha horizontal dentro das caixas é a mediana, os pontos são outliers e os asteriscos às médias.

Por meio da correlação de Pearson é possível avaliar a influência de um atributo sobre o outro, na qual pode indicar efeito direto (quando positivo) ou inverso (quando negativo). Para todas as áreas, as concentrações de COS foram positivamente correlacionadas com agregados >2 mm, DMG e DMP, mas negativamente correlacionadas com os agregados de 1-2 mm, <1 mm e Ds, exceto o COS e Ds da área de campo natural (Figuras 4A, 4B e 4C). De maneira semelhante, os ECOS das áreas de pastagem e floresta também se correlacionaram positivamente com agregados >2 mm, DMG e DMP, e negativamente com agregados de 1-2 mm, <1 mm e Ds, com exceção de COS e Ds nas áreas de pastagem, porém estas mesmas correlações foram insignificantes na área de campo natural. Além disso, houve correlações positivas e significativas entre os agregados >2 mm com DMG e DMP em todas as áreas estudadas (Figuras 4A, 4B e 4C).



**Figura 3.** Matrizes de correlação de Pearson entre o COS, ECOS e estabilidade de agregados em solo sob pastagens (A), floresta (B) e Campo natural (C), no Sul do Amazonas, Brasil.

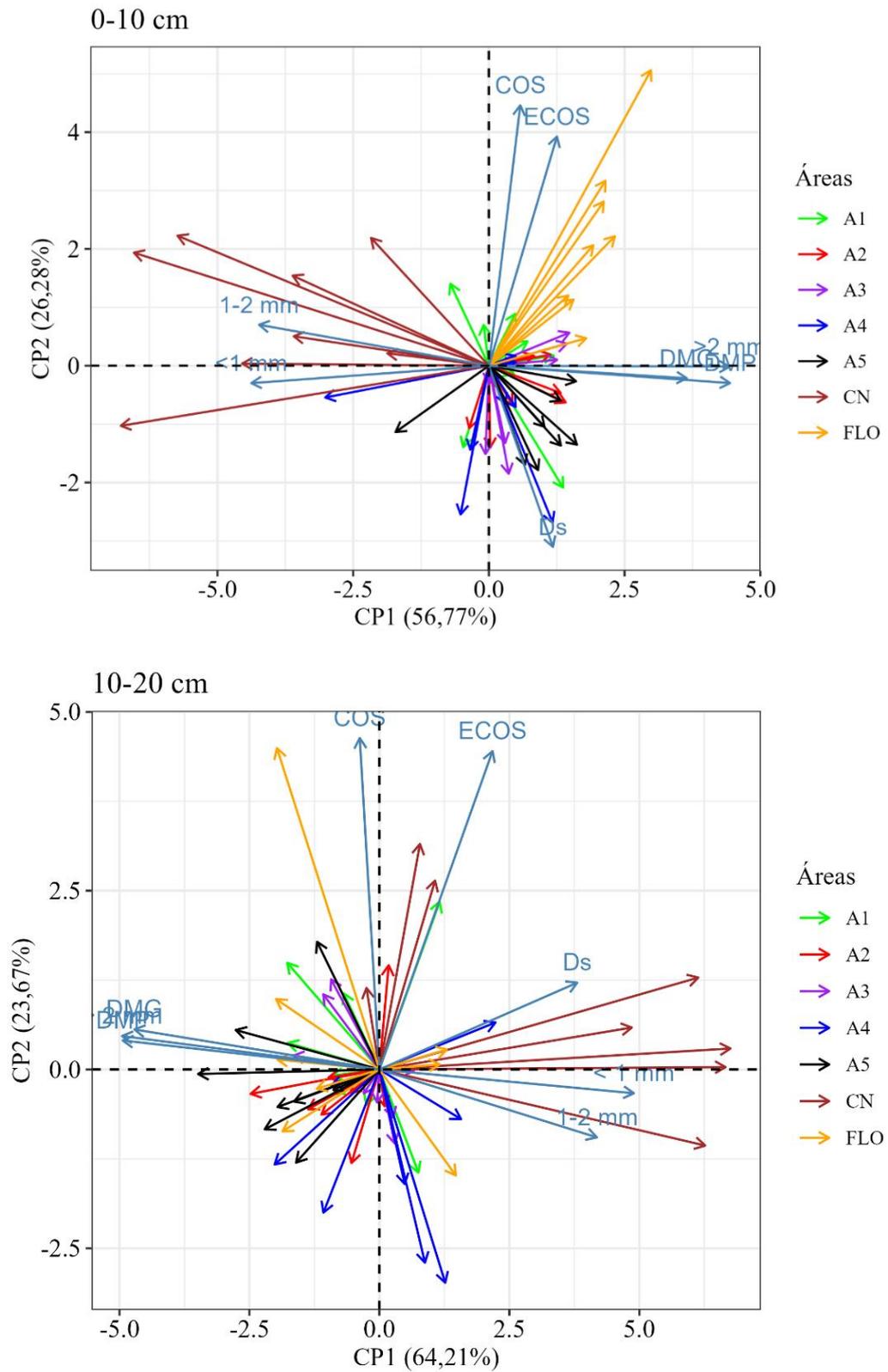
Na análise de componentes principais, observou-se que a camada de 0-10 cm apresentou autovalores da matriz de covariância de 4,54 na CP1 e 2,10 na CP2, enquanto na camada de 10-20 cm os autovalores da matriz foram de 5,14 na CP1 e 1,89 na CP2 (Tabela 3).

Na superfície do solo, os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) foram responsáveis por 83,0% da variância total dos dados. O CP1 explicou 56,77% da variância total dos dados, correlacionando-se positivamente com DMG, DMP, agregados >2 mm, Ds, COS e ECOS, mas negativamente com as variáveis, agregados de 1-2 mm e <1 mm. O CP2 explicou 26,28% da variância total dos dados, teve correlação negativa com o DMG, DMP, agregados >2 mm, <1 mm e Ds. As variáveis, agregados de 1-2 mm, COS e ECOS correlacionaram-se positivamente com o CP2 (Tabela 3; Figura 5).

Em subsuperfície, a variabilidade total dos dados foi explicada em 87,9%, também por dois componentes principais. O CP1 explicou 64,21% da variância total dos dados, mostrando correlação positiva com DMG, DMP, agregados >2 mm e COS, enquanto a correlação com 1-2 mm e <1 mm, Ds e ECOS foi negativa. Já o CP2 explicou 23,67% da variância total dos dados, apresentando correlação positiva com DMG, DMP, agregados >2 mm, Ds, COS e ECOS, e negativa com agregados de 1-2 mm e <1 mm (Tabela 3; Figura 5).

**Tabela 3.** Autovalores e autovetores dos agregados e estoque de carbono nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

Variáveis	Camadas			
	0-10 cm		10-20 cm	
	Componente		Componente	
	1	2	1	2
DMG	0,797	-0,038	0,942	0,074
DMP	0,981	-0,056	0,986	0,052
>2 mm	0,980	-0,024	0,989	0,061
1-2 mm	-0,941	0,130	-0,840	-0,123
<1 mm	-0,968	-0,024	-0,977	-0,043
Ds	0,261	-0,606	-0,743	0,206
COS	0,130	0,987	0,096	0,954
ECOS	0,278	0,860	-0,277	0,955
Autovalor	4,54	2,10	5,14	1,89
Var. explicada (%)	56,77	26,28	64,21	23,67
Var. acumulada (%)	56,77	83,05	64,21	87,88



**Figura 4.** Análise de componentes principais de agregados e estoque de carbono nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Estabilidade de agregados

Na camada superficial (0-10) às pastagens apresentaram percentagem de agregados >2 mm inferior a área de floresta, mas não diferiu em subsuperfície (10-20 cm). Esses resultados corroboram parcialmente Lima et al. (2022), quando constataram também na região amazônica, menor percentagem de agregados >2 mm em pastagem formada por *Brachiaria* nas duas camadas estudadas, quando comparado à floresta. A maior percentagem de agregados >2 mm na área de floresta é reflexo da maior concentração de COS encontrada nessa área, pois o carbono orgânico atua na formação e estabilização de agregados por meio de polímeros orgânicos que se ligam às superfícies inorgânicas por intermédio de cátions polivalentes e polímeros hidroximetálicos, formando complexos organominerais (Tisdal e Oades, 1982; Mantovanelli et al., 2015).

Nesse sentido, os resultados indicam a necessidade de aumentar a concentração de COS nas áreas de pastagem estudadas, para promover formação e estabilização de agregados. O aumento de COS pode ser realizado por meio de práticas integradas de manejo que promovam o aumento do aporte de MOS e de produção da pastagem, uma vez que pastagens produtivas têm mostrado produção de biomassa aérea, radicular e de serrapilheira duas vezes maior do que pastagem degradadas, bem como concentrações de COS e N total aproximadamente 20% maiores (Fonte et al., 2014). Gichangi et al. (2016), observaram que a adubação com N e P aumentou a biomassa de raízes de diversas gramíneas, com reflexo no aumento da estabilidade de macroagregados devido ao incremento na matéria orgânica particulada e biomassa microbiana.

Em ambas as camadas do solo, as áreas de pastagem mostraram maior composição para classe de agregados >2 mm, maior DMG e DMP em relação ao campo natural. Resultados contrários foram encontrados por Mantovanelli et al. (2015), estudando atributos do solo sob diferentes usos no Sul do Amazonas. Segundo os autores esta superioridade não reflete melhores condições de estrutura, aeração e macroporosidade do solo, mas sim maior nível de compactação conferindo-lhe maior resistência à ruptura. Assim, a provável explicação é às queimas recorrentes que ocorrem nas áreas de campos naturais, no período de estiagem, causando diminuição do tamanho de agregados e de outros atributos físicos, sobretudo na camada superficial, como descrito por Redin et al. (2011).

#### **4.2. Densidade do solo, carbono orgânico e estoque de carbono orgânico**

A maior Ds em superfície, nas áreas de pastagem assemelha-se com outros estudos realizados na região amazônica, sendo atribuída a compactação do solo devido ao pisoteio animal (Araújo et al., 2004; Campos et al., 2016; Lima et al., 2022). Ademais, o aumento da Ds pode ser agravado pelo crescimento reduzido das plantas devido deficiência nutricional, sobretudo quando não há adubação de manutenção (Fonte et al., 2014), o que é muito comum nas pastagens da região amazônica. Em subsuperfície, a maior Ds na área de campo natural pode ser atribuída as características intrínsecas do solo, assim como às queimadas que ocorrem na área (Campos et al., 2012; Alho et al., 2014; Mantovanelli et al., 2020).

As maiores concentrações de COS e ECOS na superfície do solo, na área de floresta resultam do maior aporte de MOS e biomassa de raízes nas primeiras camadas do solo, assim como a ausência de práticas que degradam o solo (Calonego et al., 2012). Esse resultado difere de Campos et al. (2016), que constataram maiores concentrações de COS e ECOS em pastagem do que na floresta, no Sul do Amazonas. Porém, corrobora Santos et al. (2018), ao avaliarem os ECOS em diferentes usos no Leste da Amazônia. Em subsuperfície, a ausência de diferença nas concentrações de COS entre às áreas diverge de Lima et al. (2022), enquanto a semelhança entre os ECOS das áreas de pastagem e floresta está de acordo com Araújo et al. (2011). No geral, as mudanças nos ECOS em diferentes camadas do solo são explicadas pela frequente alteração que ocorre na Ds e COS, com a mudança do uso do solo (Santos et al., 2018; Mbanjwa et al., 2022).

### 4.3. Análise de correlação e de componentes principais

A correlação positiva entre a concentração de COS com agregados >2 mm, DMG e DMP em todas as áreas, isto é, pastagem, floresta e campo natural assemelha-se às correlações observadas em outros estudos na mesma região e em regiões diferentes (Cao et al., 2021; Lima et al., 2022; Mbajwa et al., 2022), e como já citado anteriormente é resultado do efeito da MOS na formação e estabilização de agregados do solo (Tisdall e Oades, 1982; Mantovanelli et al., 2015).

Semelhante ao observado para a concentração de COS, a correlação positiva entre o ECOS com agregados >2 mm, DMG e DMP em pastagem e floresta também já foi relatada em outros estudos (Rozane et al., 2010; Mbajwa et al., 2022). Supreendentemente, não houve qualquer correlação entre ECOS com os agregados >2 mm, DMG e DMP na área de campo natural, nem mesmo com o COS e Ds, como é comumente encontrado em diversos estudos. Os resultados sugerem que agregados >2 mm, DMG e DMP têm uma importante influência no estoque de carbono orgânico nas áreas de pastagem e floresta estudadas, mas o mesmo não válido para área de campo natural.

Apesar de ser considerada eficaz em distinguir variáveis mais significativas para determinado grupo, a ACP não mostrou uma caracterização distinta para cada área de pastagem, em ambas as camadas do solo. Na superfície do solo, a área de campo natural está mais representada pelas variáveis agregados de 1-2 mm e <1 mm. A área de floresta está mais relacionada com às variáveis, COS, ECOS e agregados >2 mm, embora esta última também possa representar as áreas de pastagem. Por outro lado, as áreas de pastagem são representadas pelas variáveis Ds, DMG e DMP, mas as duas últimos também estão muito próximas da área de floresta. Em subsuperfície, a área de campo natural permaneceu relacionada principalmente com os agregados entre 1-2 mm e <1 mm, mas foi acrescido da Ds e ECOS. Enquanto isso, as áreas de pastagem e a área floresta são mais representadas pelos agregados >2 mm, DMG e DMP, sendo a variável COS próxima de todas as áreas.

Resultados contrários foram observados por Lima et al. (2022), que encontram áreas de pastagem mais caracterizadas pelas classes de agregados entre 1-2 mm e <1 mm. Entretanto, corrobora Frozzi et al. (2020), quando constataram que agregados >2 mm, DMP, DMG foram representativos em ambiente de pastagem e floresta, no sudoeste do Amazônia. No geral, os resultados observados na análise de componentes principais de ambas as camadas do solo são consistentes com àqueles observados no teste de comparação de média.

## 5. CONCLUSÃO

A conversão de floresta para pastagem aumenta a densidade do solo e diminui os agregados >2 mm, assim como a concentração e o estoque de carbono orgânico na camada superficial do solo;

As concentrações de carbono orgânico em todas as áreas estudadas são influenciadas positivamente pelos agregados >2 mm, DMG e DMP. Os agregados >2 mm, DMG e DMP influenciam positivamente o estoque de carbono orgânico nas áreas de pastagem e floresta, mas na área de campo natural;

A área de floresta é representada pela maior percentagem de agregados >2 mm, maiores concentrações e estoque de carbono orgânico. As áreas de pastagem são representadas pela maior densidade dos solo, DMG e DMP, e a área de campo natural é representando pela menor percentagem de agregados >2 mm e maior de agregados de 1-2 mm e <1 mm.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P. da; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. de. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 246–254, 2014.

ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palha do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 10, n. 2, p.273-277, 1986.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, 711–728, 2013.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta – pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma amazônico. *Acta Amazônica*, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da Terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 307–315, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200009>.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.18, n.2, p.141-149, 2014. doi: 10.1590/S1415-43662014000200003

CALONEGO, J. C., SANTOS, C. H., TIRITAN, C. S., & CUNHA JÚNIOR, J. R. (2012). Estoque de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Caatinga*, 24, 128–135.

CAMPOS, M. C. C. et al. Toposequência de solos na transição campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazônica*, v. 42, n. 3, p. 387-398, 2012. doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011.

CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; CUNHA, J. M.; OLIVEIRA, I. A. Caracterização dos atributos do solo em ambiente natural e transformado na região Sul do Amazonas. Goiânia: Editora da PUC-GOÍÁS, v. 1000, p. 218, 2015.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. *Revista Ambiente e Água*, v. 11, n. 2, p. 339 -349, 2016.

CAO, S.; ZHOU, Y.; ZHOU, Y.; ZHOU, X.; ZHOU, W. Soil organic carbon and soil aggregate stability associated with aggregate fractions in a chronosequence of citrus orchards plantations. *Journal of Environmental Management*, v. 293, p. 112847, 2021. doi:10.1016/j.jenvman.2021.112847

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. *Pubvet*, v. 11, p. 0947-1073, 2017.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CUNHA NETO, F. V. D.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. D. S.; ABEL, E. L. D. S. Chemical and physical attributes in different areas under forests cover and pasture in Paráíba, Minas Gerais state, Brazil. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 13-24, 2018. Doi: 10.5902/1980509831569

DAMIAN, J. M.; FIRMANO, R. F.; CHERUBIN, M. R.; PAVINATO, P. S.; DE MARCHI SOARES, T.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E. P. Changes in soil phosphorus pool induced by pastureland intensification and diversification in Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 703, p. 135463, 2020 doi:10.1016/j.scitotenv.2019.1354.

FAO. 2021. World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>

FONTE, S. J.; NESPER, M.; HEGGLIN, D.; VELÁSQUEZ, J. E.; RAMIREZ, B.; RAO, I. M., ... OBERSON, A. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, 150-157, 2014. doi:10.1016/j.soilbio.2013.09.025

FRAGOSO, R. O.; TEMPONI, L. G.; PEREIRA, D. C.; GUIMARÃES, A. T. B. Recuperação de área degradada no domínio floresta estacional semidecidual sob diferentes tratamentos. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 3, p. 699 – 711, 2016.

FROZZI, J.C., DA CUNHA, J.M., CAMPOS, M.C.C. et al. Physical attributes and organic carbon in soils under natural and anthropogenic environments in the South Amazon region. *Environ Earth Sci* v. 79, p. 251, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08948-x>

GICHANGI, E. M. et al. Effects of cultivated brachiaria grasses on soil aggregation and stability in the semi-arid tropics of Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, v. 19, n. 2, p. 205-217, 2016.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Aggregate stability and size distribution. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: ASA, p.499-510, 1965.

LIMA, A. F. L.; CAMPOS, M. C. C., ENCK, B.F. et al. Physical soil attributes in areas under forest/pasture conversion in northern Rondônia, Brazil. *Environ Monit Assess*. v. 194, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09682-y>

LIMA, C. L. R. Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MANTOVANELLI B. C.; SILVA D. A. P.; CAMPOS M. C. C. et al. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. *Rev Cienc Agr.* v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015. doi:10.4322/rca.1822

MANTOVANELLI, B. C.; COUTINHO ALHO, L.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; AMORIM OLIVEIRA, I. Pedoindicators attributes in the variation of CO<sub>2</sub> efflux in Indian black earth and non-anthropic soils. *Carbon Management*, p. 1–13, 2020. doi:10.1080/17583004.2020.1813479.

MBANJWA, V.E.; HUGHES, J.C.; MUCHAONYERWA, P. Organic Carbon and Aggregate Stability of Three Contrasting Soils as Affected by Arable Agriculture and Improved Pasture in Northern KwaZulu-Natal, South Africa. *J Soil Sci Plant Nutr* 22, 2378–2391, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00815-x>

NESPER, M.; BÜNEMANN, E. K.; FONTE, S. J.; RAO, I. M.; VELÁSQUEZ, J. E.; RAMIREZ, B., ... OBERSON, A. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. *Geoderma*, v. 257-258, p. 123-133, 2015. doi:10.1016/j.geoderma.2014.10.01

Projeto MapBiomias – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil - Coleção 6, acessado em [13 de dezembro de 2022] através do link: [[https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact\\_Sheet\\_PASTAGEM\\_13.10.2021\\_ok\\_ALTA.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_PASTAGEM_13.10.2021_ok_ALTA.pdf)]

REDIN, M; SANTOS, G. F; MIGUEL, P.; DENEGA, G, L; LUPATINI, M; DONEDA, A; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

ROZANE, D.E.; CENTURION, J.F.; ROMUALDO, L.M.; TANIGUCHI, C.A.K.; TRABUCO, M. and ALVES, A.U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. *Bioscience Journal* [online], vol. 26, no. 1, p. 24–32, 2010.

SANTOS, C. C.; FERRAZ JUNIOR, A. S L.; OLIVEIRA SÁ, S.; GUTIÉRREZ, J. A. M.; BRAUN, H.; SARRAZIN, M.; BROSSARD, M.; DESJARDINS, T. Soil carbon stock and Plinthosol fertility in smallholder land-use systems in the eastern Amazon, Brazil, *Carbon Management*, 9:6, 655-664, 2018. DOI: 10.1080/17583004.2018.1530026

SILVA JÚNIOR, MÁRIO LOPES DA et al. Carbon content in Amazonian Oxisols after forest conversion to pasture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. v. 33, n. 6, 2009.

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. doi: 10.1080/17583004.2019.1694355

STANIMIROVA, R.; ARÉVALO, P.; KAUFMANN, R. K.; MAUS, V.; LESIV, M.; HAVLÍK, P.; FRIEDL, M. A. Sensitivity of Global Pasturelands to Climate Variation. *Earth's Future*, v. 7, 2019. <https://doi.org/10.1029/2019EF001316>

STATSOFT Inc 7.0. Statistica (data analysis software system). USA: 2004.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Soil Science American Journal*, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.35, p. 2105-2114, 2011. doi: 10.1590/S0100-06832011000600025.

WARRICK A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Application of soil physics*. New York: Academic Press, 1980.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

## **CAPÍTULO II: ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO EM ÁREAS SOB A CONVERSÃO FLORESTA-PASTAGEM NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL**

### **RESUMO**

O processo de ocupação e exploração da Amazônia vem aumentando e como consequência tem ocorrido a substituição das áreas florestais em áreas agrícolas e/ou pastagens. Diante disso, há a necessidade de trabalhos que estude comparativamente áreas florestais em conversão em áreas de pastagens, tendo como principal objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físico-hídrico em áreas sob a conversão floresta em pastagem no sul do Amazonas, Brasil. As áreas de estudo estão localizadas no município de Humaitá, sul do estado do Amazonas. Em campo foram selecionados cinco (05) áreas de pastagens, uma (01) área de campo natural e uma (01) área de floresta, em cada área foi feito um transecto com quinze (15) pontos amostrais, em cada um desses locais foram abertos minitrincheira para coleta de solo (amostra deformada e indeformada) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. O solo coletado em torrão foi seco a sombra e posteriormente destorroado para obtenção da terra fina seca ao ar, os anéis volumétricos (amostra indeformados) foram saturados na mesa de tensão e por últimos levado ao penetrógrafo, sendo assim determinados em laboratório os atributos: areia, silte, argila, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, umidade gravimétrica, densidade do solo e resistência do solo a penetração. Com obtenção dos dados, esses foram tabulados e analisados por meio de estatística descritiva, teste de médias para comparar os ambientes, análise de correlação e por fim a análise de componentes principais pela multivariada. A conversão de floresta em pastagem impactou negativamente a densidade do solo, resistência do solo a penetração, umidade gravimétrica, porosidade total e macroporosidade do solo. As áreas de floresta e campo natural são caracterizadas pela maior Ug, microporosidade e porosidade total, sendo as pastagens caracterizadas pela elevada resistência à penetração.

**Palavras Chave:** atributos físicos, solos amazônicos, impactos ambientais, qualidade do solo.

### **ABSTRACT**

The process of occupation and exploitation of the Amazon has been increasing and, as consequence, agricultural areas and/or pastures have replaced forest areas. In view of this, there is a need for studies that comparatively study forest areas undergoing conversion into pasture areas, with the main objective of this work being to evaluate the physical and water attributes in areas under conversion from forest to pasture in southern Amazonas, Brazil. The study areas are located in the municipality of Humaitá, in the south of the state of Amazonas. In the field, five (05) pasture areas, one (01) natural field area and one (01) forest area were selected, in each area a transect was made with fifteen (15) sample points, in each of these places were open mini-trenches for soil collection (deformed and undeformed sample) in layers of 0-10 and 10-20 cm. The soil collected in clods was dried in the shade and subsequently crushed to obtain fine air-dried earth, the volumetric rings (undeformed sample) were saturated on the tension table and finally taken to the penetrometer, thus determining the attributes in the laboratory: sand, silt, clay, macroporosity, microporosity, total porosity, gravimetric moisture, soil density and soil resistance to penetration. After obtaining the data, these were tabulated and analyzed using descriptive statistics, test of means to compare the environments, correlation analysis and finally the analysis of principal components by multivariate. Conversion of forest to pasture negatively impacted soil density, soil resistance to penetration, gravimetric moisture, total

porosity and soil macroporosity. Forest and natural grassland areas are characterized by higher  $U_g$ , microporosity and total porosity, while pastures are characterized by high resistance to penetration.

**Keywords:** physical attributes, Amazonian soils, environmental impacts, soil quality.

## 1. INTRODUÇÃO

A pecuária na região norte do país, especificamente na Amazônia, está associada ao uso extensivo de grandes áreas com pastagem como alternativa alimentar na criação de bovinos, uma vez que detém o maior rebanho bovino comercial do mundo, com aproximadamente 214,69 milhões de cabeças, sendo responsável por 8,7% do PIB (Abiec, 2019).

A conversão de ambientes florestais naturais em agroecossistemas (sistemas agrícolas e pecuários) vem promovendo alterações circunstanciais nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Campos et al., 2016) podendo apresentar resultados negativos aos solos função do manejo e uso empregado. No que tange aos malefícios causados em áreas de pastagens na Amazônia, destaca-se o uso sistemático de taxas de lotação que ultrapassam a capacidade do pasto de se recuperar (Lima et al. 2022) e o pisoteio que segundo Dias-Filho, (2014) vem sendo um dos principais causadores dos processos degradativos do solo, limitando o potencial produtivo da pastagem por períodos maiores.

Assim um dos principais indicadores da perda da capacidade de produção dos pastos, refere-se a estrutura do solo, pois quando está é impactada negativamente pode sofrer rearranjo e/ou acomodação das partículas e/ou agregados causando a compactação (Souza et al., 2020), nesse caso, atributos como densidade do solo, porosidade, resistência do solo a penetração mecânica e infiltração da água são afetados, podendo ser utilizados como indicadores de qualidade físico-hídrica do solo (Sena et al., 2021). Outros autores como, Reichert et al., (2007); Castro et al., (2012) e Torres (2022) acrescentam que a compactação tende a reduzir aeração, taxa de infiltração e condutividade hidráulica podendo afetar o escoamento superficial e conseqüentemente as perdas de água, solo e nutrientes.

Nesse sentido alguns trabalhos têm registrado esse fenômeno em sistemas de usos agrícolas na Amazônia, conforme destacaram Jordão et al., (2021) e Silva et al. (2022) em estudos comparativos de áreas naturais com diversos sistemas de cultivo na região Sul do Amazonas. Por outro lado, Biazatti et al., (2022) e Lima et al. (2021) verificaram influências da compactação no crescimento das raízes em sistemas agrícolas amazônicos. E finalmente Lima et al., (2022) estudando atributos físicos do solo em áreas sob sistemas de pastagens (braquiária e mombaça) verificaram alterações nos atributos do solo no Norte de Rondônia.

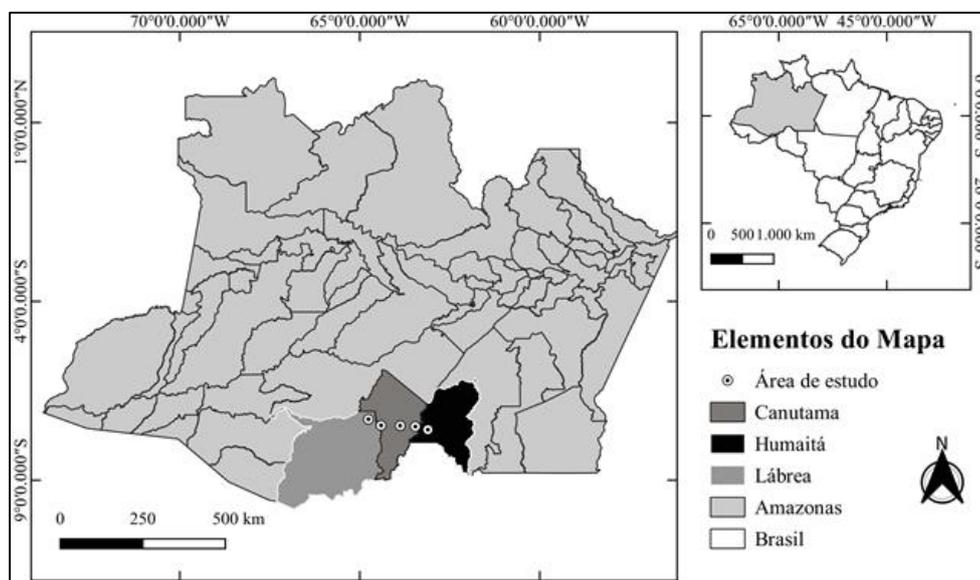
Apesar desses estudos, verifica-se ainda carência de trabalhos que aprofundem na avaliação dos atributos físico-hídricos em ambientes de pastagens na Amazônia, haja vista

que parte da região tem essa cobertura vegetal, bem como o avanço da fronteira agropecuária na área. Diante desse cenário, faz-se necessário trabalhos que estude comparativamente os impactos da conversão floresta pastagens nos atributos físicos do solo, assim a pesquisa teve como principal hipótese que os sistemas de usos de pastagens alteraram os atributos físico-hídricos em diferentes áreas sob a conversão floresta em áreas de pastagem no sul do Amazonas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização dos ambientes de estudo

A área de estudo está localizada no estado do Amazonas inserida na Amazônia Ocidental, mais precisamente na região Sul do estado do Amazonas, zona de ocorrência do chamado “arco do desmatamento” (Figura 1). O critério de escolha se baseou em áreas de ocorrências de pastagens degradadas, bem como em área de pastagem natural (campos naturais) e área de floresta. Foram selecionadas sete áreas, sendo quatro áreas de pastagem utilizada de forma rotacionada, uma área pastagem utilizada de forma extensiva, uma área de pastagem natural (campos naturais) e uma área de floresta (testemunha) (Tabela 1).



**Figura 1.** Mapa de localização aproximado da área de estudo com as áreas de pastagens e floresta.

**Tabela 1.** Descrição de uso e histórico das áreas sob pastagem e floresta na região sul-sudeste do Amazonas

Área de estudo	Descrição da área
<i>Panicum maximum</i> (Área 1)	Área de pasto com mais de 35 anos, cultivado com mombaça ( <i>Panicum maximum</i> cv. mombaça), com pasto reformado, feita calagem, sem adubação. Manejada com gado de leite, utilizando piquete rotacionado, permanecendo os animais três dias em cada piquete.
<i>Brachiaria brizantha</i> (Área 2)	Área de pasto com mais de 35 anos, cultivado com braquiária ( <i>Brachiaria brizantha</i> cv. marandu), com pasto reformado, feita calagem, sem adubação e com plantas daninhas. Área manejada extensivamente com gado de leite.
<i>Brachiaria humidicola</i> (Área 3)	Área com mais de 20 anos de pasto, cultivada com braquiária ( <i>Brachiaria humidicola</i> ), com pasto reformado, feita calagem, sem adubação e com plantas daninhas. Área manejada com gado de corte, utilizando piquete rotacionado, permanecendo os animais trinta dias em cada piquete.
Consórcio ( <i>Brachiaria brizantha</i> ; <i>Brachiaria humidicola</i> ) (Área 4)	Área de pasto misto ( <i>Brachiaria brizantha</i> e <i>Brachiaria humidicola</i> ) com mais de 30 anos, pasto reformado, feita calagem e adubação mineral e aplicação de esterco bovino e com plantas daninhas. A área manejada com gado de corte e leite e tem rotação de pastagem, os animais permanecendo 15 dias em cada piquete.
Consórcio ( <i>Brachiaria brizantha</i> ; <i>Brachiaria humidicola</i> ; <i>Pennisetum clandestinum</i> ) (Área 5)	Área de pasto consorciado de <i>Brachiaria brizantha</i> , <i>Brachiaria humidicola</i> e <i>Pennisetum clandestinum</i> , cultivado há mais de vinte anos, pasto reformado, feita calagem, sem adubação, com presença de pragas e com plantas daninhas. Esta área é manejada com gado de corte, com piquete rotacionado, com animais trinta dias em cada piquete.
Campo Natural (Área 6)	A área de campo natural que caracteriza-se por platô rebaixado da paisagem, com várias formações campestres, prevalecendo formações gramíneo-lenhosa baixa, com ocorrência de gramíneas e ciperáceas dos gêneros <i>Andropogon</i> e <i>Paspalum</i> e árvores retorcidas e espaçadas, como <i>Curatela americana</i> L. e <i>Eupatorium</i> sp.
Floresta (Área 7)	Caracterizada como uma floresta tropical densa, cuja vegetação é perene, composta por árvores densas e multiestratificadas entre 20 e 50 metros de altura.

Segundo classificação de Köppen, o clima da região pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando uma estação seca de pequena duração entre os meses de junho a setembro. A pluviosidade anual varia de 2.500 a 2.800mm. A temperatura anual varia entre 24 a 26° C. A umidade relativa é bastante elevada, variando entre 85% a 90% na estação chuvosa e entre 60 a 70% na estação

seca. O relevo local é suavemente ondulado com altitude variando entre 100 a 200 m (Alvares et al., 2013).

Os solos das áreas de estudo são classificados como Latossolo/Argissolo/Gleissolos localizados sobre a Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais recentes, do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talwegues de aprofundamento muito fraco, isto é, o relevo apresentam declives muito suaves, e a drenagem natural é deficiente.

## **2.2. Metodologia de campo**

Para as áreas de pastagem, campo natural e floresta foram demarcados 10 pontos amostrais aleatórios distribuídos nas áreas. Em cada ponto foram coletados solos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, sendo essa a profundidade de maior interação do sistema radicular, atributos e dinâmica do carbono, perfazendo um total de 20 amostras por área, totalizando 220 amostras. As amostras de solos foram coletadas em forma de torrão e em anel volumétrico, para avaliação dos atributos físicos e químicos. Os pontos foram georreferenciados para elaboração do mapa de localização (Figura 1).

## **2.3. Análises laboratoriais**

Os torrões coletados foram secos à sombra e destorroadas manualmente. Em seguida passaram por um conjunto de peneiras de 9,51 mm de diâmetro de malha, 4,76 mm de diâmetro, onde ficaram retidos os agregados, e de 2,00 mm de diâmetro, onde ficaram retiradas a Terra Fina Seca ao Ar - TFSA.

Para as determinações da RSP, Ds, Pt, MiP, MaP e UV, as amostras coletadas em anéis volumétricos foram saturadas por meio da elevação gradual, até dois terços da altura do anel, de uma lâmina de água numa bandeja plástica. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão, para obtenção da MiP, sendo submetidas a uma tensão de -0,006 MPa para retirar a água presente nos macroporos. Ao atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas e, em seguida, foram feitas as medidas da resistência do solo à penetração (RSP), utilizando-se um penetrógrafo eletrônico de bancada (MA-933, Marconi, SP, BR). Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C para a determinação da UV, Ds e Pt, pelo método do anel volumétrico, já a MaP será determinada pela diferença entre Pt e MiP.

## **2.4. Análise estatística**

Os dados obtidos nas análises em laboratório foram submetidos, inicialmente, à análise estatística descritiva, onde foram determinados os valores de média, mediana, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação e teste de normalidade, sendo estes analisados por meio do Software Statistica 7 (STATSOFT, 2004).

A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para comparar as médias dos atributos individualmente utilizando do teste de Scott knott a 5 %. Os coeficientes de correlação de Pearson foram calculados com intuito de determinar possíveis relações entre os atributos físicos avaliados (RSP, Ug, Pt, MaP e Mip).

Em seguida, foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial e de agrupamento, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, verificando as relações internas e externas existentes entre os atributos e a produção da biomassa.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade.

A extração dos fatores foi realizado pelos componentes principais, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco (5). A escolha do número de fatores utilizados foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1).

A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (Varimax) dos fatores e representada em um plano fatorial das duas componentes. Todas as análises estatísticas multivariadas foram processadas no software STATISTICA versão 8 (Statsoft, 2004).

## **3. RESULTADOS**

Avaliando a variabilidade das áreas de estudo, observou-se que em ambas as profundidades (0-10 e 10-20 cm) todas apresentaram coeficiente de variação (CV), variando entre <12% a < 60% sendo consideradas variações com caráter de baixa a média, conforme classificação proposta por Warrick e Nielson (1980) que classifica as variáveis do solo como sendo baixa (< 12%), média (12 a 60%) e alta (>60%) (Tabela 1).

Observou-se que os dados apresentaram assimetria com variações entre -3,03 a 1,87 em todas as áreas e profundidades, mostrando que os coeficientes de assimetria maiores que zero indicaram que os dados possuem distribuição assimétrica à direita enquanto os coeficientes negativos indicaram que os dados apresentam distribuição assimétrica à esquerda. Com relação ao coeficiente de curtose, notou-se que os dados tiveram variações aleatórias entre -1,91 a 7,96, havendo distanciamento do referencial zero, indicando que os dados apresentaram um afastamento significativo do normal (Tabela 2).

Avaliando a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk com nível de significância de 5%, observou-se que a maioria das variáveis em todas as áreas e camadas apresentaram distribuição normal ( $p > 0,05$ ), com exceções na primeira camada (0-10 cm) para RSP na área de floresta, Ug nas áreas 3, 5 e campo natural, Pt nas áreas 2 e 5, MaP na área 4, MiP na área 5, enquanto que na segunda camada (10-20 cm) as variáveis apresentaram distribuição menor ou igual à 0,05 na RSP na área 1, Ug nas áreas 1, 2 e campo natural, Pt nas áreas 1 e 2, MaP nas áreas 1 e campo natural, MiP nas áreas 1, 2, 3 e campo natural (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise descritiva e teste de normalidade na avaliação da RSP, Ug, Pt, MaP e MiP nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

.Áreas	RSP --MPa--	Ug --kg kg <sup>-1</sup> --	Pt -----m m <sup>-3</sup> -----	MaP	MiP
Área 1			0-10 cm		
CV	43,83	8,39	7,26	47,11	6,93
Assimetria	0,72	0,40	-0,79	-0,47	0,26
Curtose	-0,45	-0,79	-0,15	-0,70	-0,27
SW-p	0,256	0,353	0,215	0,323	0,598
Área 2					
CV	28,19	9,08	5,07	43,00	5,88
Assimetria	0,76	0,27	1,25	0,81	-0,63
Curtose	1,05	-1,27	3,02	-0,30	-0,43
SW-p	0,688	0,258	0,043	0,214	0,799
Área 3					
CV	33,99	8,30	5,52	41,75	6,46
Assimetria	-0,01	1,25	0,73	0,25	0,24
Curtose	0,66	3,78	-0,73	-0,91	1,36
SW-p	0,591	0,022	0,198	0,926	0,663
Área 4					
CV	30,43	17,82	4,14	50,09	8,65
Assimetria	0,73	0,10	-0,20	1,51	-1,06
Curtose	-0,38	-1,91	-0,31	1,97	1,87
SW-p	0,252	0,189	0,849	0,015	0,432
Área 5					
CV	41,01	32,25	23,52	51,74	25,96
Assimetria	0,10	-2,49	-2,15	0,82	-2,74
Curtose	-1,10	7,09	5,97	0,22	8,08

SW-p	0,855	<0,001	0,005	0,177	<0,001
CN					
CV	22,08	53,21	7,60	37,97	8,55
Assimetria	0,08	1,26	-0,04	0,82	0,60
Curtose	-1,56	0,63	1,40	-0,55	0,04
SW-p	0,364	0,020	0,759	0,236	0,394
FLO					
CV	34,69	13,29	7,33	29,40	8,12
Assimetria	1,81	0,05	-0,37	0,06	0,40
Curtose	4,95	0,59	0,59	-0,73	-0,37
SW-p	0,018	0,975	0,746	0,971	0,917
Área 1			10-20 cm		
CV	42,86	26,73	19,39	29,86	26,69
Assimetria	-0,10	-3,03	-2,58	-1,49	-2,75
Curtose	-2,17	9,40	7,05	3,12	8,00
SW-p	0,048	<0,001	<0,001	0,053	<0,001
Área 2					
CV	19,16	11,03	6,00	37,87	5,64
Assimetria	-0,51	2,71	1,31	-1,16	1,88
Curtose	-0,62	7,96	3,50	1,38	4,28
SW-p	0,747	<0,001	0,026	0,205	0,005
Área 3					
CV	17,31	3,83	3,76	62,12	6,58
Assimetria	-0,14	0,34	-0,41	1,34	-2,00
Curtose	-1,05	-0,43	-1,22	2,97	4,55
SW-p	0,626	0,258	0,288	0,093	0,004
Área 4					
CV	21,60	8,52	5,95	62,25	3,85
Assimetria	0,67	0,18	0,90	1,18	0,24
Curtose	1,04	-0,84	-0,28	1,27	-1,24
SW-p	0,886	0,625	0,120	0,115	0,709
Área 5					
CV	22,86	4,68	5,83	44,46	6,03
Assimetria	0,16	0,92	-0,12	0,24	-0,64
Curtose	-0,03	-0,34	0,12	-0,85	0,17
SW-p	0,764	0,067	0,814	0,516	0,711
CN					
CV	27,26	9,46	8,89	48,65	8,00
Assimetria	-0,57	-2,34	-0,11	1,87	-2,16
Curtose	-1,03	6,17	0,38	3,98	5,34
SW-p	0,375	<0,001	0,425	0,025	0,003
FLO					
CV	35,30	16,75	18,72	37,21	14,96
Assimetria	-0,46	0,47	0,31	0,29	-0,09
Curtose	-0,29	-0,08	-0,37	-0,80	-0,18
SW-p	0,793	0,749	0,968	0,641	0,902

CV = Coeficiente de variação (%), SW-p = valor p do teste Shapiro-Wilk, CN = Campo Natural, FLO = Floresta, RSP = resistência do solo a penetração, Ug = umidade gravimétrica, Pt = porosidade total, MaP = macroporosidade do solo, MiP = microporosidade do solo

A resistência do solo a penetração (RSP) na camada superior (0-10 cm) foi significativamente maior nas áreas 2, 3 e 5 que apresentam cultivo com *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola* e consórcio de ambas com *Pennisetum clandestinum*, respectivamente, enquanto que as áreas 1 (*Panicum maximum*), 4 (Consórcio *Brachiaria*

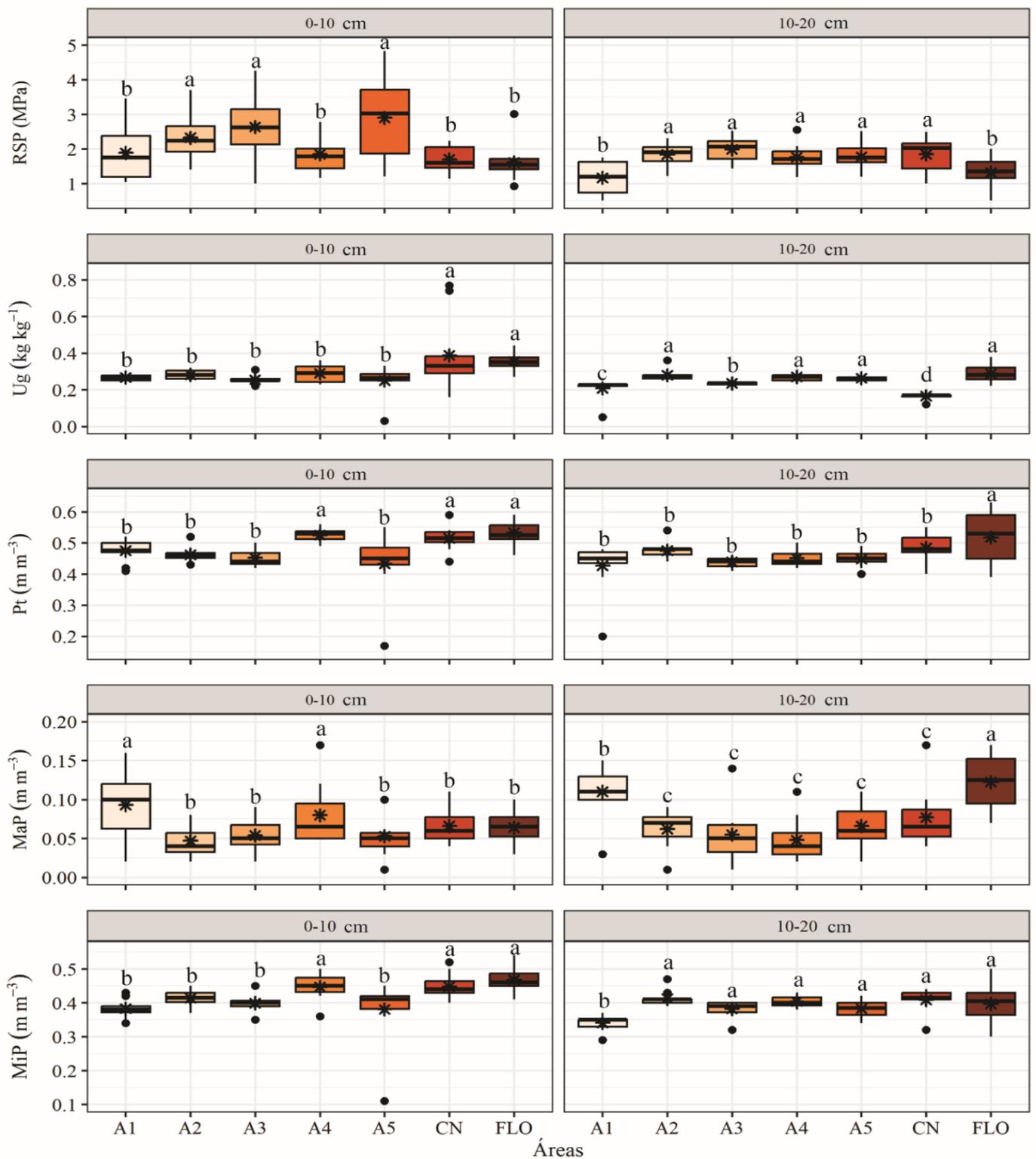
*brizantha* e *Brachiaria humidicola*), campo natural e floresta apresentaram as menores resistências a penetração (RSP). Em profundidade as áreas 2, 3, 4, 5 e campo natural demonstraram maior RSP, enquanto que as áreas 1 e floresta permaneceram apresentando resistências menores (Figura 2).

A Umidade gravimétrica (Ug) na camada superior foi similar para as áreas 1, 2, 3, 4 e 5, destacando-se as áreas de campo natural e floresta apresentando maior Ug, enquanto em profundidade as áreas 2, 4, 5 e floresta apresentando maiores resultados, sendo registrado a menor na área de campo natural e intermediários nas áreas 3 e 2, respectivamente (Figura 2).

A Porosidade total (Pt) na primeira camada foi maior nas áreas 4, campo natural e floresta, enquanto que as áreas 1, 2, 3 e 5 demonstraram semelhanças entre si. Na segunda camada, todas as áreas foram similares, com exceção para área de floresta que apresentou maior porosidade (Figura 2).

A Macroporosidade do solo (MaP) destacou-se, na primeira camada, nas áreas 1 e 4, enquanto que as demais áreas apresentaram porosidades semelhantes, enquanto que em profundidade a MaP expressa-se na área de floresta, seguidamente da área 1, demonstrando menor representação nas áreas 2, 3, 4, 5 e campo natural (Figura 2).

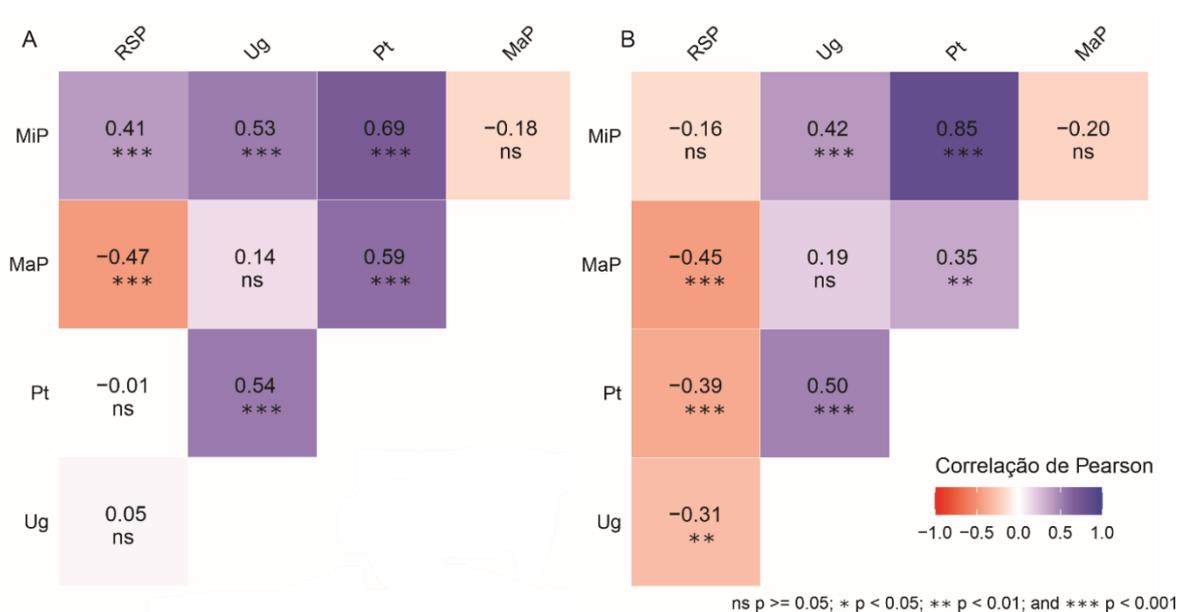
A Microporosidade do solo (MiP) na primeira camada, foram significativamente maior nas áreas 4, campo natural e floresta, sendo menor nas áreas 1, 2, 3 e 5, enquanto que na segunda camada todas as áreas apresentaram (MiP) similares, com exceção da área 1 que demonstrou menor concentração dos microporos no solo (Figura 2).



**Figura 2.** Boxplot e teste de média RSP, Ug, Pt, MaP e MiP nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

Avaliando a influência de um atributo sobre outro, por meio da correlação de Pearson, observou-se que na primeira camada (0-10 cm) a RSP possui correlação positiva com a Ug e MiP, indicando uma relação direta, na qual interferências na concentração de microporos ou da Ug afetará consideravelmente a RSP, apresentando correlação negativa (inversa) para a MaP e Pt. A Ug correlacionou positivamente com a RSP, Pt, MaP, MiP. A Pt apresentou correlação positiva para MiP e MaP, enquanto que o MaP correlacionou negativamente com o MiP, indicando uma relação inversa na qual quando um atributo estiver em maior concentração, conseqüentemente o outro apresentará menor concentração (Figura 3).

Em profundidade, a RSP correlacionou negativamente com o MiP, MaP, Pt e Ug. A Ug demonstrou correlação positiva para o MiP, MaP e Pt. A Pt correlacionou positivamente com o MiP e MaP, enquanto que esta camada o MaP também correlacionou negativamente com o MiP (Figura 3).



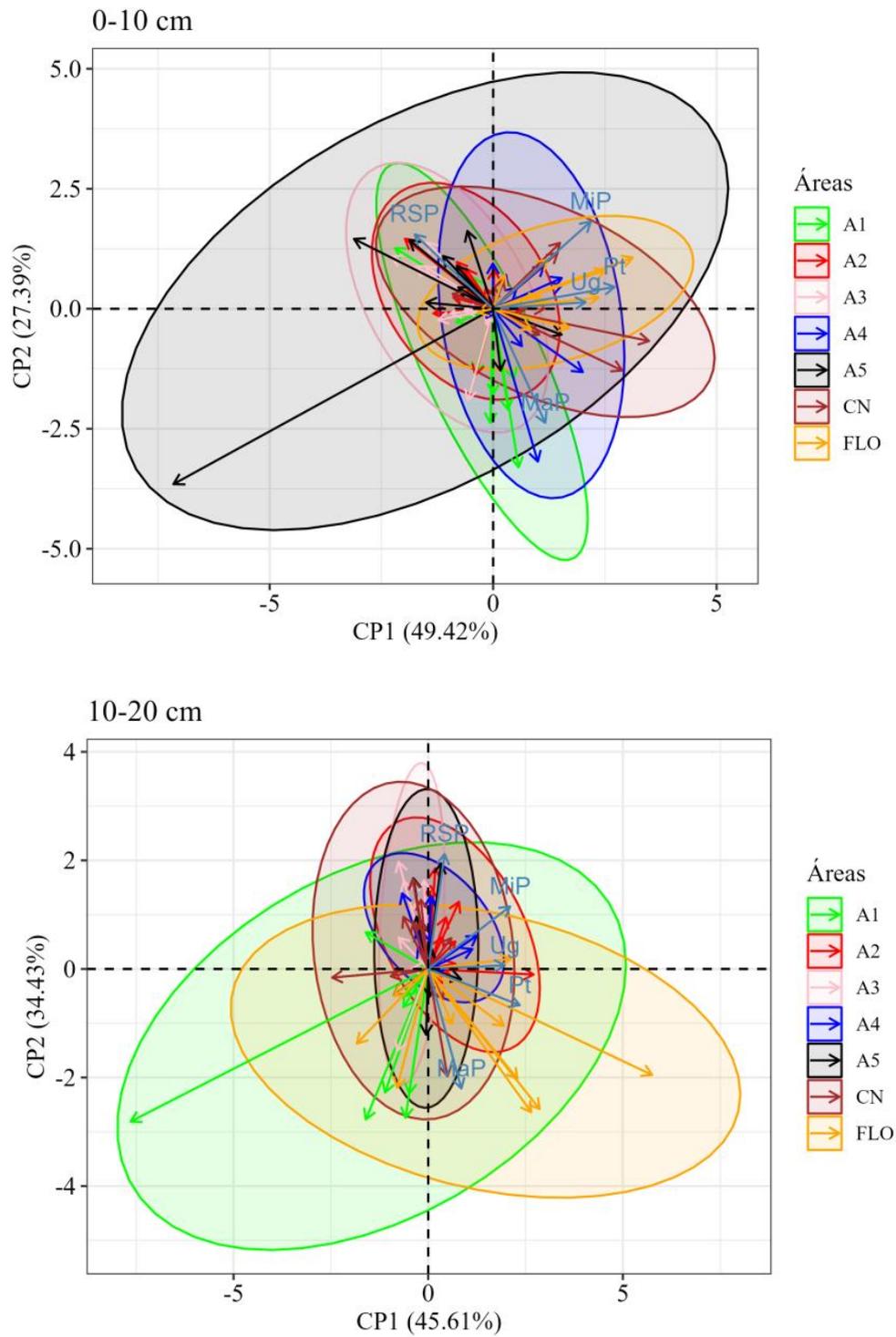
**Figura 03.** Correlação de Pearson para RSP, Ug, Pt, MaP e MiP nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

Na análise de componentes principais, observou-se que na camada superior (0 – 10 cm) foram observados autovalores da matriz de covariância de 2,47 na CP1 e 1,37 na CP2, enquanto que em profundidade (10-20 cm) os autovalores da matriz foram de 2,28 na CP1 e 1,72 na CP2 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Autovalores e autovetores da RSP, Ug, Pt, MaP e MiP nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

Variáveis	Camadas			
	0-10 cm		10-20 cm	
	Componente		Componente	
	1	2	1	2
RSP	-0,603	0,533	0,166	0,833
Ug	0,712	0,047	0,774	0,026
Pt	0,935	0,157	0,925	-0,263
MaP	0,402	-0,817	0,335	-0,867
MiP	0,751	0,652	0,828	0,454
Autovalor	2,47	1,37	2,28	1,72
Var. explicada (%)	49,42	27,39	45,61	34,43
Var. acumulada (%)	49,42	76,81	45,61	80,04

**Fonte:** Autor, 2022.



**Figura 04.** Análise de componentes principais da RSP, Ug, Pt, MiP e MaP nas áreas sob conversão de floresta para pastagem no sul do Amazonas, Brasil.

O primeiro componente (CP1) referente a profundidade 0-10 cm explicou 49,42% da variabilidade total dos dados, enquanto que o segundo componente (CP2) explicou 27,29% da variabilidade dos dados voltados a RSP, Ug, Pt, MiP e MaP. Observou-se que no CP1 os atributos correlacionaram positivamente, com exceção para RSP que correlacionou negativamente, enquanto que na CP2 houve correlação positiva, exceto com a MaP (Tabela 2 e figura 4). Em profundidade (10 – 20 cm), a variabilidade total dos dados foram explicadas a nível de 49,61% no CP1 e 34,43% no CP2, para os mesmos atributos avaliados, demonstrando correlação positiva entre todos os atributos na CP1, enquanto que na CP2 houve correlação inversa apenas para a Pt e MaP (Tabela 2 e figura 4).

## **4. DISCUSSÃO**

### **4.1. Resistência do solo à penetração (RSP)**

Observou-se que a área de pastagem 1 (*Panicum maximum*) e a área de floresta apresentaram menores RSP em ambas as profundidades, quando comparado às outras áreas de pastagens que exibiram maiores resistências, podendo estar relacionado ao pisoteio dos animais (Castro et al, 2012), com exceção para área 4 e campo natural que apresentaram menores RSP apenas em superfície. Resultados semelhantes foram encontrados por Magalhães (2009) avaliando a determinação a resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de cultivo, onde observou que as áreas de pastagem apresentaram maiores valores de resistências na camada superficial do solo, enquanto que as áreas de floresta demonstraram menores RSP, podendo estar relacionado a estruturação do solo, concentrações de matéria orgânica (serrapilheira) e a umidade. Quanto a maior resistência apresentada em profundidade no campo natural e na área de pastagem com consórcio de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* (Área 4), pode estar relacionado a compactação pelo comportamento do sistema radicular da cultura, onde estudos desenvolvidos por Oliveira (2015) avaliando a resistência do solo à penetração em sistema de integrado de lavoura-pecuária-floresta na região amazônica, observaram que a compressão do solo acarretado pelo crescimento das raízes também pode ter contribuído para o aumento da RSP.

#### **4.2.Umidade gravimétrica (Ug)**

Observou-se a área de campo natural apresentou maior umidade na camada superficial comparada às demais áreas de pastagem que demonstraram maiores resultados apenas em subsuperfície para as áreas com cultivo de *Brachiaria brizantha* (área 2), consórcio de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* (área 4) e consórcio de *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola* e *Pennisetum clandestinum* (Área 5), enquanto que a área de floresta demonstrou maior umidade em ambas as profundidades.

#### **4.3.Porosidade total (Pt)**

Observou-se que a área de pastagem com consórcio de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* (área 4), e campo natural apresentaram a maior porosidade total em superfície comparada às outras áreas de pastagem, enquanto que a área de floresta exibiu maiores resultados em ambas as profundidades, Isso reflete ao fato desse atributo (Pt) estar relacionado ao nível de degradação do solo, onde a porosidade pode ser reduzida mediante o nível de compactação, aumento da densidade e conseqüentemente diminuição da capacidade de infiltração e aumento a exposição aos processos erosivos (Carmo et al, 2018), uma vez que a porosidade total é um parâmetro indicador da qualidade do solo, refletindo diretamente as alterações de pressões oriundas pelo pisoteio dos animais ou pelo revolvimento excessivo (Oliveira et al, 2015), não sendo uma prática recorrente em ambientes florestais, garantindo a presença de poros que auxiliarão na melhor qualidade estrutural e hídrica do solo, enquanto que a diminuição da porosidade total nas camadas superficiais ou subsuperficiais nas áreas de pastagem pode estar atrelado ao manejo empregado nas áreas, corroborando com os estudo realizados por Neto et al (2018), avaliando a matéria orgânica e atributos físico-hídricos de um latossolo sob diferentes sistemas de manejos, observou que os valores de porosidade total abaixo de 0.5 m m<sup>-3</sup> podem ser atribuídos ao manejo do solo, que normalmente reduz a porosidade por meio da compactação e adensamento do solo, bem como a predominância da fração areia pode influenciar na menor ocorrência de poros no interior dos agregados, resultando em uma menor porosidade total.

#### **4.4. Macroporosidade (MaP)**

Observou-se que a área de pastagem 1 (*Panicum maximum*) e a área 4 com consórcio de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* apresentaram maiores macroporosidades em superfície comparada as outras áreas de pastagem, campo natural e floresta, assim como a área 1 se destaca em profundidade apresentando resultados significados juntamente com a área de floresta. Deste modo, as maiores porosidades podem estar associadas à presença e ação da matéria orgânica na estruturação do solo segundo Vezzani e Mielniczuk (2011) e Silva et al (2016), bem como pode estar relacionada com a capacidade de renovação radicular e descompactação do solo das plantas forrageiras, segundo estudos realizados por Castagnara et al (2012) avaliando os atributos físicos de latossolo vermelho sob pousio ou cultivado com forrageiras tropicais sob pastejo. Enquanto que as demais áreas de pastagem e campo natural que apresentaram baixas concentrações de macroporos na camada superior e em subsuperfície podem estar relacionadas a compactação do solo, onde estudos realizados por Silva et al (2014) avaliando os atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais, demonstraram que o aumento da compactação do solo pode reduzir a macroporosidade, a aeração do solo, a altura das plantas e a matéria seca das raízes. Além disso, sua baixa quantidade pode diminuir o fluxo de hídrico no perfil do solo, assim como as trocas gasosas, prejudicando, contudo, toda a atividade biológica no solo (Costa et al., 2012; Kondo et al., 2012).

#### **4.5. Microporosidade (MiP)**

Observou-se que a área com consórcio de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola* (área 4), campo natural e floresta demonstraram a maior valor para microporosidade na camada superficial e em profundidade, destacando a área de pastagem 1 (*Panicum maximum*) que demonstrou menor representatividade para os microporos em ambas as profundidades, enquanto que as demais áreas de pastagem apresentaram maiores valores na camada subsuperficial. Sendo assim, vale salientar que a microporosidade é responsável pela retenção e armazenamento de água no solo (Carmo et al., 2018) e segundo estudos realizados por Mazurana et al., (2013) avaliando as propriedades físicas do solo, a microporosidade sofre pouca influência da cobertura vegetal e do tráfego promovido sobre o solo, apresentando características intrínsecas com a textura e o teor de matéria orgânica, ao qual pode corroborar com os resultados encontrados nas áreas 4, campo natural e floresta.

## 5. CONCLUSÃO

Observou-se que a conversão de floresta em pastagem impactou negativamente a resistência do solo a penetração, umidade gravimétrica do solo, a porosidade total do solo e a macroporosidade do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

Na camada de 0-10 cm, as áreas de floresta e campo natural são mais caracterizadas pela maior Ug, microporosidade e porosidade total, sendo as pastagens caracterizadas pela elevada resistência à penetração. Na camada de 10-20 cm, a área de floresta é caracterizada Ug, macroporosidade e porosidade total e as áreas de campo natural e pastagem pela maior resistência do solo a penetração e microporosidade.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711–728, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES – ABIEC, 2019. **Perfil da pecuária no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/PublicacoesLista.aspx>>. Acessado em 09/05/2019.

Biazatti, R.M.; Brito Filho, E.G.; Bergamin, A.C.; Pagnussat, E.P.; Souza, F.R.; Almeida, P.M.; Dias, J.R.M.; Campos, M.C.C.; Lima, J.M.G.; Oliveira, S.A. Effects of the soil compaction on root growth of cover crops in the western Amazon. **Scientia Plena**, v. 18, p. 1-11, 2022.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 2, p. 339 -349, 2016.

CASTAGNARA, D. D.; KARWATTE JÚNIOR, N.; ZOZ, T.; PIANO, J. T.; ROSSOL, C. D.; OLIVEIRA, P. S. R.; SEIDEL, E. P. Atributos físicos de Latossolo Vermelho sob pousio ou cultivado com forrageiras tropicais sob pastejo. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 150-158, 2012.

CASTRO, M. A.; CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; NETO, V. B. P.; LEITE, A. P.; MAGALHÃES, F. F.; CRUZ, G. H. M. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul – Mato- Grossense. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012.

CASTRO, M.C.; CUNHA, F.F.; LIMA, S.F.; PAIVA NETO, V.B.; LEITE, A.P. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-MatoGrossense. **Brazilian Geographical Journal**, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012.

COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G.; MEDEIROS, F. M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 993-1004, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnósticos das pastagens no Brasil. Belém, PA: Embrapa Amazônica Oriental, p. 10-36, 2014.

Jordão, H.W.C.; Campos, M.C.C.; Mantovanelli, B.C.; Frozzi, J.C.; Cunha, J.M.; Chechi, L.; Fonseca, J.S. Attributes of pedoindicator soils in areas cultivated with typical crops in the Western Amazon, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 36, p. 97-108, 2021.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSOS, M. M. Efeitos de coberturas vegetais sobre os atributos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 33-40, 2012.

Lima, A.F.L.; Campos, M.C.C.; Martins, T.S.; Brito Filho, E.G.; Cunha, J.M.; Souza, F.G.; Santos, E.A.N. Soil attributes and root distribution in areas under forest conversion to cultivated environments in south Amazonas, Brazil. **Bragantia**, v. 80, p. 1-17, 2021.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C; SILVA, W. M.; CARVALHO, M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarum**, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.

MAZURANA, M.; FINK, R. J.; SILVEIRA, H. V. da.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolos vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1185-1195, 2013.

NETO, A. B. B.; SANTOS, C. R. C.; NORONHA, N. C.; GAMA, M. A. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, A. R.; GUIMARÃES, I. V. P.; SOUZA, P. I. A. . Matéria orgânica e atributos físico-hídricos de um latossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Agroecossistemas*, v. 10, n. 2, p. 147-164, 2018.

OLIVEIRA, B. S.; CARVALHO, M. A. C.; DALLACORT, A. L. R.; SILVA, V. P. Resistência do solo à penetração em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. *Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer*, v. 11, n. 22, p.3678 – 3689, 2015.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos mitigação. In: *Tópicos em Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.49-134.

SENA, C. C. R.; SILVA, G. C.; EVANGELISTA, Z. R.; NUNES, M. E.; PEGO, A. W. E. Atributos físico-hídricos de solos do cerrado. **Revista Agrotecnologia**, v. 12, n.1, p. 80-91, 2021.

SILVA, A.R.; SALES, A.; VELOSO, C.A.C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Revista Agrotec**, v.37, n.1, p. 96-104, 2016.

Silva, G.A.; Brito Filho, E.G.; Cunha, J.M.; Campos, M.C.C.; Sales, M.C.G.; Bello, O.C.; Lima, A.F.L.; Barbosa, J.M.S.; Lima, J.M.G.. Aspectos dos atributos físicos e químicos do solo em ambientes naturais e áreas com sistema agroflorestal no sul do Amazonas. **Scientia Plena**, v. 18, p. 1-12, 2022.

SILVA, L. R.; MATIAS, R. S. S.; LOBATO, R. G. M.; NÓBREGA, A. C. J. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na Região Sul do Piauí. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 3, p. 160 – 168, 2014.

Souza, F.G.; Campos, M.C.C.; Pinheiro, E.N.; Lima, A.F.L.; Brito Filho, E.G.; Cunha, J.M.; Santos, E.A.N.; Brito, W.B.M. Aggregate stability and carbon stocks in Forest conversion to different cropping systems in Southern Amazonas, Brazil. **Carbon Management**, v. 11, p. 81-96, 2020.

STATSOFT Inc 7.0. Statistica (data analysis software system). USA, 2004.

TORRES, L. J. Análise dos atributos físico-hídricos do solo em região de Cerrado, 2022.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.213-223, 2011.