

**CARINE HEMKEMEIER**

**QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA  
AMAZÔNIA MERIDIONAL**

**Dissertação de Mestrado**

**ALTA FLORESTA-MT**

**2022**

2 cm	15 cm	7 cm	5 cm
	CARINE HEMKEMEIER	Diss. MESTRADO	PPGBioAgro 2022



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E  
AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS  
AMAZÔNICOS**



**CARINE HEMKEMEIER**

**QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA  
AMAZÔNIA MERIDIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho  
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Ferreira Ferbonink

**ALTA FLORESTA-MT**

**2022**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação

Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

Walter Clayton de Oliveira CRB 1/2049

H487q	HEMKEMEIER, Carine. Qualidade do Solo Sob Diferentes Usos na Amazônia Meridional / Carine Hemkemeier - Alta Floresta, 2022. 86 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)
	Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) - Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Câmpus de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2022. Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho Coorientador: Guilherme Ferreira Ferbonink
	1. Agroecossistemas. 2. Qualidade do Solo. 3. Frações de P. I. Carine Hemkemeier. II. Qualidade do Solo Sob Diferentes Usos na Amazônia Meridional: .
	CDU 631:574

# QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL

**CARINE HEMKEMEIER**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

Aprovada em: 29/03/2022

Documento assinado digitalmente  
 MARCO ANTONIO CAMILLO DE CARVALHO  
Data: 02/05/2022 10:35:02-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho  
Orientador - UNEMAT/ PPGBioAgro

Documento assinado digitalmente  
 GUILHERME FERREIRA FERBONINK  
Data: 02/05/2022 09:39:23-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

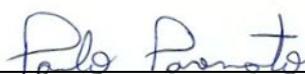
---

Prof. Dr. Guilherme Ferreira Ferbonink  
Coorientador - UNEMAT/ PPGBioAgro

Documento assinado digitalmente  
 GUSTAVO CAIONE  
Data: 29/04/2022 15:04:37-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Gustavo Caione  
UNEMAT/ PPGBioAgro



---

Prof. Dr. Paulo Sergio Pavinato  
ESALQ/USP

## DEDICATÓRIA

***Dedico este trabalho, ao meu esposo, José William Heidrich:  
pelo apoio, companheirismo, incentivo, amor, paciência.***

## AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado do Mato Grosso (UNEMAT), ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos (PPGBioAgro) e a todos professores envolvidos em minha formação, pelo ensino de qualidade.

Agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Marco Antonio Camillo de Carvalho e meu coorientador Professor Doutor Guilherme Ferreira Ferbonink, pela dedicação, apoio e incentivo. Muito Obrigada.

As fazendas Apiácas e Bacaeri, por permitirem a execução deste trabalho. E a CAPES, pelo auxílio financeiro fornecido através da bolsa de estudo. E aos responsáveis pelo laboratório de análise de solo, adubos e foliar - LASAF, laboratório de análise de sementes e matologia, laboratório de fitotecnia, laboratório de microbiologia e laboratório didático, pela disponibilização do espaço, equipamentos e materiais, os quais foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu companheiro de todas as horas, pelo carinho, críticas, elogios, por me incentivar e acreditar em meus sonhos (José William Heidrich), muito obrigada, amo você. E aos meus pais Anselmo e Alice, as minhas irmãs e a meus cunhados Luciana, Heysller (im memoriam), Simone e Junior. E aos meus sogros, cunhados e sobrinhos (José, Neusa, Karen, Cezer, Karol, Luiz, Iasmim e Miguel). Obrigada pelo apoio.

Agradeço minha amiga Grazielle, pela ajuda e apoio, em todas as práticas laboratoriais e disciplinas, as quais foram essenciais para a execução deste trabalho, e a sua amizade. A minha amiga Silvana, por toda ajuda, dedicação, amizade e café. Aos meus amigos Augusto, Ademar e Cristina, pelo incentivo e amizade, ao meu amigo Cleverson, por toda ajuda e incentivo, que me fez fazer a inscrição para o mestrado. E ao Lucas e Dener, pela ajuda na coleta do material.

A Deus por todas as coisas, por todas as bênçãos que ele me concedeu e por todas as experiências que ele me oportunizou, ao longo da minha vida. E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram na realização deste trabalho.

“Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida ou como um resultado que aponta uma nova direção.”

Steve Jobs

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
3. CAPÍTULOS .....	6
3.1. CAPÍTULO I - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL .....	6
Resumo.....	7
Abstract.....	7
Introdução .....	8
Material e Métodos.....	10
Resultados e Discussão.....	15
Conclusões.....	15
Referências Bibliográficas .....	24
3.2. CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL <sup>1</sup> .....	30
Resumo.....	31
Abstract .....	31
Introdução .....	32
Material e Métodos.....	34
Resultados e Discussão.....	39
Conclusões.....	48
Referências Bibliográficas .....	49
3.3. CAPÍTULO III - FRACIONAMENTO DE P DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL <sup>1</sup> .....	55
Resumo .....	56
Abstract .....	56
Introdução .....	57
Material e Métodos.....	59

Resultados e Discussão.....	62
Conclusões.....	67
Referências Bibliográficas.....	68
4. CONCLUSÕES GERAIS .....	72

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

1. **Tabela 1.** Médias texturais das áreas estudadas pastagem degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF)) - Alta Floresta - MT, 2022..... 10
2. **Tabela 2.** Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas - Alta Floresta - MT, 2021..... 11
3. **Tabela 3.** Porosidade total (Pt), Macroporos (Ma), Microporos (Mi), Densidade (Ds) e Resistência a penetração do solo (RSP) de acordo com os usos do solo - Alta Floresta - MT, 2022..... 15

### CAPÍTULO 2

1. **Tabela 1.** Médias texturais das áreas estudadas pastagem degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF)) - Alta Floresta - MT, 2022..... 34
2. **Tabela 2.** Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas - Alta Floresta - MT, 2021..... 35
3. **Tabela 3.** Respiração basal do solo (RBS), Carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C), quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ) e a fosfatase ácida do solo (FA), em função de diferentes usos do solo - Alta Floresta - MT, 2022..... 39
4. **Tabela 4.** pH em  $CaCl_2$ , P por mehlich 1 (P Mehlich 1), potássio trocável (K), cálcio trocáveis (Ca), magnésio trocáveis (Mg), Alumínio trocável (Al), hidrogênio mais alumínio (H+Al), matéria orgânica (MO), a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e o percentual de saturação de bases (V%), em função dos usos do solo em suas diferentes profundidades - Alta Floresta - MT, 2022 ..... 44

### CAPÍTULO 3

1. **Tabela 1.** Médias texturais das áreas estudadas pastagem degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF)) - Alta Floresta - MT, 2022..... 60

2.	<b>Tabela 2.</b> Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas - Alta Floresta - MT, 2021.....	61
3.	<b>Tabela 3.</b> Fração lábil ou disponível (P lábil), Fração moderadamente lábil (P moderadamente lábil), Fração não lábil (P não lábil) e P total (Ptotal) de acordo com os usos do solo e em diferentes profundidades - Alta Floresta - MT, 2022.....	63

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

1. **Figura 1.** Localização das áreas experimentais. (Autor, 2022) .....10
2. **Figura 2.** Resistência a penetração do solo de acordo com os usos do solo e em diferentes profundidades, segundo a metodologia de Stolf (1991) (Autor, 2021) ..... 21

### CAPÍTULO 2

1. **Figura 1.** Localização das áreas experimentais. (Autor, 2022) ..... 34

### CAPÍTULO 3

1. **Figura 1.** Localização das áreas experimentais. (Autor, 2022) ..... 60

## RESUMO

HEMKEMEIER, Carine. M. Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, Março de 2022. **Qualidade dos solos sob diferentes usos na Amazônia meridional.** Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho. Coorientador Prof. Dr. Guilherme Ferreira Ferbonink

Os solos do sul da Amazônia são naturalmente ácidos e deficientes em nutrientes, devido ao intemperismo acelerado isso somado aos manejos implementados, afetam sua qualidade. Dessa maneira, o presente trabalho teve como o objetivo avaliar o fracionamento do fósforo e a qualidade do solo, em diferentes profundidades em áreas de pastagem, pastagem degradada, lavoura, produção de teca e fragmento de floresta, no sul da Amazônia. Avaliamos os atributos físicos através da porosidade, densidade e resistência a penetração; os biológicos pelos indicadores, respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e fosfatase ácida; os químicos foram avaliados pelas análises de acidez do solo, saturação de nutrientes, teores de alumínio e hidrogênio, matéria orgânica, cálcio, magnésio, potássio e P. Devido à importância do P para as culturas e sua deficiência nesta região, foi avaliado o seu fracionamento no solo. A maioria das características sofrem influência do manejo, a adubação e correção do solo realizada na soja melhorou a qualidade química e aumento as frações lábeis e moderadamente lábeis de P, mas prejudicou a atividade dos microrganismos e reduziu a fosfatase ácida devido ao aumento do P disponível. As práticas mecanizadas melhoraram a qualidade física do solo em superfície, mas prejudicaram camadas mais profunda, já as pastagem devido ao tráfego animal apresentou resultado oposta, a teca manteve as características físicas do solo. A alta exportação de nutrientes pelas culturas em áreas sem reposição aumentaram a fixação de P.

Palavras-chave: agroecossistemas, qualidade do solo, frações de P.

## ABSTRACT

HEMKEMEIER, Carine M. S. **Soil quality under different uses in the southern Amazon.** Universidade do Estado de Mato Grosso, March 2022. Adviser: Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho. Co-adviser: Dr. Guilherme Ferreira Ferbonink

The soils of the south of the Amazon are naturally acidic and deficient in nutrients, due to the accelerated weathering that, added to the managements implemented, affect their quality. Thus, the present work aimed to evaluate phosphorus fractionation and soil quality at different depths in pasture, degraded pasture, crop, teak production and forest fragment areas in southern Amazonia. We evaluate the physical attributes through porosity, density and penetration resistance; biological indicators, soil basal respiration, microbial biomass carbon, metabolic quotient and acid phosphatase; the chemicals were evaluated by the analysis of soil acidity, nutrient saturation, aluminum and hydrogen, organic matter, calcium, magnesium, potassium and P content. Due to the importance of P for crops and its deficiency in this region, its fractionation in the soil. Most traits are influenced by management, fertilization and soil correction performed in soybean improved chemical quality and increased labile and moderately labile P fractions but impaired the activity of microorganisms and reduced acid phosphatase due to the increase in available P. . Mechanized practices improved the physical quality of the soil on the surface but harmed deeper layers, while pastures due to animal traffic showed the opposite result, teak maintained the physical characteristics of the soil. The high export of nutrients

Keywords: agroecosystems, soil quality, phosphorus fractions.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O manejo do solo aliado as formas de cultivos podem gerar transformações em suas características e impactar em sua qualidade. Principalmente se tratando de solos com elevado grau de intemperismo, que é o caso de grande parte dos solos brasileiros (INKOTTE et al., 2019). Na região da Amazônia meridional, os solos apresentam baixa fertilidade e elevada acidez, devido aos fatores de formação principalmente de seu material de origem, situação que piora quando estas áreas são manejadas de forma incorreta (MELO et al., 2017).

Na região do sul da Amazônia a exploração dos solos acontece desde 1960, onde a vegetação natural foi convertida principalmente em pastagem (LOSS et al., 2014). As áreas de agricultura vêm aumentando ao longo dos últimos anos, por gerar um grande retorno financeiro além de ser usada para recuperação de áreas degradadas. Nesta região acontece também produção de madeira, com espécies exóticas que apresentam grande adaptabilidade, tal como a teca (*Tectona grandis* L.) (ANGELO et al., 2004).

O solo é um ambiente complexo que fornece grande quantidade de serviços ecossistêmicos (FIRDOU et al., 2016), sendo o meio que propicia estrutura, água e nutrientes para que as plantas se desenvolvam. O solo é um sistema resultante do conjunto das ações do tempo, relevo, clima, material de origem e dos organismos vivos (PRAGANA et al., 2012). Ao longo do tempo, este meio continua sendo modificado, seja de forma natural ou pela interferência das atividades do homem. Segundo Barros et al. (2010), a transformação da floresta nativa em área cultivada, afeta o ecossistema, em sua estrutura e funcionamento, gerando mudanças nas suas propriedades. Podendo causar danos a qualidade do solo quando implantados e manejados de forma inadequada (DIAS FILHO, 2015; ARCOVERDE et al., 2019).

A qualidade do solo depende de um conjunto de três características básicas e estas influenciam umas às outras. Estas características ou atributos são utilizados para avaliar as diferentes classes de solos e seus usos, em função de sua qualidade e sua composição. Existem diferentes métodos de avaliação e se pode utilizá-los de forma isolada ou em conjunto, para se ter uma visão mais abrangente. Com isso as análises são divididas em três grupos básicos, as físicas, as químicas e as biológicas.

Do ponto de vista físico o solo é considerado um sistema trifásico, que apresenta uma fase sólida, uma líquida e uma gasosa, sendo que estas podem variar

conforme as condições ambientais e o manejo (FERREIRA, 2016). Estas fases sofrem grande influência do tamanho, forma e distribuição das partículas do solo. A degradação deste atributo se encontra entre os principais fatores que afetam a qualidade do solo sendo que o efeito maior é na sua estrutura, aumentando assim a resistência do solo a penetração, e a distribuição dos poros que gera respostas negativas para o crescimento das raízes, infiltração de água, estabilidade dos agregados entre outros (SANTOS et al., 2018).

A parte biológica do solo corresponde aos organismos que atuam nos processos de transformação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e interações de troca com a maioria das espécies de plantas (ZATORRE, 2008). Eles atuam na ciclagem de nutrientes e podem ser afetados por qualquer modificação feita no solo e são estudados através de indicadores como a respiração edáfica do solo, a biomassa microbiana, o quociente metabólico e a liberação de alguns nutrientes no solo (PADILHA et al., 2014)

Os atributos químicos afetam a qualidade do solo, neles podem estar contidos, não só os elementos essenciais para a vida das plantas, mas também elementos que prejudicam ou até mesmo impedem seu desenvolvimento. O desequilíbrio de caráter químico no solo, afeta além do desenvolvimento das plantas também o de outros organismos vivos. Segundo Cardoso (2014), os atributos químicos são os que mais sofrem influência em relação aos eventos bióticos e abióticos que afetam o solo. A substituição das florestas em áreas de cultivo agrícolas altera, a dinâmica do solo, como a ciclagem de nutriente e dependendo da gestão destes manejos implementados o solo pode ter uma redução de sua capacidade produtiva (RODRIGUES et al., 2017).

Devido à exportação dos nutrientes e a redução de sua ciclagem, solos podem sofrer mudanças em seus atributos químicos, reduzindo sua qualidade, assim como a adição de fertilizantes e a correção da acidez, podem melhorar, esta propriedade, aumentando a disponibilidade de nutrientes e reduzindo o efeito tóxicos de alguns componentes do solo. O pH, teor de nutrientes, capacidade de troca iônica e matéria orgânica, são afetadas com a transformação de áreas com vegetação natural em áreas de cultivo, principalmente na camada cultivada do solo, por causa do revolvimento mecânico e da adição de corretivos e fertilizantes (FREITAS et al., 2014).

O P é um dos nutrientes essenciais para as plantas, pois ele é utilizado na fotossíntese, respiração, funções celulares, transferência de genes e reprodução (YAMADA & ABDALA, 2004, TAIZ & ZEIGER, 2009). O maior empecilho para os solos brasileiros é que devido ao seu grande grau de intemperismo, ele apresenta alta capacidade de fixar P, assim uma grande quantidade deste nutriente está retida pela precipitação na solução em formas iônicas ligadas ao ferro (Fe), alumínio (Al) e cálcio (Ca), como também pela sua adsorção aos óxidos de Fe e Al (VAN RAIJ, 2004). Estas ligações apresentam força e estabilidade diferente, o que dificulta a disponibilização em grande quantidade do mesmo para a solução.

O P pode ser encontrado no solo de várias formas, tal como a sua disponibilidade para as plantas, o lábil ou moderadamente lábil que são frações menos estáveis e o não-lábil que são frações mais estáveis. Técnicas sequenciais de extrações químicas foram desenvolvidas para se determinar a quantidade de cada fração de P no solo (PEREIRA et al., 2020). Através dos métodos de fracionamento de P, é possível avaliar como ele é afetado pela classe do solo, pela cobertura vegetal e pelos sistemas de manejo utilizados (ROTTA, 2012).

Indicadores eficazes de diagnóstico da qualidade dos sistemas de produção, auxiliam na escolha de práticas de manejo adequadas (ZATORRE, 2008). Sabendo que os atributos do solo são afetados pelo manejo que se aplica a ele e que isso vai resultar em sua qualidade e na sustentabilidade, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o fracionamento do fósforo e a qualidade do solo, em diferentes profundidades em áreas de pastagem, pastagem degradada, lavoura, produção de teca e fragmento de floresta, no sul da Amazônia.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELO, H.; SILVA, G. F.; SILVA, V. S. M. Análise Econômica Da Indústria De Madeiras Tropicais: O Caso Do Polo De Sinop, MT. **Ciência Florestal**, Santa Maria – RS. v. 14, n. 2, p. 91-101, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050981809>.

ARCOVERDE, S. N. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N.; SALVIANO, A. M.; GIONGO, V. Multivariate Analysis of Chemical and Physical Attributes of Quartzipsamments Under Different Agricultural Uses. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal - SP. v. 39, n. 4, p. 457-465, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n4p457-465/2019>.

BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; DIONÍSIO, J. A.; CARON, L.; OLIVEIRA, E. B.; AZEVEDO, J. C. R.; SOUZA, L. C. P. Indicadores de qualidade de solo de área de mineração e metalurgia de chumbo: I- microbiologia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1397-1411, 2010. Disponível em: [doi:10.1590/S0100-06832010000400036](https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400036).

CARDOSO, J. A. F. **Atributos Químicos e Físicos Do Solo E Matéria Orgânica Do Solo Sob Mangueira Irrigada E Caatinga Nativa Na Região Do Vale Do Submédio São Francisco**. 2014, 78 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Do Vale Do São Francisco Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Agrícola-, Juazeiro – BA, 2014.

DIAS FILHO, M. B. **Estratégias de recuperação de pastagens degradadas na Amazônia brasileira**. Belém, PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2015, p. 25, (EMBRAPA Amazônia Oriental. Documentos, 411).

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: JONG van LIER, Q., ed. Física do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2016, p. 241-281.

FIRDOU, S.; BEGUM, S.; YASMIN, A. Assessment of soil quality parameters using multivariate analysis in the Rawal Lake watershed. **Environmental Monitoring and Assessment**. V. 188, p.533, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5527-5>.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; JÚNIOR, P. R. S.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agroambiente**. Boa Vista, RR. 2(8) p.155-164, 2014. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i2.1684>.

INKOTTE, J.; MARTINS, R. C. C.; SCARDUA, F. P.; PEREIRA, R. S. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado: uma revisão sistemática. **Ciência Florestal**. Santa Maria - RS. v. 29, n. 2, p. 988-1003, 2019. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827982>.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; B\*ERNINI, T. A.; ZATORRE, N. P.; WADT, P. G. S. Soil fertility and organic matter in Vertisol and Ultisol under forest and pasture coverage. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus – PI. v. 5, n. 1, p. 1-11, 2014.

MELO, V. F.; ORRUTÉA, A. G.; MOTTA, A. C. V.; TESTONI, S. A. Land use and changes in soil morphology and physical-chemical properties in southern amazon. **Revista brasileira de ciência do solo**. V. 41, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170034>.

PADILHA, K. D. M.; FREIRE, M. B. G. D. S.; DUDA, G. P.; SANTOS, U. J. D.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. R. D. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1377-1386, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500003>.

PEREIRA, D. S.; DA COSTA, L. M.; DO CARMO, D. L.; ROCHA, A. C. T. Availability, and fractionation of phosphorus in soils with different physicochemical characteristics. **Revista Agroambiente On-line**. Boa Vista – RR, v. 14, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v14i0.6811>.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. D. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1591-1600, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500023>.

RODRIGUES, M.; RABÊLO, F. H. S.; CASTRO, H. A. D.; ROBOREDO, D.; CARVALHO, M. A. C.; ROQUE, C. G.; Changes in Chemical Properties by Use and Management of An Oxisol In The Amazon Biome. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 278-286, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n202rc>.

ROTTA, L. R. **Fracionamento e disponibilidade de fósforo em uma cronosequência de cultivos sob plantio direto**. 72 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí -SP, 2012.

SANTOS, K. F.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; DE SOUZA WERNER, R.; WOLSCHICK, N. H.; MOTA, J. M. Study of soil physical properties and water infiltration rates in different types of land use. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina - PR. v. 39, n. 1, p. 87-97, 2018. Disponível em: DOI: 10.5433/1679-0359.2018v39n1p87.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; Fisiologia Vegetal, 4. ed., Porto Alegre -RS: Artmed, 2009. 820p

VAN RAIJ, B. Fósforo essencial para a vida. In: **Simpósio Sobre Fósforo Na Agricultura Brasileira**, 2003, São Pedro, SP. Fósforo na agricultura brasileira: anais. Piracicaba, SP. POTAFOS, 2004, p. 107-114.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba – SP. POTAFOS. 2004. 726p.

ZATORRE, N. P. Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo. **Gaia Scientia**, v. 2, p. 9-13, 2008.

### **3. CAPÍTULOS**

#### **3.1. CAPÍTULO I - ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Artigo submetido no periódico "Revista Ciências Rural"

**Resumo** – (Atributos físicos do solo sob diferentes usos na Amazônia meridional). As transformações causadas pelo manejo do solo, que acontece no sul da Amazônia, geram mudanças em seus atributos físicos. Desta forma o objetivo foi avaliar os seguintes atributos físicos do solo, porosidade total, densidade, resistência a penetração, em diferentes profundidades, em áreas sob diferentes sistemas de usos na região Sul da Amazônia. Foram avaliadas cinco áreas, com os seguintes usos do solo: cultivo de soja, cultivo de teca, com pastagem, fragmento de floresta e área de pastagem degradada. Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, para a avaliação da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade e com auxílio de um penetrômetro de impacto, foi determinada a resistência do solo a penetração em cada uso. Com os dados obtidos se realizou a análise de variância e os resultados dos diferentes sistemas de usos e profundidades foram comparados pelo teste de t a 5% de probabilidade. As pastagens reduziram atributos físicos importantes para o desenvolvimento das plantas, reduzindo sua qualidade principalmente na primeira camadas. Já o cultivo da soja em sucessão com o *Urochloa ruziziensis*, melhorou a qualidade do solo nos primeiro 0,10 m e a prejudicou nas camadas mais profundas. E a teca manteve mais características físicas do solo, não prejudicado tanto sua qualidade.

Palavras-chave: Conservação, Porosidade, Compactação.

**Abstract** – (Soil physical attributes under different uses in southern Amazon). The transformations caused by soil management, which takes place in the south of the Amazon, generate changes in its physical attributes. Thus, the objective was to evaluate the following physical attributes of the soil, total porosity, density, resistance to penetration, at different depths, in areas under different use systems in the southern region of the Amazon. Five areas were evaluated, with the following land uses: soybean cultivation, teak cultivation, with pasture, forest fragment and degraded pasture area. Undisturbed soil samples were collected at depths of 0.0-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30 and 0.30-0.40 m, for the evaluation of density, total porosity, macroporosity and microporosity and with the aid of an impact penetrometer, the resistance of the soil to penetration in each use was determined. With the data obtained, analysis of variance was performed and the results of the different systems of uses, and depths were compared by the t test at 5% probability. Pastures reduced important physical attributes for plant development, reducing their quality mainly in the first layers. Soybean cultivation in succession with *Urochloa ruziziensis* improved soil quality in the first 0.10 m and impaired it in deeper layers. And teak kept more physical characteristics of the soil, not harming its quality so much.

Keywords: Conservation, Porosity, Compaction.

## Introdução

A transformação de áreas de floresta nativa em agricultura, pastagens ou silvicultura, é uma característica da ocupação da região Sul da Amazônia. Estes diferentes usos do solo podem causar danos a sua qualidade, podendo trazer a degradação de suas características, principalmente quando utilizados de forma inadequada e intensiva (ARAÚJO et al., 2011; CASTRO, 2018; RIOS et al., 2021).

Os atributos físicos do solo estão relacionados com a capacidade de manter os serviços ecossistêmicos, interferindo na capacidade deste em disponibilizar água, nutrientes e estrutura necessária para o crescimento vegetal. Basicamente, os solos são considerados um sistema trifásico. A fase sólida pode ser dividida em sólidos minerais e sólidos orgânicos. A fase gasosa é geralmente composta pela mesma mistura do ar atmosférico, mas devido a atividade biológica, pode diferir consideravelmente na porcentagem das suas frações. A fase líquida é composta basicamente por sólidos e gases solubilizados em água, formando a solução do solo (SPOSITO, 2008). Os sólidos têm formatos, organizações diferentes e são oriundos do intemperismo e da matéria orgânica formada por resíduos de animais e vegetais e os organismos vivos, entre um sólido e outro existem espaços que são ocupados por fases fluídicas e estes são chamados poros (EASTON & BOCK, 2016).

A física do solo, segundo Santos et al. (2018), é determinada por componentes granulométricos da fase mineral do solo (areia, silte e argila), e como estas partículas estão arrançadas, determina a sua estrutura, e esta característica facilita ou impede o crescimento das raízes. As propriedades físicas do solo são alteradas em função do manejo a que estão submetidos, como a retirada da cobertura, o uso intensivo da pecuária e da mecanização agrícola com o constante tráfego de máquinas e animais, entre outros (DIAS et al., 2017; MOREIRA et al., 2012).

Os usos podem afetar o solo negativamente de diferentes formas, tal como o aumento da densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total, aumento da resistência do solo à penetração, dentre outros danos. Vários atributos físicos do solo podem atuar como indicadores da qualidade física como por exemplo a porosidade, a densidade e a resistência do solo a penetração, e estes podem ser usados para a identificação de compactação e perda de qualidade (MORAES et al., 2014).

O manejo apropriado beneficia as características dos atributos edáficos, além de favorecer sua conservação e auxiliar em sua recuperação, criando assim condições adequadas para que as plantas possam crescer e se desenvolver. Assim o objetivo foi avaliar os seguintes atributos físicos do solo, porosidade total, densidade, resistência a penetração, em diferentes profundidades, em áreas sob diferentes sistemas de usos na região Sul da Amazônia.

## Material e Métodos

As áreas experimentais ficam localizadas na Fazenda Apiacás no município de Paranaíta - MT (09° 54' 05" O e 56° 49' 55" S) e na Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta – MT (09° 59' 02" O e 56° 53' 15" S), com altitude média de 222 m. As duas propriedades são vizinhas sendo separadas apenas pela divisa dos municípios, a rodovia MT- 208 (Figura 01).

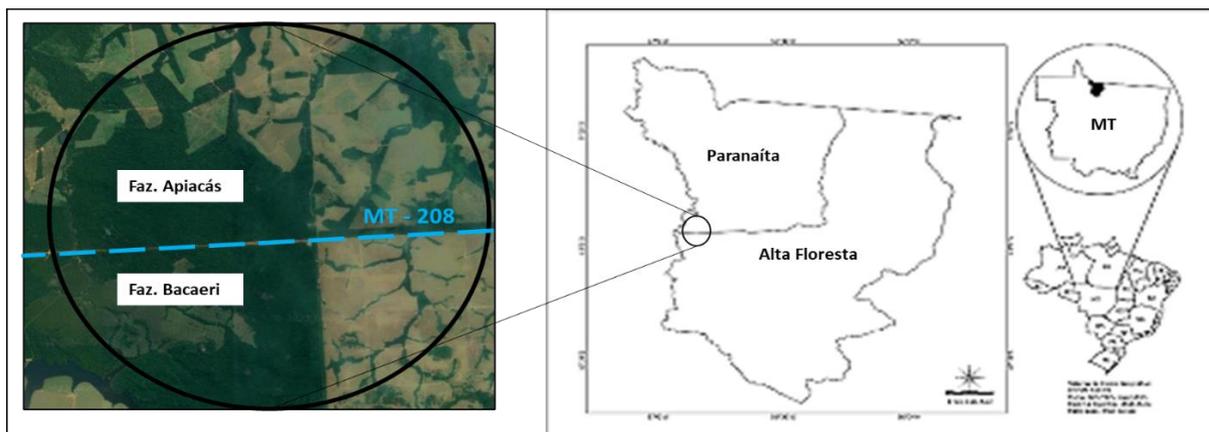


Figura 1. Localização das áreas experimentais. (Autor, 2022).

A região apresenta segundo a classificação de Köppen para o Brasil clima tipo Am, com duas estações bem definidas verão chuvoso e inverno seco, temperatura média anual em torno de 26°C e precipitação média anual na faixa de 2800 a 3100 mm (ALVARES et al., 2014). O solo de todas as áreas do estudo foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (RABECINI, 2009). O percentual de areia, silte e argila do solo de todas as áreas classificou texturalmente o solo dos diferentes usos, como franco argiloso arenoso, conforme pode-se observar através das médias texturais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Médias texturais das áreas estudadas pastagem degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF) - Alta Floresta - MT, 2022.

Área	Areia	Silte	Argila
	(%)		
PD	62	12	26
PA	64	9	27
SO	68	7	25
TE	59	10	31
FF	68	11	21

Os atributos físicos do solo, como indicadores de qualidade para diferentes manejos foram determinados nas seguintes áreas: pastagem degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF). Na Tabela 2, encontra-se o histórico e descrição das áreas experimentais onde foram realizadas as coletas que ocorreram em dezembro de 2020.

**Tabela 2.** Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas - Alta Floresta - MT, 2021.

Sistema de uso e manejo do solo	Descrição
Pastagem degradada (PD),	Abertura da área no ano de 2001, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem da área foi a <i>Urochloa brizantha</i> , destinada para consumo animal. Somente as práticas de roçagem e gradagem foram realizadas. Apresenta muitas plantas invasoras.
Pastagem (PA)	A área foi aberta no ano de 1996, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem da área foi a <i>Panicum maximum</i> , onde ela é cultivada até os dias atuais para consumo animal. Somente as práticas de roçagem e gradagem foram realizadas.
Soja (SO)	A área foi aberta no ano de 1996, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem foi a <i>Panicum maximum</i> , para consumo animal. No ano de 2016 se implementou o cultivo da soja, onde se fez a correção e adubação recomendada, nos dois primeiros anos a calagem foi regular, onde após o quarto ano a calagem é intercalada e realizada a cada 2 anos conforme a análise do solo e a recomendação para elevação da saturação por bases a 80%. No período da entressafra se faz o plantio da <i>Urochloa ruziziensis</i> . O cultivo da soja desde sua implantação é realizado em sistema de semeadura direta.
Teca (TE)	A área foi aberta em 2002, onde se fez o corte e o enleiramento do material e se implantou a floresta de teca, sem nenhuma correção ou adubação, duas vezes ao ano é feita a roçagem da vegetação espontânea.
Fragmento de floresta (FF)	Área remanescente de floresta nativa (Floresta ombrófila densa) utilizada como testemunha. (Área de referência)

As análises das características físicas do solo foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar (LASAF) e no Laboratório de

Fitotecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta - MT.

Para as análises de densidade e porosidade, as amostras indeformadas foram coletadas em quatro profundidades (0,0 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30 e 0,30 a 0,40 m), com quatro repetições para cada tratamento. As amostras foram coletadas com anéis volumétricos, envoltas em papel alumínio e acondicionadas em caixa de isopor e depois conservadas em ambiente refrigerado na temperatura entre 5 e 9 °C até a realização das análises. Através do método da mesa de tensão avaliou-se a porosidade e para quantificar a densidade se utilizou o método do cilindro volumétrico e estufa de secagem (FERREIRA, 2016; EMBRAPA-SOLO, 2017).

Em laboratório preparou-se as amostras, onde retirou-se o papel alumínio e as envolveu as tecido “perflex” e elástico na parte inferior do cilindro, posteriormente estas foram saturadas com água durante 24 horas, em seguida se retirou o excesso de água e elas foram pesadas. Levadas a mesa de tensão, o “frasco de nível” foi colocado no nível de sucção correspondente a 0,60 m de altura de coluna d’água (-0,006 Mpa), onde se deixou as amostras até parar de drenar (quando se obtém peso constante da amostra).

Após retirada da mesa de tensão e devidamente pesadas, foram levadas para estufa de esterilização, pelo período de 24 h temperatura de 105 °C, e após este período pesadas novamente. Pesou-se o conjunto anel, tecido e elástico e valor foi subtraído do peso anteriores. Mediu-se a altura e o diâmetro do anel volumétrico, para a obtenção do volume deste.

Para se determinar o percentual dos poros e a densidade do solo, se realizou as seguintes equações:

a) Densidade do solo ( $D_s$ )

$$D_s(\text{kg dm}^{-3}) = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Em que:

$D_s$  – densidade do solo.

$M$  – Massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

$V$  – Volume do cilindro, em  $\text{cm}^3$ .

b) Porosidade total do solo ( $P_t$ )

$$Pt(\%) = \left( \frac{a - b}{V} \right) * 100 \quad (2)$$

Em que:

Pt – Porosidade total.

a – Massa da amostra saturada, em g.

b – Massa da amostra seca a 105 °C, em g.

V – Volume do cilindro, em cm<sup>3</sup>.

c) Microporosidade do solo (Mi)

$$Mi(\%) = \frac{c - b}{V} * 100 \quad (3)$$

Em que:

Mi – microporosidade.

c – Massa do solo seco + água retida, após equilíbrio com um potencial de 6 kPa (0,60 m de coluna de água), em g.

b – Massa do solo seco a 105 °C, em g.

V – Volume total da amostra, em cm<sup>3</sup>.

d) Macroporosidade do solo (Ma)

$$Ma(\%) = Pt - Mi \quad (4)$$

Em que:

Ma – macroporosidade.

Pt – porosidade total, em %.

Mi – microporosidade, em %.

A resistência do solo à penetração (RSP) foi avaliada conforme a metodologia de Stolf (1991), pelo método do penetrômetro de impacto (IAA/Planalsucar–Stolf), onde a haste penetra no solo através do impacto de um peso conhecido, que cai em queda livre de uma altura constante, anota-se quantos centímetro a haste penetrou no solo após cada impacto. Para elaboração do gráfico do índice de penetração e para a transformação dos dados de resistência do solo estudo se utilizou a seguintes equações:

a) Índice de penetração (IP)

$$IP(\text{número de impactos/dm}) = \frac{ni}{p} \quad (5)$$

Em que:

IP – índice de penetração.

ni – número de impactos;

p – profundidade (dm).

b) Resistência mecânica do solo à penetração (R)

$$RSP((MPa)) = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M + m} * \frac{Mg * h}{IP}\right)}{A} \quad (6)$$

Em que:

RSP – Resistência mecânica do solo à penetração.

IP – índice de penetração (número impactos/dm).

A – Área do cone (cm<sup>2</sup>).

h – Altura de queda do êmbolo (cm).

Mg – Peso da massa considerada do êmbolo (kgf).

mg – Peso da massa considerada do aparelho sem êmbolo (kgf).

M – Massa do êmbolo (Kg).

m – Massa do aparelho sem êmbolo (Kg).

Os dados obtidos para os atributos físicos foram submetidos aos testes de normalidade, usando o método de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias, foi verificada pelo teste de Lavene e posteriormente submetidos a análise de variância e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste t (5 % de probabilidade) com o auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

## Resultados e Discussão

A substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo causa importantes alterações nas propriedades físicas (PASSOS et al., 2016). Atributos físicos densidade e porosidade permitiram identificar a influência dos sistemas de manejo e a sua qualidade (SILVA et al., 2017). Os valores de porosidade total, se encontram próximos aos observados na literatura Easton & Bock (2016), vários estudos mostram que os solos apresentam cerca de 35 a 55 % de poros (Tabela 3).

**Tabela 3.** Porosidade total (Pt), Macroporos (Ma), Microporos (Mi), Densidade (Ds) e Resistência a penetração do solo (RSP) de acordo com os usos do solo - Alta Floresta - MT, 2022.

	Pt	Ma %	Mi	Ds	RSP (Mpa)
Profundidade	0,0 – 0,10				
Usos (U)					
PD	42,99 a	9,87 b	33,13 a	1,60 a	1,72 d
PA	42,45 a	11,88 b	30,57 ab	1,66 a	4,87 a
SO	44,76 a	19,45 a	25,31 c	1,32 b	3,28 bc
TE	44,74 a	16,64 ab	28,09 bc	1,39 b	3,80 ab
FF	45,48 a	21,43 a	24,05 c	1,24 b	2,43 cd
QMResíduo	16,95 <sup>ns</sup>	24,48*	7,48 *	0,017 *	0,81 *
Profundidade	0,10 – 0,20				
PD	42,13 ab	11,57 a	30,57 ab	1,55 a	2,07 b
PA	38,54 b	13,11 a	25,43 bc	1,60 a	3,35 ab
SO	44,66 a	11,77 a	30,89 a	1,55 a	4,64 a
TE	41,49 ab	13,05 a	28,43 abc	1,41 a	3,76 a
FF	39,03 b	14,30 a	24,73 c	1,52 a	2,00 b
QMResíduo	7,65 *	10,62 <sup>ns</sup>	14,07 *	0,01 <sup>ns</sup>	1,03 *
Profundidade	0,20 – 0,30				
PD	35,72 b	9,32 b	26,39 a	1,68 a	2,00 b
PA	42,54 a	11,61 ab	30,98 a	1,50 a	3,06 b
SO	39,75 a	9,86 b	29,78 a	1,57 a	4,90 a
TE	40,70 a	12,97 ab	28,32 a	1,45 a	2,97 b
FF	40,43 a	15,05 a	25,37 a	1,51 a	1,99 b
QMResíduo	6,62 *	6,48 *	8,81 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1,30 *
Profundidade	0,30 – 0,40				
PD	44,53 a	9,14 a	35,38 a	1,65 a	2,24 c
PA	41,75 a	10,43 a	31,71 a	1,47 a	3,68 ab
SO	39,25 a	10,54 a	28,71 a	1,54 a	4,75 a
TE	41,56 a	13,34 a	28,22 a	1,49 a	2,72 bc
FF	40,70 a	10,83 a	29,86 a	1,60 a	2,09 c
QMResíduo	46,70 <sup>ns</sup>	3,66 <sup>ns</sup>	48,69 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>	0,83*

Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. <sup>ns</sup> não significativo. PD - pastagem degradada, PA - pastagem, SO – soja, TE - teca e FF- fragmento de floresta. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste t.

A porosidade está ligada a capacidade de percolação da água no solo, quanto maior a quantidade de poros maior a capacidade de percolação da água em períodos chuvosos (Teixeira, 2018) o que auxilia na conservação do mesmo, evitando ou diminuindo o escoamento superficial. Neste estudo, a porosidade total (Tabela 3) não apresentou diferença significativa entre os usos, nas profundidades de 0,0 - 0,10 m e de 0,30 - 0,40 m, nos 0,10 – 0,20 m a soja, pastagem degradada e teca aumentaram a quantidade de poros e nos 0,20 – 0,30 a pastagem degradada diminuiu a quantidade de poros totais.

Ramos et al. (2020), estudando a influência de diferentes usos em um Neossolo quartzarenico, não observou diferença e atribui este resultado ao fato de todos os solos apresentarem as mesmas texturas. Segundo Zaroni & Santos (2016), os argissolos possuem o horizonte diagnóstico B textural, apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo, assim, este fato pode levar a uma diminuição da porosidade na camada de 0-10 a 0,30 m. Desta forma esta não diferença na primeira e na última profundidade estudadas, pois estas tem as mesmas classes texturais e devido a sua característica mais argilosa o é mais afetado nas segunda e terceira profundidade estudada.

Gomes et al. (2019), estudando diferentes sistemas de preparo do solo, notou que o uso intenso de máquinas e implementos afetam a porosidade total, principalmente quando associados ao clima desta região. Segundo Sattolo et al. (2021), o uso intensificado de máquinas agrícolas, reduz a porosidade e a qualidade física do solo. Teixeira (2018), avaliando os usos do solo em região da Amazônia meridional, encontrou resultados entre 38,8 e 44,92 %, de porosidade total, onde a maior média foi referente a área de floresta nativa, indicando que os usos reduziram a quantidade de poros.

Já neste estudo valores maiores de porosidade na profundidade de 0,10 - 0,20 m na área da soja, apesar do tráfego de máquinas nesta área, este aumento está mais relacionado a maior número de bioporos formados pela sucessão de soja com *Urochloa ruziziensis*, já na teca apresentam um sistema radicular mais agressivo. Na pastagem degradada este valor está ligado também a formação do bioporos, principalmente pelas plantas que estão colonizando estas áreas, já em relação a

camada de 0,20 – 0,30 a raízes destas plantas neste uso, não foram capazes de alterar a quantidade de poros ainda.

Os macroporos podem ocorrer entre os espaços das partículas dos solos, como também podem ser formados através da decomposição de raízes, minhocas e outros microrganismos. Os usos não afetaram a macroporosidade na profundidade 0,10 – 0,20 e 0,30 – 0,40 m, a pastagem degradada e pastagem tiveram o menor macroporos na profundidade 0,0 - 0,10 m e a teca não apresentou diferença significativa em relação a este resultado. Na profundidade 0,20 - 0,30 m todos os usos reduziram a quantidade de macroporos, mas a pastagem e a teca não apresentam diferença significativa em relação ao fragmento de floresta.

A menor quantidade de macroporos na pastagem e pastagem degradada está ligado ao tráfego de animais que provocam a compactação, principalmente das camadas superiores e assim diminui a macroporosidade. Outras reduções podem ser observadas em usos como o da soja principalmente devido ao uso de máquinas e implementos agrícolas sendo a camada de 0,20 – 0,30 a mais afetada.

O uso do solo com a pecuária tem ocasionado alguns problemas ambientais que podem interferir nas condições físicas do solo (RADFORD et al., 2008; SANTOS et al., 2010), onde isso se agrava na ausência de práticas conservacionista e de controle sobre as taxas de lotação animal. Souza et al. (2019) encontraram valores médios de macroporosidade maiores em área de floresta comparados com áreas com diferentes sistemas de cultivo no sul da Amazônia. Esta diferença entre as áreas cultivadas e a floresta, indicam que os manejos interferiram na macroporosidade.

O uso de máquinas e o tráfego de animais podem influenciar na redução dos poros (FROZZI et al., 2020). Estudos como o de Oliveira et al. (2015) e Polanía-Hincapié et al. (2021), indicam que esta característica do solo pode ser afetada pela compressão do solo causada pelo pisoteio de animais. A área da pastagem degradada, apresenta ainda uma macroporosidade abaixo do valor crítico na profundidade 0,0 - 0,10, 0,20 – 0,30 e 0,30 – 0,40 m, e a soja na profundidade 0,20 – 0,30 m. Onde alguns estudos indicam que abaixo de 10% de macroporosidade, a aeração não é suficiente para todas as plantas se desenvolverem, tornando estes valores críticos para a maioria das culturas (DREWRY et al., 2008; KHATAAR et al., 2018).

A mecanização ou o tipo da vegetação pode gerar mudanças como redução da porosidade, aumento da densidade e resistência a penetração, sendo que o grau de compactação vai depender da intensidade que estas áreas são manejadas (REICHERT et al., 2014). Com isso o resultado observado para a teca, ocorre devido a essas áreas não apresentarem um tráfego intenso de máquinas, na teca se faz a roçada da vegetação espontânea apenas duas vezes ao ano.

O menor volume de microporos foi obtido na área de fragmento florestal e este não diferiu somente da soja na profundidade 0,0 -0,10, já na profundidade 0,10 - 0,20 m a soja apresentou maior quantidade de microporos, junto com a pastagem degradada e a teca (Tabela 3). Esse resultado se deve, segundo Cunha et al. (2011), ao fato de que o manejo sob o solo diminui o tamanho dos agregados, fazendo que haja redução na quantidade de macroporos e um aumento do microporos. Assim como o tráfego de animais e máquinas comprimem estes macroporos reduzindo seu tamanho. Comparando a microporosidade com a macroporosidade podemos notar que quando uma aumenta a outra diminui e que há aumento da microporosidade com o manejo do solo.

Em relação a densidade a profundidade 0,0-0,10 m as áreas com soja, teca e fragmento florestal apresentaram as menores médias, indicando que estes usos não aumentaram a densidade do solo, já as áreas com pastagem e pastagem degradada tiveram médias maiores (Tabela 3), o que condiz com a menor macroporosidade encontrada nestas áreas. Para as demais profundidades (0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m) não ocorreu diferença significativa entre os usos, indicando que a ação antrópica teve efeito significativo até 0,10 m de profundidade.

A maior densidade observada nos usos de pastagem degradada e pastagem, indicam a existência de compactação causada pelo pisoteio de animais. Baixos valores de matéria orgânica, pisoteio animal, vibrações de implementos e máquinas agrícolas podem aumentar a densidade do solo e diminuir sua porosidade, resultando na compactação do solo (CASTRO et al., 2012; SHAH et al., 2017). Conforme Rousseau et al. (2013), manejos com maior presença de animais apresentam maior compactação do solo, pois o tráfego dos mesmos na área causa a coesão das partículas do solo (BRITO et al., 2018), afetam principalmente a camada mais superficial (MARTÍNEZ & ZINCK, 2004).

Com a compressão dos macroporos pelo tráfego animal, os solos com pastagem e de pastagem degradada apresentam maior densidade isso pode afetar o desenvolvimento da planta, este efeito é maior nos primeiros 0,10 m, pois esta é a camada que mais sofre com a pressão causada pelo pisoteio dos animais. Colombo et al. (2017), também encontraram maior resistência a penetração e densidade do solo nos primeiros 0,10 m em área de pastagem degradada e atribui este resultado ao peso do animal que é distribuído somente pela área limitada pelo tamanho do seu casco, o que leva a maior compressão deste solo na camada mais superficial.

Em relação a soja a menor densidade nos primeiros 10 cm, está relacionada com o aumento da palhada, mesmo que há prática do plantio direto, seja recente nesta área, o aumento da palhada já começou a surtir efeito sobre a densidade. Segundo Garcia et al. (2013), em um estudo sobre como a rotação de culturas, sob plantio direto, afeta a matéria orgânica e atributos físicos do solo, também observaram mudanças como a menor densidade nos primeiros 0,10 m em solo sobre semeadura direta.

Outro fator que pode ter influenciado nesta redução é a maior quantidade de raízes devido ao cultivo da soja e da *Brachiaria ruziziensis* no período da entre safra. Reinert et al. (2008), em seu estudo relacionou a maior quantidade de raízes a menor densidade, devido ao fato, que com a morte e decomposição delas, ocorre um aumento da formação de bioporos. Desta forma a menor densidade encontrada na área da soja, está ligada ao aumento de poros, formados pelas sucessões de culturas, que favorece a quantidade de raízes.

Áreas de floresta apresentam menor densidade na primeira camada devido a maior quantidade de resíduo vegetal nesta camada. Castro et al. (2012), relatam que a menor densidade em solos de floresta pode ser associada a maior quantidade de matéria orgânica adicionada pela decomposição das folhas. Suárez et al., (2021), verificaram em seu estudo que as áreas de floresta, também apresentaram resultados melhores em relação a resistência a penetração, e eles atribuíram estes resultados ao fato de os solos serem menos perturbados.

De acordo com Silva et al. (2008) a densidade crítica de um solo depende de seus teores de argila e água. Segundo Easton & Bock (2016), em solos com texturas semelhantes, quanto menor a porosidade e maior a densidade, maior é o

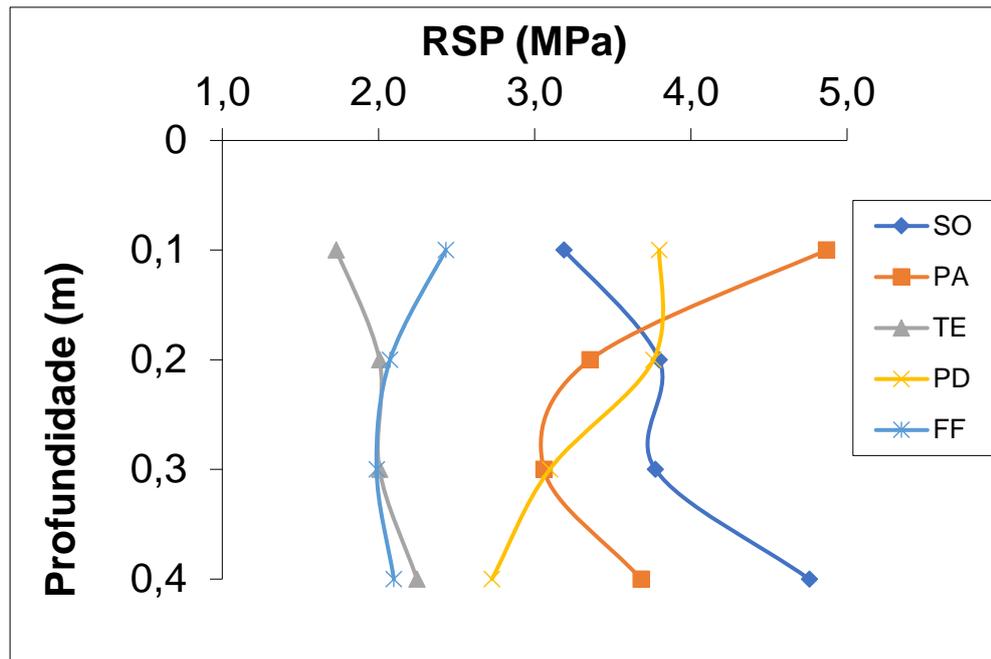
estado de compactação desse. Solo com menor densidade, apresentam maior compactação e maior resistência a penetração (TORRES et al., 2015).

Ao se avaliar a resistência à penetração do solo nas áreas, quando comparamos os usos na profundidade 0,0 – 0,10 m, a pastagem apresentou maior média seguida da teca e da soja, a pastagem degradada apresentou menor média nesta profundidade. Nos 0,10 – 0,20 m a soja e a teca apresentaram maior média em relação ao demais usos, todos eles aumentaram a resistência do solo nesta profundidade. Na profundidade 0,20 - 0,30 m a soja apresentou maior resistência em relação as demais e na profundidade 0,30 – 0,40 m a soja e a pastagem apresentam a maior resistência.

O uso com maior resistência, o que indica que estes solos estão mais compactados e apresentam resistência maior que 3,5 Mpa, o que indica que a compactação destes causa o impedimento do crescimento das raízes (Tabela 5). Neste sentido Couto et al. (2016) comentam que o grau de compactação de um solo pode ser medido através de sua resistência a penetração, onde valores de resistência até 2 MPa não restringem o crescimento das raízes, entre 2 e 3,5 Mpa, causam uma leve restrição e acima de 3,5 Mpa causam impedimento do crescimento das raízes.

A variação nas propriedades físicas em relação a ambientes antrópicos, indicam que as práticas culturais afetam a qualidade física do solo (AQUINO et al., 2015). Martínez & Zinck (2004), relatam em seu estudo que a área com uso de floresta apresentou resistência de 0,45 Mpa e a pastagem antiga teve 4,25 Mpa, ocorrendo uma diferença de 10 vezes em relação a esse uso e a condição natural.

Ao observarmos a Figura 2, onde se verifica os dados de resistência a penetração nos diferentes usos em função da profundidade, podemos notar que o fragmento de floresta e a teca praticamente não apresentam restrição ao crescimento das raízes em nenhuma profundidade, evidencia o comentado anteriormente que o cultivo da teca não alterou a resistência do solo a penetração. Segundo Valadão et al. (2017), solo sob cultivo de teca, a qual possui sistema radicular agressivo e bem desenvolvido é capaz de reduzir a resistência a penetração dele, principalmente em sistemas mais adensados.



**Figura 2.** Resistência a penetração do solo de acordo com os usos do solo e em diferentes profundidades, segundo a metodologia de Stolf (1991) (Autor, 2022). (Obs.: PD - pastagem degradada, PA -pastagem, SO – soja, TE - teca e FF- fragmento de floresta).

A área de pastagem degradada apresenta a maior resistência na profundidade de 0,20 m e a partir desta profundidade, se nota uma redução com o aumento da profundidade. A pastagem tem maior resistência nos primeiros 0,10 m e posteriormente se nota a redução com o aumento da profundidade, situação essa diferente observada no uso com soja, onde com o aumento da profundidade ocorre também o aumento da resistência (Figura 2).

A pastagem degradada, apresenta maior resistência nos primeiros 0,10 m, sendo que isso se deve ao impacto causado pela compressão do solo sob pisoteio animal. Couto et al. (2016), ao estudarem os atributos edáficos em agroflorestais, notaram que em áreas de pastagem há impedimento do crescimento das raízes. Este aumento é causado em sua maioria pelo pisoteio dos animais (PANTOJA et al., 2019), concordando com o verificado na presente pesquisa.

Desta forma, o tráfego dos animais causa aumento da resistência do solo a penetração, principalmente nos primeiros cm, sendo que o uso com pastagem degradada, pode ter valores menores comparados com o da pastagem, devido ao não uso para fins de pecuária alguns anos e a grande quantidade de vegetação espontânea e suas raízes encontradas neste uso. Lage (2016), relata que quando há uma alta resistência do solo a penetração, menor número de espécies teria a capacidade de colonizar estas áreas e mais lento este processo aconteceria.

Em relação ao cultivo de soja podemos notar que ele alterou a resistência do solo, principalmente em relação a profundidade a partir de 0,10 m. Este resultado pode ser devido adensamento das partículas do solo sobre compressão causada pelas práticas de preparo do solo. Estudos como o de Vogel & Fey (2016) e Valente et al. (2019), atribuíram o aumento da resistência do solo a penetração a partir dos 0,20 m às práticas mecanizadas realizadas na área de seu estudo, que exercem pressão sobre o solo.

Os valores de densidade aumentam e conseqüentemente, a porosidade total diminui, a microporosidade aumenta e a resistência a penetração aumenta, indicando assim maior compactação do solo. Com isso a implementação de manejos que favoreçam positivamente estas propriedades, como a semeadura direta e o uso de plantas, em segunda safra, de plantas que auxiliem a descompactação do solo, vão resultar na redução da compactação e no melhor desenvolvimento e crescimento das plantas, além de reduzirem a perda de solo por lixiviação ou erosão.

Como o tráfego dos animais foi um dos principais motivos relacionados a perda de qualidade dos atributos físicos do solo nas áreas que estão ou tiveram sob uso de pastagem, a adoção do pastejo rotacionado, observância da carga animal por área e a fertilização e correção destas áreas, poderiam ser práticas implementadas para a redução destes danos. Neste sentido, Colombo et al. (2017), comentam que a adequação do número de animais segundo a capacidade de pastejo, influência no aumento da manutenção das propriedades físicas do solo.

## Conclusões

Todos os usos influenciaram a qualidade física do solo. A porosidade total não foi alterada pelos usos do solo, na profundidade de 0,0 - 0,10 m. A macro porosidade reduziu com os manejos implementados sob o solo, sendo que a pastagem e a pastagem degradada foram os usos com menor número de macroporos.

A microporosidade aumenta com os usos do solo, sendo que este aumento o refletiu na diminuição de macroporos. Com o aumento dos microporos, ocorreu também o aumento da densidade, principalmente nas camadas 0,10 m da pastagem e da pastagem degradada.

A resistência do solo a penetração com o uso da teca foi semelhante ao fragmento florestal; a pastagem e a pastagem degradada apresentam maior resistência nos primeiros centímetros do solo e está reduz com profundidade, efeito contrário foi observado no uso com a soja, onde com aumento da profundidade ocorreu maior resistência.

As pastagens reduziram atributos físicos importantes para o desenvolvimento das plantas, reduzindo sua qualidade principalmente na primeira camadas. Já o cultivo da soja em sucessão com o *Urochloa ruzizensis*, melhorou a qualidade do solo nos primeiro 0,10 m e a prejudicou nas camadas mais profundas. E a teca manteve mais características físicas do solo, não prejudicado tanto sua qualidade.

## Referências Bibliográficas

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Piracicaba – SP. v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://Doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. pdf.

AQUINO, R. E. D.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES, J.; OLIVEIRA, I. A. D.; TEIXEIRA, D. D. B.; CUNHA, J. M. D. Use of scaled semi variograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 21-30, 2015. Disponível em: DOI: 10.1590/01000683rbcs20150524.

ARAÚJO, E. A. D.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. D. S.; SILVA, I. R. D.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000100012>.

BRITO, W. B. M.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M.; FRANCISCON, U.; SOARES, M. D. R. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon **Soil and Tillage Research**, v. 182, p. 103-111, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.008>.

CASTRO, M. A.; CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; PAIVA, V. B.; LEITE, D. A. P.; MAGALHÃES, F. F. 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. 19, 2012.

CASTRO, W. M. Soybean's Footprint in Amazônia: Past and Current Trends. **Revista GeoAmazônia**. Belém – PA. v. 6, n. 11, p. 4-27, 2018. Disponível em: DOI da Revista GeoAmazônia: 10.17551/2358-1778/geoAmazônia.

COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; DE OLIVEIRA LIMA, S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Revista Campo Digital**, v. 12, n. 1, 2017. Disponível em: <http://periodicos.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital/article/view/2068>.

COUTO, W. H. D.; ANJOS, L. H. C. D.; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G. Atributos Edáficos E Resistência A Penetração Em Áreas De Sistemas Agroflorestais No Sudoeste Amazônico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 811-823, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509824210>.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: I-Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200028>.

DIAS, F. P. M.; DE CASTRO, J. R.; NUNES, F. DE J.; NONATO, A. C. R.; BOTELHO JÚNIOR, F.; FÉ, J. A. R.; SANTOS, N. D. NÓBREGA, J. C. A. N. A. Eficiência de malhas amostrais na caracterização da variabilidade espacial de atributos físicos do solo. **Anuário do Instituto de Geociências**. Goiânia – GO. v. 40, n. 2, p. 31-36, 2017. Disponível em: DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_2\\_31\\_36](http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_31_36).

DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing—a review. **Soil Research**, v. 46, n. 3, p. 237-256, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR07125>.

EASTON, Z. M.; BOCK, E. **Soil and Soil Water Relationships**. College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Tech, Virginia University, p.194. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - SOLO – EMBRAPA-SOLO, G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: ed. 3. EMBRAPA Solo, 2017. p. 573.

EMBRAPA. **Argissolos. Definição e características gerais**. Zaroni, M. J.; Santos, H. G. dos. Brasília: Agência Embrapa de Informação e Tecnologia; Brasília, 2006. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_7\\_2212200611538](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538).

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: JONG van LIER, Q., ed. Física do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2016. p. 241-281.

FROZZI, J. C.; DA CUNHA, J. M.; CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; BRITO, W. B. M.; FRACISCON, U.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. DE BRITO FILHO, E. G. Physical attributes, and organic carbon in soils under natural and anthropogenic environments in the South Amazon region. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 11, p. 1-15, 2020. Disponível em: [doi.org/10.1007/s12665-020-08948-x](https://doi.org/10.1007/s12665-020-08948-x).

GARCIA, RA, LI, Y.; ROSOLEM, CA. Soil organic matter and physical attributes affected by crop rotation under no-till. **Jornal da Sociedade de Ciência do Solo da América**, v. 77, n. 5, pág. 1724-1731, 2013. Disponível em: [doi:10.2136/sssaj2012.0310](https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0310).

GOMES, R. P.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C.; CAZETTA, J. O.; COELHO, A. P.; & SOUZA, E. D. D. Changes in the physical properties of an Amazonian Inceptisol induced by tractor traffic. **Chilean journal of agricultural research**, v. 79, n. 1, p. 103-113, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000100103>.

KHATAAR, M.; MOHAMMADI, M. H.; SHABANI, F. Soil salinity and matric potential interaction on water use, water use efficiency and yield response factor of bean and wheat. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018. Disponível em: DOI:10.1038/s41598-018-20968-z.

LAGE, M. R. **Caracterização de áreas degradadas pela extração de cascalho:** Substrato, estrutura horizontal e florística da regeneração natural. Orientador: Danielle Piuzana Mucida. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina -MG, 2016.

MARTÍNEZ, L. J.; ZINCK, J. A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture áreas of Colombian Amazônia. **Soil and Tillage Research**, v. 75, n. 1, p. 3-18, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2002.12.001>.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; SILVEIRA, V. H. D.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1185-1195, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500008>.

MORAES, M. T.; SILVA, V. R.; ZWIRTES, A. L. Use of Penetrometers in Agriculture: A Review. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal -SP, v. 34, n. 1, p. 179-193, jan./fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000100019>.

MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 389-400, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200008>.

OLIVEIRA, I. A. D.; MARQUES JUNIOR, J.; COSTA CAMPOS, M. C.; AQUINO, R. E. D.; FREITAS, L. D.; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M. D. Spatial variability and sampling density of magnetic susceptibility and soil properties in ultisols of the Manicoré region, AM, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 668-681, 2015. Disponível em: [doi.org/10.1590/01000683rbcS20140496](https://doi.org/10.1590/01000683rbcS20140496).

PANTOJA, J. C. M.; CAMPOS, M. C. C.; LIMA, A. F. L. D.; CUNHA, J. M. D.; SIMÕES, E. L.; OLIVEIRA, I. A. D.; SILVA, L. S. Multivariate analysis in the evaluation of soil attributes in áreas under different uses in the region of Humaitá, AM. **Revista Ambiente Água**, v. 14, 2019. Disponível em: [doi:10.4136/ambi-água.2342](https://doi.org/10.4136/ambi-água.2342).

PASSOS, I.; MOTA, M. F. C.; DA SILVA, D. F.; SILVEIRA, T. C.; DE SOUZA, V. B.; DE OLIVEIRA PINTO, V.; KONDO, M. K. Indicadores físicos e químicos de qualidade de um cambissolo em diferentes usos. **Unisanta BioScience**, v. 4, n. 4, p. 202-220, 2016.

PEGORARO, T.; SAMPAIO, S. C.; TAVARES, M. H. F.; COELHO, S. R. M.; CARNEIRO, L. J.; PALMA, D.; GUERRA, J. B. Use of swine wastewater in oilseed radish crop: agronomic and environmental aspects **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, pág. 2931-2944, 2014. Disponível em: DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n6p2931.

POLANÍA-HINCAPIÉ, K. L.; OLAYA-MONTES, A.; CHERUBIN, M. R.; HERRERA-VALENCIA, W.; ORTIZ-MOREA, F. A.; SILVA-OLAYA, A.M. Soil physical quality

responses to silvopastoral implementation in Colombian Amazon. **Geoderma**, v. 386, p. 114900, 2021. Disponível em: [doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114900](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114900).

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RABECINI, J. A. F. **Levantamento dos solos do município de Alta Floresta – MT**. Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho. 2009. 64 f. Monografia (Graduação) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta - MT, 2009.

RADFORD, B.J.; YULE, D.F.; BRAUNACK, M.; PLAYFORD, C. Effects of grazing sorghum stubble on soil physical properties and subsequent crop performance. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.3, n. 4, p.734–742. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2008.734.742>.

RAMOS, H. M. M.; DUARTE, J. F. B.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; OLIVEIRA, I. M. C.; FEITOSA, D. DE L. Atributos Físico-Hídricos De Um Neossolo Quartzarênico Sob Diferentes Usos. **REVISTA BRASILEIRA DE AGRICULTURA IRRIGADA-RBAI**, V. 14, N. 2, 2020. Disponível em: DOI:10.7127/rbai.v14n101147.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade a granel para o crescimento normal das raízes de culturas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>

REICHERT, J. M.; BERVALD, C. M. P.; RODRIGUES, M. F.; KATO, O. R.; REINERT, D. J. Mechanized land preparation in eastern Amazon in fire-free forest-based fallow systems as alternatives to slash-and-burn practices: hydraulic and mechanical soil properties. **Agriculture, ecosystems environment**, v. 192, p. 47-60, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.046>.

RIOS, M. F. N.; DOS SANTOS, P. S. B.; SILVA, M. R.; DE CARVALHO, S. R. R.; REIS, A. R. S. Variations in the physical properties of teak (*Tectona grandis* Lf) planted in the brazilian amazon. **Biofix Scientific Journal**, v. 6, n. 1, p. 01-07, 2021. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v6i1.73269>.

ROUSSEAU, L.; FONTE, S. J.; TÉLLEZ, O.; VAN DER HOEK, R.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Indicadores ecológicos**, v. 27, p. 71-82, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.020>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO-FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**, 5ª ed. Embrapa Solo, Brasília. 2018.

SATTOLO, T. M. S; PEREIRA, L. M.; OTTO, R.; FRANCISCO, E.; DUARTE, A. P.; KAPPES, C.; PROCHNOW, L. I.; CHERUBIN, M. R. Effects of land use, tillage management, and crop diversification on soil physical quality in Cerrado agricultural

systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 85, n. 5, p. 1799-1813, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/saj2.20306>.

SHAH, A. N.; TANVEER, M.; SHAHZAD, B.; YANG, G.; FAHAD, S.; ALI, S.; SOULIYANONH, B. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. **Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição**, v. 24, n. 11, pág. 10056-10067, 2017. Disponível em: DOI 10.1007/s11356-017-8421-y.

SILVA, Á. P. D.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1-10, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100001>.

SILVA, É. A.; BENEVENUTE, P. A. N.; MELO, L. D. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos das curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e "índice S". **Tecnologia Ciência Agropecuária**, v. 11, n. 4, p. 49-54, 2017.

SOUZA, F. G.; CAMPOS, M. C. C.; BRITO FILHO, E. G.; DA CUNHA, J. M.; LIMA, A. F. L.; SALES, M. C. G.; SANTOS, L. A. C. Physical attributes of soil under amazon forest conversion for different crop systems in southern Amazonas, Brazil. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 99, n. 4, p. 563-574, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0070>.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2. ed. Oxford university press, 2008. 344 p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas -SP. v. 1, p. 229-235, 1991.

SUÁREZ, L. R.; SALAZAR, J. C. S.; CASANOVES, F.; BIENG, M. A. N. Cacao agroforestry systems improve soil fertility: Comparison of soil properties between forest, cacao agroforestry systems, and pasture in the Colombian Amazon. **Agricultura, Ecosistemas e Meio Ambiente**, v. 314, p. 107349, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107349>.

TEIXEIRA, IE. E. R. **ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO SOB AGROECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL**. Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho. 2018. 58 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos,) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Alta Floresta - MT, 2018.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. D.; SOUZA, Z. M. D. Physical properties of an oxisol with cover crops in no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428-437, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140597>.

VALENTE, G. F.; DA SILVA, J. N.; DA SILVA PINTO, D. R.; GALVÃO, J. R. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 140-145, 2019. Disponível em: doi: 10.18378/rvads.v14i1.5892.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A.; SILVA, G. J.. Atributos físicos e matéria orgânica de um Latossolo sob diferentes manejos. **Revista Cultura Agronômica**, v. 26, n. 3, p. 237-250, 2017. Disponível em: <https://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2446-8355.2017v26n3p237-250/1811#>.

VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 1, p. 21-26, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v3i1.812>.

### **3.2. CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Artigo submetido no periódico "Revista Ciências Rural"

**Resumo** – (Atributos químicos e biológicos do solo sob diferentes usos na Amazônia meridional). Os solos da Amazônia, devido ao alto grau de intemperização, apresentam elevada acidez e baixa fertilidade. A substituição da floresta por diferentes usos altera suas características químicas e biológicas. Com isso o objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças promovidas nos atributos biológicos e químicos do solo em função de diferentes sistemas de uso na região da Amazônia meridional. Foram avaliados os seguintes usos do solo: lavoura (soja), teca, pastagem, fragmento de floresta e área de pastagem degradada. Foram coletadas amostras na profundidade de 0,0-0,10 m para as análises biológicas e de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, para as análises químicas. Se determinou os seguintes indicadores biológicos: respiração basal, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e fosfatase ácida. Atributos químicos avaliados foram: pH em CaCl<sub>2</sub>, P, potássio trocável, cálcio trocável, magnésio trocável, alumínio trocável, hidrogênio + alumínio, matéria orgânica, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste de t. Os usos provocaram alterações em ambos os atributos, onde a correção da acidez com calagem, acúmulo de material vegetal, aumentaram a qualidade química na soja, mas também diminuíram a qualidade biológica, a exportação de nutriente e o acúmulo do mesmo na biomassa da vegetação dos demais usos reduziram características químicas importantes, diminuindo sua qualidade química, mas nestas mesmas áreas os microrganismos mantiveram sua dinâmica não apresentando respostas de estresse.

Palavras-chave: Conservação, Atividade Microbiana, Manejo do solo, Acidez do solo.

**Abstract** – (Chemical and biological attributes of the soil under different uses in the southern Amazon). The soils of the Amazon, due to the high degree of weathering, have high acidity and low fertility. The replacement of the forest by different uses alters its chemical and biological characteristics. Thus, the objective of this work was to evaluate the changes promoted in the biological and chemical attributes of the soil in function of different systems of use in the region of the southern Amazon. The following land uses were evaluated: crop (soybean), teak, pasture, forest fragment and degraded pasture area. Samples were collected at a depth of 0.0-0.10 m for biological analysis and 0.0-0.10 and 0.10-0.20 m for chemical analysis. The following biological indicators were determined: basal respiration, microbial biomass carbon, metabolic quotient, and acid phosphatase. Chemical attributes evaluated were pH in CaCl<sub>2</sub>, P, exchangeable potassium, exchangeable calcium, exchangeable magnesium, exchangeable aluminum, hydrogen + aluminum, organic matter, base sum, cation exchange capacity and base saturation. The data obtained were submitted to analysis of variance and, when significant, the means were compared by the t test. The uses caused changes in both attributes, where the correction of acidity with liming, accumulation of plant material, increased chemical quality in soybeans, but also decreased biological quality, nutrient export and its accumulation in the vegetation biomass of the other uses reduced important chemical characteristics, decreasing its chemical quality, but in these same areas the microorganisms maintained their dynamics without showing stress responses.

Keywords: Conservation, Microbial Activity, Soil management, Soil acidity.

## Introdução

A busca por sistemas mais sustentáveis que produzam em quantidade e qualidade, sem prejudicar o potencial produtivo do solo, é uma realidade dos dias atuais. O uso inadequado dos solos Amazônicos que são expressivamente intemperizados e com baixa fertilidade e alta acidez (PINHEIRO et al., 2017), fazem com que práticas como a substituição das florestas por áreas produtivas afetem demasiadamente sua qualidade.

Um solo com boa qualidade tem a capacidade de absorver, armazenar e reciclar água, ar e nutrientes (SCHULTE et al., 2014). Esta capacidade vai depender dos fatores de formação e dos manejos que este sofreu. Quando mal manejados eles tendem a perder expressivamente suas propriedades físicas, químicas e biológicas (GUEDES et al., 2012). Para se avaliar como os manejos afetam a qualidade dos solos são estudados os indicadores de cada atributo.

Indicadores biológicos do solo são representados pela parte viva, onde a biomassa microbiana representa fração ativa da matéria orgânica (LIANG et al., 2012). Estes indicadores são extremamente sensíveis as alterações do ecossistema (FRANCO et al. 2019, CARVALHO et al., 2018). No solo são responsáveis por vários processos, como a disponibilização de nutrientes para as plantas através de sua ciclagem (ZATORRE, 2008). Também como outros indicadores da atividade microbiana do solo, geralmente utilizados, estão o carbono da biomassa microbiana, a taxa de respiração, o quociente metabólico e a atividade enzimática (MAIA et al., 2012; ADETUNJI et al., 2017). Esses indicadores, além de serem úteis para o monitoramento e avaliar a qualidade biológica do solo, podem orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas.

As propriedades químicas, também são utilizadas para se avaliar os impactos dos manejos sobre o solo e a sua qualidade. As propriedades químicas podem ser influenciadas pela própria vegetação ou pela substituição desta por outras espécies (LAMMEL et al., 2015). Assim como a própria natureza química do solo vai influenciar em sua qualidade. Os indicadores químicos de um solo são: matéria orgânica, pH, disponibilidade de nutrientes, presença de elementos tóxicos entre outros (BÜNEMANN et al., 2018). As perdas das propriedades químicas do solo, podem ser influenciadas pela lixiviação, erosão, volatilização e exportação de nutrientes pelas culturas (MELO et al., 2017).

Neste sentido, é de grande importância a busca por práticas sustentáveis de manejo, que visem a manutenção e a recuperação dos solos. Assim, se ter a compreensão de como estas impactam a qualidade do solo ganha relevância para se planejar ações visando manter o solo produtivo e com qualidade. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças promovidas nos atributos biológicos e químicos do solo em função de diferentes sistemas de uso na região da Amazônia meridional.

## Material e Métodos

As áreas experimentais ficam localizadas na Fazenda Apiacás no município de Paranaíta - MT (09° 54' 05" O e 56° 49' 55" S) e na Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta – MT (09° 59' 02" O e 56° 53' 15" S), com altitude média de 222 m. As duas propriedades são vizinhas sendo separadas apenas pela divisa dos municípios, a rodovia MT- 208 (Figura 01).

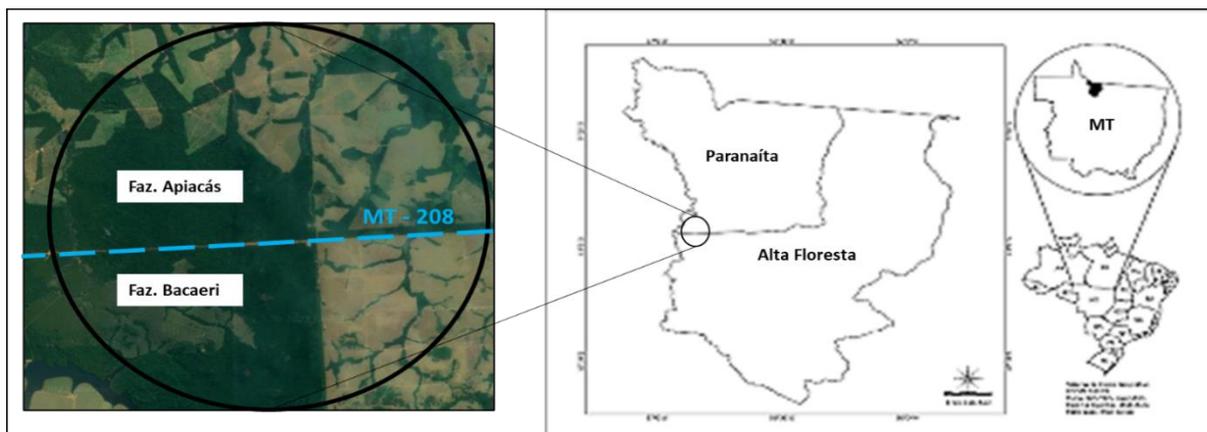


Figura 1. Localização das áreas experimentais. (Autor, 2022).

A região apresenta segundo a classificação de Köppen para o Brasil, clima tipo Am, com duas estações bem definidas, verão chuvoso e inverno seco, temperatura média anual em torno de 26°C, e precipitação média anual na faixa de 2800 a 3100 mm (ALVARES et al., 2014). O solo de todas as áreas do estudo foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (RABECINI, 2009). O percentual de areia, silte e argila o solo de todas as áreas (Tabela 1), classificou texturalmente o solo dos diferentes usos, como franco argiloso arenoso.

**Tabela 1.** Médias texturais das áreas estudadas (pastagem degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF)) - Alta Floresta - MT, 2022.

Área	Areia Silte Argila		
	(% )		
PD	62	12	26
PA	64	9	27
SO	68	7	25
TE	59	10	31
FF	68	11	21

Os atributos químicos e biológico do solo, como indicadores de qualidade para diferentes manejos foram determinados nas seguintes áreas: pastagem

degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF). Na Tabela 2, encontra-se o histórico e descrição das áreas experimentais. As coletas para as análises químicas nas profundidades 0,0-0,10 e 0,10 a 0,20 m ocorreram em dezembro de 2020 e as biológicas na profundidade 0,0-0,10 m, em novembro de 2021. Tendo quatro repetições cada.

**Tabela 2.** Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas - Alta Floresta - MT, 2021.

Sistema de uso e manejo do solo	Descrição
Pastagem degradada (PD),	Abertura da área no ano de 2001, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem da área foi a <i>Urochloa brizantha</i> , destinada para consumo animal. Somente as práticas de roçagem e gradagem foram realizadas. Apresenta muitas plantas invasoras.
Pastagem (PA)	A área foi aberta no ano de 1996, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem da área foi a <i>Panicum maximum</i> , onde ela é cultivada até os dias atuais para consumo animal. Somente as práticas de roçagem e gradagem foram realizadas.
Soja (SO)	A área foi aberta no ano de 1996, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem foi a <i>Panicum maximum</i> , para consumo animal. No ano de 2016 se implementou o cultivo da soja, onde se fez a correção e adubação recomendada, nos dois primeiros anos a calagem foi regular, onde após o quarto ano a calagem é intercalada e realizada a cada 2 anos conforme a análise do solo e a recomendação para elevação da saturação por bases a 80%. No período da entressafra se faz o plantio da <i>Urochloa ruziziensis</i> . O cultivo da soja desde sua implantação é realizado em sistema de semeadura direta.
Teca (TE)	A área foi aberta em 2002, onde se fez o corte e o enleiramento do material e se implantou a floresta de teca, sem nenhuma correção ou adubação, duas vezes ao ano é feita a roçagem da vegetação espontânea.
Fragmento de floresta (FF)	Área remanescente de floresta nativa (Floresta ombrófila densa) utilizada como testemunha. (Área de referência)

As análises químicas e biológicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar (LASAF) e no Laboratório de Fitotecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta - MT.

Para as análises biológicas, utilizou-se a metodologia apresentada por Silva et al. (2007 a, b) que descreve os métodos de Jenkinson & Powlson (1976) e Vance et al. (1987) para a determinação da RBS (Respiração basal do solo), qCO<sub>2</sub> (quociente metabólico do solo) e BMS-C (Carbono da biomassa microbiana). Para a fosfatas ácida (FA) usou-se o método de Tabatabai (1994). Visando manter as amostras em condições mais próximas da quais foram coletadas no campo, as amostras foram mantidas em caixa térmica com gelo e encaminhadas, no prazo máximo de 24 horas, para o laboratório. As análises foram realizadas em triplicata, para maior confiabilidade dos dados.

#### a) RBS

Com parte das amostras que ficaram armazenadas em geladeira, foram preparadas 3 subamostras de 50 g, acondicionadas em frasco de 100 mL, sendo uma para determinar a umidade, e duas para a respiração basal do solo, onde estas foram armazenadas em um frasco hermeticamente fechado junto com um recipiente de 100 mL contendo 10 mL de NaOH 1M, sendo que para os recipientes que serviram de solução controle foi colocado somente o NaOH 1M. Todos os recipientes foram armazenados em local com temperatura de 25 a 28 °C, com ausência de luz, por 9 dias. Após este período foi quantificado o CO<sub>2</sub> produzido, acrescentando 10 mL de BaCl<sub>2</sub> para precipitação do CO<sub>2</sub> e posterior titulação até o ponto de viragem com o uso de HCl 0,5 M, sendo o indicador usado foi fenolftaleína. E para os cálculos se utilizou a seguinte equação:

$$\text{RBS}(\text{mg de C} - \text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}) = \frac{(V_b - V_a) * M * 6 * 1000}{\frac{P_s}{T}} \quad (1)$$

Em que:

RBS (mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) – Carbono da respiração basal do solo;

V<sub>b</sub> (mL) - Volume de HCl 0,5 M para titulação controle;

V<sub>a</sub> (mL) -Volume de HCl 0,5 M para titulação amostra;

M – Molaridade exata do HCl;

P<sub>s</sub> (g) – massa do solo seco;

T (h) – tempo de incubação.

#### b) BMS-C

Outra parte da amostra armazenada em geladeira, foi dividida em sete subamostras de 20g, onde uma foi utilizada para determinar a umidade, 3 foram fumigadas pelo método do clorofórmio e 3 amostras não foram fumigadas. As amostras fumigadas ou não, foram acondicionadas em recipientes de 100 mL, onde se acrescentou 50 mL de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, agitou-se por 30 min, e deixou decantar por mais 30 min, se filtrou o sobrenadante e então se determinou o carbono microbiano de todas as amostras. Com uma alíquota de 15 mL da solução, se fez a digestão da mesma com 2 mL de dicromato de potássio e 15mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, para a extração posteriormente se acrescentou 15 mL de ácido o-fosfórico e para a diluição 70 mL de H<sub>2</sub>O, para titulação se usou o indicador difenilamina e o sulfato ferroso amoniacal, através de titulação e cálculo de teor de carbono e posteriormente do carbono da biomassa microbiana do solo, segundo as equações a seguir (2,3):

$$C(\text{mg de C kg}^{-1}\text{ solo}) = \frac{(V_b - V_a) * M * 0,003 * V_1 * 10^6}{P_s * V_2} \quad (2)$$

Em que:

C (mg de C kg<sup>-1</sup> solo) – Teor de carbono nos extratos

V<sub>b</sub> (mL) - Volume de HCl 0,5 M para titulação controle;

V<sub>a</sub> (mL) -Volume de HCl 0,5 M para titulação amostra;

M – Molaridade exata do HCl;

P<sub>s</sub> (g) – massa do solo seco;

V<sub>1</sub> (mL) – Volume do extrator (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) utilizado;

V<sub>2</sub> (mL) – Alíquota pipetada do extrato para a titulação;

$$BMS - C(\text{mg de C microbiano kg}^{-1}\text{ solo}) = FC * k_c^{-1} \quad (3)$$

Em que:

BMS-C (mg de C microbiano kg<sup>-1</sup> solo) - Carbono da biomassa microbiana do solo;

FC (mg de C kg<sup>-1</sup> solo) – fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg kg<sup>-1</sup>) das amostras fumigadas e não fumigadas;

k<sub>c</sub> -fator de correção;

c) qCO<sub>2</sub>

O quociente metabólico foi calculado através da relação entre a RBS e BMS-C. segunda a expressão a seguir:

$$q\text{CO}_2 \text{ (mg de C - CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{BMS - C h}^{-1}) = \frac{\text{RBS}}{\text{BMS - C}} \text{ (4)}$$

Em que:

BMS-C (mg de C microbiano kg<sup>-1</sup> solo) – Carbono da biomassa microbiana do solo;

RBS (mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo<sup>-1</sup>) – Carbono da respiração basal do solo;

#### d) Fosfatase ácida

Para se conhecer a atividade da fosfatase ácida nos solos estudados, foi determinada a concentração de p-nitrofenol da hidrólise enzimática de p-nitrofenil fosfato. Pesou-se 1 g da amostra de solo e acrescentou-se 0,2 ml de tolueno, 4 mL de solução tampão (pH 6,5), 1 mL de p-nitrofenil fosfato 0,05 M com vigorosa homogeneização. Posteriormente as amostras foram incubadas pelo período de 60 minutos, em temperatura constante de 37°C. Logo após, adicionou 0,1 mL de CaCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> e 0,4 mL de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> e agitou (vórtex), para colorimetria. Em seguida, centrifugou-se as amostras a 8000 rpm por 20 minutos e filtrou as mesmas, e então a leitura foi realizada em espectrofotômetro UV a 410 nm. A concentração de p-nitrofenol presente em cada amostra foi determinada com base na curva padrão (0; 10; 20; 30; 40 e 50 µg/mL de p-nitrofenol). Os resultados obtidos da atividade das enzimas foram expressos em µg g<sup>-1</sup> p-nitrofenol h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> solo úmido.

Os atributos químicos avaliados foram: pH em CaCl<sub>2</sub> (pH CaCl<sub>2</sub>), P pelo método de Mehlich 1 (P<sub>Mehlich 1</sub>), potássio trocável (K<sup>+</sup>), cálcio trocável (Ca<sup>+2</sup>), magnésio trocável (Mg<sup>+2</sup>), alumínio trocável (Al<sup>+3</sup>), hidrogênio mais alumínio (H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>), matéria orgânica (MO). Também se calculou a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e o percentual de saturação de bases (V%). Todas as determinações foram realizadas conforme a metodologia recomendada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2009).

Os dados obtidos para os atributos químicos e biológicos foram submetidos aos testes de normalidade usando o método de Kolmogorov-Smirnov, a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Lavene, e posteriormente submetidos a análise de variância e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste t (5 % de probabilidade) com o auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

## Resultados e Discussão

A atividade da biomassa microbiana, é avaliada pela liberação de C-CO<sub>2</sub>, onde se tem que a quantidade de carbono liberado é um indicativo do carbono lábil, e com base na relação entre respiração e a biomassa microbiana de C, é possível calcular o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), o qual permite avaliar o estado metabólico dos microrganismos do solo (SILVA et al., 2007a). Para os atributos biológicos, todas as variáveis apresentaram diferença significativa entre os usos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Respiração basal do solo (RBS), Carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C), quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>) e a fosfatase ácida do solo (FA), em função de diferentes usos do solo - Alta Floresta - MT, 2022.

	<b>RBS</b>	<b>BMS-C</b>	<b>qCO<sub>2</sub></b>	<b>FA</b>
	mg de C- CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>	mg C microbiano kg <sup>-1</sup> solo	mgC-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> BMS- C h <sup>-1</sup>	p-nitrofenol (µg g <sup>-1</sup> de solo úmido h <sup>-1</sup> )
<b>Usos</b>				
Pastagem degradada,	0,55 cd	642,09 a	0,93 bc	3615 a
Pastagem	0,71 ab	528,22 a	1,33 b	3324 a
Soja	0,77 a	204,95 b	3,75 a	1325 b
Teca	0,34 d	461,96 a	0,75 c	2633 a
Fragmento de floresta	0,41 bc	449,60 a	0,93 bc	2907 a
Resíduo	0,01*	19010*	0,10*	526021*

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t, <sup>ns</sup> não significativo. PD - pastagem degradada, PA - pastagem, SO – soja, TE - teca e FF- fragmento de floresta.

Para a respiração basal do solo (RBS) as áreas de pastagem e soja apresentaram os maiores resultados, diferindo dos demais usos, indicando que nestas áreas ocorre uma maior respiração dos microrganismos (Tabela 3). Zhang et al. (2016), em seu estudo também observaram aumento da respiração basal do solo de superfície em áreas mais cultivadas em relação a floresta.

Beldini et al. (2018), relaciona em seu estudo a maior taxa de respiração em área de cultivo de soja à correção do pH, o que pode estimular as atividades de bactérias nitrificantes levando consequentemente o aumento da respiração. Hanisch (2018), relata que o aumento do pH resulta no aumento da atividade microbiana do solo. Carvalho et al. (2018), relatam que atividade do microrganismo está correlacionada com pH, Ca, Mg, Al, saturação por bases. Desta forma como a área da soja, é a única que recebe adubação e correção de acidez, a maior respiração esta ligada ao aumento do pH e ao fornecimento de Ca, Mg e saturação por bases e a redução de Al promovida por estas práticas.

Comparados os resultados obtidos com os do estudo de Lopes et al. (2013), onde ele indica que solos com matéria orgânica acima de  $18,5 \text{ g dm}^{-3}$  e respiração basal com valores inferiores ou iguais a  $1,6 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$  é considerada baixa, e, o carbono da biomassa é considerado baixo se apresentarem médias menores ou igual a  $205 \text{ mg C microbiano kg}^{-1} \text{ solo}$  e a fosfatase ácida é considerada adequada acima de  $1150 \text{ p-nitrofenol } (\mu\text{g g}^{-1} \text{ de solo úmido h}^{-1})$ . Desta forma considerando que a matéria orgânica encontrada neste estudo é superior a este valor (Tabela 4), podemos considerar que a respiração basal e o carbono microbiano, estão baixos, sendo que isto pode estar relacionado com a época da coleta, onde se tinha um período com pouca precipitação, já os valores de fosfatase ácida podem ser considerados adequados, já que estão maiores que o indicado no mesmo estudo.

Silva et al. (2014), ao avaliar cultivos em solos amazônicos, obteve valores similares de respiração basal, sendo para pastagem  $0,79 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$  e para floresta  $0,42 \text{ mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$  e, neste mesmo estudo os autores relatam que quanto maior a respiração em relação ao carbono da biomassa, ocorre maior perda dele que a retenção no solo, isso vai refletir em um quociente metabólico alto, indicando que pode estar ocorrendo um estresse da microbiota do solo.

A respiração basal do solo elevada por um curto período, pode indicar a liberação de nutrientes para as plantas, mas quando esta, se mantém alta, resulta na perda de C orgânico do solo para a atmosfera (OLIVEIRA et al., 2015). Se observarmos a Tabela 3, podemos notar que a área da soja apresenta a menor quantidade de carbono da biomassa microbiana, o que pode nos levar a entender que esta área esteja perdendo carbono para atmosfera.

Mesmo a pastagem apresentando médias semelhante a soja, esta não difere das médias encontradas no fragmento florestal (Tabela 3), o que indica que este uso apresentou aumento da biomassa microbiana, possivelmente os microrganismos neste uso sofreram adaptações as condições do solo desta área. Hanisch (2018), notou que a maior carga animal e período de utilização de uma área, contribuem para o aumento da biomassa microbiana, e que, a menor respiração e o aumento do carbono acumulado, indicam que a biomassa microbiana se tornou mais eficiente na utilização dos recursos ecossistêmicos.

A mudança na fertilidade, no pH, na MO, na umidade, na densidade e aeração do solo influenciam na diversidade e quantidade da biomassa microbiana do

solo (CERQUEIRA et al., 2018). A menor respiração encontrada na teca e na pastagem degradada podem estar ligadas aos atributos físicos destes solos, a redução da quantidade de macroporos afetam a eficiência das trocas gasosas no solo, o que poderia interferir na respiração dos microrganismos.

O Carbono da biomassa microbiana é a forma inicial do carbono que será transformado no solo, é utilizado como energia armazenada para processos microbianos (SILVA et al., 2007b). Valores similares de BMS-C como o da soja e o da floresta, também foram verificados por Souza et al. (2012), em um cultivo de cana de açúcar manejado com queima (162.70 mg C microbiano kg<sup>-1</sup> solo) e em floresta (523,79 mg C microbiano kg<sup>-1</sup> solo).

A área com soja foi a que apresentou o maior quociente metabólico. Sendo superior as demais (Tabela 3). Segundo Luna et al. (2008), maiores médias de qCO<sub>2</sub> é resultante do consumo elevado do próprio carbono pela microbiota do solo, fato que justifica o resultado obtido no presente trabalho. No mesmo sentido, segundo Nogueira & Hungria (2013), valores elevados de qCO<sub>2</sub> representam maior estresse da comunidade microbiana, por indicar menor eficiência metabólica, indicando que os microrganismos estão com uma atividade maior para manter a biomassa microbiana. Reforçando assim que o cultivo da soja afeta a qualidade biológica do solo, devido a adubação, correção do pH, fazendo que os microrganismos, estejam consumindo mais carbono do que conseguem armazenar, levando o mesmo a uma situação de estresse.

Se tem, também as observações de Carvalho et al. (2018) os quais trabalhando com diferentes usos do solo, entre eles, pastagem e área de lavoura convencional com arroz, observaram menor atividade microbiana nessas áreas com calagem recente. Evald et al. (2021), relacionaram o aumento da atividade com a maior quantidade de carbono orgânico do solo.

A não diferença com relação a carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico entre o fragmento florestal e as áreas com pastagem, pastagem degradada, e teca indica que estas áreas não estão sobre estresse biológico, o que pode ser o fato que as mesmas não sofreram mudança de uso, correção e adubação ao longo dos anos de exploração. Autores como Assis et al. (2019), relataram maior atividade microbiana em áreas de pastagens em relação a vegetação nativa, e comentam que áreas de pastagem podem apresentar maior taxas de respiração basal

do solo, devido a presença de excrementos de animais que promovem o aumento da biomassa.

Já em relação à média encontrada na teca, Oliveira et al. (2015) em seu estudo observou que uma área de teca, apresentou uma atividade microbiana sem estresse e isso ocorre devido às condições edafoclimáticas, como temperatura, pH, teores de O<sub>2</sub> e de nutriente do solo, e que características como a qualidade do material vegetal, também podem influenciar na atividade microbiana do solo. Fato que também acontece neste estudo.

Os microrganismos no solo exercem papel fundamental, na ciclagem de nutrientes no solo, as enzimas são grandes responsáveis por tornar isso possível. As enzimas podem ter origem principalmente microbiana, mas também animal e vegetal. Elas catalisam reações e tornam disponíveis vários nutrientes no solo, beneficiando as plantas e os micro-organismos (RAO et al., 2017). Através da ciclagem biológica e da síntese e exsudação da enzima fosfatase pelos microrganismos, acontece a transformação do P orgânico e inorgânico em P disponível para as plantas (GIANFREDA, 2015).

Se observarmos os resultados para fosfatase ácida, a soja apresentou menor média comparada com os demais manejos (Tabela 3), indicando que as práticas realizadas afetaram este atributo, sendo que esta área foi corrigida e apresenta o pH, maior comparado com as demais áreas e recebeu adubação mineral (Tabela 5). A correção da acidez aumenta os teores de cálcio (Ca) e diminui os teores de Al, e como consequência aumenta o fornecimento de P (LEAL et al., 2017). Desta forma a redução da fosfatase ácida pode estar ligada a correção do solo nesta área.

Rocha et al. (2019), encontraram menor índice de fosfatase ácida em solos fertilizados e para os solos onde foi observado maior quantidade dessa enzima, relacionaram com a biomassa microbiana. Maldonado & Fernández (2020), obtiveram para a fosfatase resultados entre 47,42 e 230,33 µg p-nitrophenol g<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>, atribuíram os maiores valores ao menor pH, segundo eles a maior atividade desta enzima é encontrada em pH próximo a 5,0 e reduz com pH próximo ou acima de 7,0.

Segundo Fernandes et al. (1997), esta enzima só é produzida quando ocorre a falta de P disponível na solução, se este estiver em equilíbrio a fosfatase ácida não acontece. Considerando que a área de soja foi adubada, aumentando a quantidade de P disponível para as plantas e como a fosfatase está relacionada com

a disponibilização de P, conseqüentemente esta área vai apresentar uma redução desta atividade. Já as demais áreas apresentam valores reduzidos deste nutriente (Tabela 4), fazendo que haja a necessidade da reposição deste na solução do solo, o que induz os microrganismos a realizar a ciclagem deste nutriente.

Em relação a análise química dos solos ocorreu diferença significativa entre eles para pH, P, K, Mg, Al, SB e V%. Como comentado anteriormente, os valores do pH, influenciaram a atividade biológica do solo, sendo que este foi influenciado, pelos usos aplicados nas áreas. Na profundidade 0,0 – 0,10 m a área da soja apresentou maior média, seguida da floresta que apresentou média similar a teca e a pastagem, a pastagem degradada teve a menor média encontrada. Já na profundidade de 0,10 – 0,20 m não foi observado diferença significativa entre as medias (Tabela 4). Rittl et al. (2017), tiveram resultado semelhantes onde o uso do solo era para agricultura, onde o pH foi mais elevado do que em floresta nativa.

Conforme Reis et al. (2021) valores de pH maiores foram encontrados em áreas manejadas com a correção da acidez. A prática da calagem promove o aumento do pH, através da adição de Ca e Mg. Promovendo a lixiviação de elementos tóxicos como o Al e Mn e promove o aumento de nutrientes, dentre eles o Ca e o Mg (PRATES et al., 2014). Em relação a não diferença do pH em profundidade na soja, isso está relacionado a não incorporação do calcário. Segundo Rheinheimer et al. (2018), a aplicação superficial do corretivo cria um gradiente que neutraliza a acidez do solo a partir da superfície.

Os maiores valores de P (P Mehlich 1) foram encontrados na soja em ambas as profundidades (Tabela 4), esta área anualmente recebe adubação fosfatada. Farias et al. (2016), em seu estudo relataram que os valores maiores de P estão relacionadas a adubação fosfatada assim como a incorporação de resíduos vegetais. Neves (2018), ao estudar solos da região da Amazônia meridional, obteve teores de P entre 2,19 e 5,81 mg dm<sup>-3</sup>. Já Teixeira (2018), observou médias entre 0,65 e 1,33 mg dm<sup>-3</sup>, e relatou que valores abaixo de 2,0 mg dm<sup>-3</sup>, são considerados baixos. Ambos os estudos não estudaram solos com adubação tão intensificada como a área da soja, por este motivo estes valores são mais similares a outras áreas deste estudo.

**Tabela 4.** pH em CaCl<sub>2</sub>, P por mehlich 1 (P Mehlich 1), potássio trocável (K), cálcio trocáveis (Ca), magnésio trocáveis (Mg), Alumínio trocável (Al), hidrogênio mais alumínio (H+Al), matéria orgânica (MO), a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e o percentual de saturação de bases (V%), em função dos usos do solo em suas diferentes profundidades - Alta Floresta - MT, 2022

	<b>pH</b> <b>CaCl<sub>2</sub></b>	<b>P</b> Mehlich 1 mg dm <sup>-3</sup>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	<b>H+Al</b>	<b>CTC</b>	<b>SB</b>	<b>MO</b> g dm <sup>-3</sup>	<b>V%</b> %
<b>Profundidade</b>	<b>0,0 – 0,10</b>										
Usos (U)											
PD	4,68 c	1,38 b	0,15 bc	2,48 b	0,65 b	0,075 a	4,42 a	7,75 a	3,25 b	21,17 a	41,90 c
PA	4,87 bc	1,7 b	0,22 bc	2,03 b	0,67 b	0,000 b	3,80 a	6,70 a	2,90 b	23,05 a	43,93 c
SO	6,2 a	8,45 a	0,38 a	4,87 a	1,3 a	0,000 b	2,10 a	8,52 a	6,42 <sup>a</sup>	29,55 a	74,93 a
TE	4,95 bc	1,00 b	0,11 c	3,05 b	0,6 b	0,075 a	3,60 a	7,35 a	3,73 b	22,11 a	49,65 bc
FF	5,15 b	1,65 b	0,26 ab	2,78 b	0,98 ab	0,000 b	2,52 a	6,55 a	4,03 b	24,83 a	60,97 b
QMResíduo	0,09 *	2,57 *	0,01 *	1,25 *	0,07 *	0,001 *	1,36 *	4,27 <sup>ns</sup>	1,90 *	72,54 <sup>ns</sup>	79,73 *
<b>Profundidade</b>	<b>0,10 – 0,20</b>										
PD	4,7 a	1,58 b	0,09 a	2,20 a	0,70 a	0,125 a	4,25 a	7,23 a	2,98 a	22,11 a	40,23 a
PA	4,95 a	1,23 b	0,35 a	2,08 a	0,47 a	0,025 a	2,90 a	5,67 a	2,78 a	17,81 a	48,88 a
SO	5,30 a	6,58 a	0,28 a	2,90 a	0,80 a	0,075 a	3,13 a	7,00 a	3,88 a	24,26 a	54,40 a
TE	4,82 a	0,9 b	0,09 a	2,57 a	0,58 a	0,050 a	3,50 a	6,73 a	3,23 a	18,39 a	46,40 a
FF	5,00 a	2,4 b	0,23 a	3,10 a	1,03 a	0,000 a	3,40 a	7,80 a	4,37 a	31,75 a	54,70 a
QMResíduo	0,10 <sup>ns</sup>	3,90 *	0,006 <sup>ns</sup>	2,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	1,19 <sup>ns</sup>	5,87 <sup>ns</sup>	2,82 <sup>ns</sup>	130,13 <sup>ns</sup>	98,80 <sup>ns</sup>

Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. <sup>ns</sup> não significativo. PD - pastagem degradada, PA -pastagem, SO – soja, TE - teca e FF- fragmento de floresta. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste t.

A área da soja e no fragmento de floresta, o potássio trocável ( $K^+$ ), apresentou as médias superior as demais áreas, o fragmento de floresta apresentou média similar a pastagem e a pastagem degradada, e a menor média encontrada foi a da teca (Tabela 4). Estes valores mais altos de K na área de referência, podem indicar que estes solos possuem altos níveis naturais de K, devido a sua formação geológica. Na soja, mesmo com a exportação de nutriente pela planta, o mesmo pode ser repostado através das adubações. Neves (2018), obteve teores de K entre 0,12 e 0,20  $cmol_c dm^{-3}$ . Valores similares foram obtidos também neste estudo.

Assis et al. (2019), relatam que a adição de resíduos vegetais e animais em área de pastagem, reflete em valores de K no solo, principalmente pelo fato dos animais contribuírem para a redistribuição, através do consumo via desfolha e seu retorno via excrementos, que segundo os mesmos autores, cerca de 90% deste nutriente retorna, para o solo e os valores de K, são mantidos mesmo sobre manejo intenso. Braz et al. (2011), também verificaram maiores valores de K na pastagem devido a ciclagem de nutrientes pela deposição de excrementos animal, mas segundo eles, estes valores podem variar dentro da mesma pastagem.

Os valores do fragmento florestal e da pastagem foram semelhantes, possivelmente, devido os animais reporem grande parte deste nutriente através de seus excrementos, e com isso os valores de K, foram mantidos nestes solos. Ferreira et al. (2009), ressalta que apenas 5 a 30%, do K consumido pelo animal é retido em seu corpo, desta forma seu excremento é um dos principais fatores dentro do ciclo deste nutriente no solo em área de pastagem.

Essa pequena exportação, ao longo dos anos podem ser o que levou as médias das pastagens apresentarem redução. Devido a extração deste nutriente ao longo dos anos pelas plantas e a falta de reposição deles. O uso de forrageira para a alimentação animal de forma intensiva e sem a reposição dos nutrientes do solo, causam danos a qualidade do solo (VALLE JÚNIOR et al., 2019).

No caso da teca, o que poderia levar a estes valores serem menores pode ser a absorção de nutriente e imobilização pela planta. Segundo Moya et al. (2014), a quantidade de nutriente extraído do solo em cultivo de madeira é muito grande, principalmente quando relacionado com o tempo de cultivo, os principais nutrientes

extraídos são P e K. Assis et al. (2019), relatam que o K pode ser imobilizado pela biomassa das árvores.

Os valores de cálcio trocável ( $\text{Ca}^{+2}$ ), forma maiores na área da soja na profundidade 0,0 - 0,10 m, assim como também os valores de magnésio trocável ( $\text{Mg}^{+2}$ ) foram maiores nesta área, a média encontrada de magnésio da área da soja foi semelhante ao fragmento de floresta. Na profundidade 0,10 – 0,20 m, não foi encontrada diferença significativa, para ambos os atributos (Tabela 4), este resultado está ligado a correção de acidez feita nesta área. As demais áreas apresentaram menores teores de Ca e Mg, possivelmente pela exportação e falta de reposição dele.

A correção pode ter resultado nos maiores índices na área da soja. Moreira & Fageria (2009), em seu estudo, apesar de encontrarem níveis baixos e muito baixo de Ca e Mg trocável, sendo ele respectivamente, 1,17 e 0,46  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , eles também notaram relação positiva destes nutrientes com os níveis de pH. O cultivo de soja manteve os teores de Mg, através da reposição deste nutriente pela correção, pois apresentou média igual quando comparada com o fragmento da floresta. A floresta mesmo tendo grande parte de seus nutrientes retidos nas biomassas das árvores, este é mantido no solo através da decomposição de resíduos vegetais. Segundo Marafiga et al. (2012), a serrapilheira fornece nutrientes através da ciclagem deste material, dentre estes estão o Ca, K, Mg e P.

O uso com soja, que apresentou as maiores médias para soma de bases e saturação por bases na profundidade 0,0 -0,10 m, em relação a saturação por bases este valor foi similar ao fragmento de floresta, que apresenta valor menor e não difere da teca, as menores medias encontradas foram para pastagem e pastagem degradada. Na profundidade 0,10 – 0,20 m não ocorreu diferença significativa (Tabela 4). Podemos notar, que nas áreas de soja e no fragmento florestal temos maiores quantidade de bases trocável e como estes resultados estão ligados a qualidade do solo, podemos considerar que a prática de adubação e de correção do solo, como também a manutenção destes pela ciclagem de nutriente, ajudam a manter ou melhorar as áreas com uso agrícola correto.

Para o alumínio trocável as maiores médias observadas foram encontradas nas áreas da pastagem degradada e da teca (Tabela 4). Ele é um elemento prejudicial ao desenvolvimento da planta, sua presença no solo representa toxicidade e eleva a

acidez dos solos (RAHMAN et al., 2018). Desta forma com a correção do solo, ocorre a precipitação do Al trocável, reduzindo a retenção dos nutrientes importantes para as plantas. Desta forma áreas com maior acidez e maior exportação de nutrientes como a pastagem degradada e a teca, apresentam maiores teor de Al trocável.

Os resultados da capacidade de troca catiônica (CTC), não apresentaram diferença significativa entre os usos (Tabela 4), mostrando que mesmo com diferentes manejos, o solo não sofreu alterações em sua capacidade de reter cátions. Gruba & Mulder (2015), relatou em seu estudo a relação positiva entre a Matéria orgânica e a CTC. Neste estudo a matéria orgânica (MO) e hidrogênio + alumínio ( $H^+ + Al^{+3}$ ), também não apresentou nenhuma diferença significativa entre os usos (Tabela 4).

## **Conclusões**

A soja aumentou a respiração basal do solo, o coeficiente metabólico, o aumento destes dois atributos biológicos somados a redução do carbono da biomassa microbiana, indica que este uso prejudicou a qualidade biológica do solo, dentre os usos a pastagem, foi a que mais manteve estes atributos em relação ao fragmento da floresta. A fosfatase ácida foi menor na soja, indicando que os manejos realizados nesta área reduzem a atividade de microrganismo disponibilizadores de P.

Em relação aos atributos químicos a soja aumentou pH, P, K, Ca, Mg, soma de bases e saturação por bases, e não aumentou Al, quando comparada com o fragmento de floresta. Com isso não só manteve a qualidade química do solo como foi capaz de aumentá-la através do manejo que é empregado na mesma.

## Referências Bibliográficas

ADETUNJI, A. T.; LEWU, F. B.; MULIDZI, R.; NCUBE, B. The biological activities of  $\beta$ -glucosidase, phosphatase, and urease as soil quality indicators: a review. **Jornal de ciência do solo e nutrição de plantas**, v. 17, n. 3, pág. 794-807, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000300018>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Piracicaba – SP. v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://Doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. pdf.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; DE MOURA OLIVEIRA, J.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i43.8520>.

BELDINI, T. P.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; PAULINO, G. S.; OLIVEIRA, D. R.; SANTOS, D. B. Propriedades biológicas de solos sob cultivo agrícola e uma floresta primária adjacente na amazônia. 2018. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Maceió-AL, ano 2018, n. 5, 2018.

BRAZ, A. M. S.; FERNANDES, A. R.; ALLEONI, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. **Land Degradation Development**, v. 24, n. 1, p. 33-38, 2013. Disponível em: DOI: 10.1002/ldr.1100.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; GOEDE, R.; DEYN, G. D.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W. GROENIGEN, J. W. V.; BRUSSAARD, L. Qualidade do solo - uma revisão crítica. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.

CARVALHO, M. A. C.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, E. E. R.; ARAÚJO, E. G.; BRANCAGLIONI, V. A.; DALLACORT, R. Multivariate approach of soil attributes on the characterization of land use in the southern Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 184, p. 207-215, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.08.004>.

CERQUEIRA, A. E. S.; SILVA, T. H.; NUNES, A. C. S.; NUNES, D. D.; LOBATO, L. C.; VELOSO, T. G. R.; PAULA S. O. KASUYA M. C. M SILVA, C. C. Amazon basin pasture soils reveal susceptibility to phytopathogens and lower fungal community dissimilarity than forest. **Applied Soil Ecology**, v. 131, p. 1-11, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.07.004>.

EVALD, A.; MELO, V. F.; ROCHA, P. R. R.; CORDEIRO, A. C. C.; MAIA, S. D. S.; ESPINDOLA, I. D. C. Soil Attributes Under Different Water Management Systems of

Rice Paddies in The Amazonian Savanna of Brazil. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 640-649, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. CERRADO: **Correção do solo e adubação**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 416 p.

FERNANDES, L. A.; Furtini Neto, A. E.; CURI, N.; de LIMA, J. M.; GUEDES, G. A. A. P e atividade de fosfatase em dois solos sob diferentes condicoes de uso. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1998.

HANISCH, A. L. **Intensificação do uso da pastagem em sistema silvipastoril tradicional (caívas) como estratégia de uso sustentável de remanescentes de floresta ombrófila mista**. Orientador: Raquel R. Bonato Negrelle. 2018. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2018.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. M.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretação de indicadores microbianos do solo em função do rendimento das culturas e do carbono orgânico. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n.2, pág. 461-472, 2013. Disponível em: doi:10.2136/sssaj2012.0191.

LUNA, R. G.; COUTINHO, H. D. M.; GRISI, B. M. Avaliação da produtividade do solo de pastagens no semiárido brasileiro por meio de análises microbianas. **Revista Brasileira de Microbiologia**, v. 39, p. 409-413, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000300001>.

FARIAS, S. C. C.; SILVA, M. L. D.; RUIVO, M. D. L. P.; RODRIGUES, P. G.; MELO, V. S. D.; COSTA, A. D. R.; SOUZA, J. C. D. Phosphorus forms in ultisol submitted to burning and trituration of vegetation in Eastern Amazon. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. Disponível em: DOI: 10.1590/18069657rbc20150198.

FERREIRA, E. V. D. O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. D. F.; COSTA, S. E. V. G. D. A.; CAO, E. G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1675-1684, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600016>.

FRANCO, A. L.; SOBRAL, B. W.; SILVA, A. L.; WALL, D. H. Amazonian deforestation and soil biodiversity. **Conservation Biology**, v. 33, n. 3, p. 590-600, 2019. Disponível em: DOI: 10.1111/cobi.13234.

GIANFREDA, L. Enzymes of importance to rhizosphere processes. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 15, n. 2, p. 283-306, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000022>.

GRUBA, P.; MULDER, J. Tree species affect cation exchange capacity (CEC) and cation binding properties of organic matter in acid forest soils. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 655-662, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.013>.

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, H. V. D.; SERRA, A. P.; COSTA, J. R.; GUEDES, R. D. S. Impacts of different management systems on the physical quality of an Amazonian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1269-1278, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400021>.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol. Biochem.**; v. 8 p.167-177, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90001-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90001-8).

LEAL, F. T.; COUTINHO, E. L. M.; FRANÇA, A. B. C. Fosfato decantado: efeitos na fertilidade do solo e na produção do capim-marandu dependendo da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 12, n. 4, p. 516-525, 2017. Disponível em: DOI:10.5039/agraria.v12i4a5488.

LAMMEL, D. R.; NÜSSLEIN, K.; TSAI, S. M.; CERRI, C. C. Land use, soil and litter chemistry drive bacterial community structures in samples of the rainforest and Cerrado (Brazilian Savannah) biomes in Southern Amazônia. **European Journal of Soil Biology**, v. 66, p. 32-39, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.11.001>.

LIANG, Q.; CHEN, H.; GONG, Y.; FAN, M.; YANG, H.; LAL, R.; KUZYAKOV, Y. Effects of 15 years of manure and inorganic fertilizers on soil organic carbon fractions in a wheat-maize system in the North China Plain. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 92, n. 1, p. 21-33, 2012. Disponível em: <http://DOI/10.1007/s10705-011-9469-6>.

MAIA, P. R.; FERNANDES, A. R.; MELO, V. S.; SANTOS, E. R.; SILVA, G. B. D. Nutrient recycling of sorghum straw and soil biological attributes in Eastern Amazon. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras - SP v. 36, p. 518-525, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000500004>.

MALDONADO, S. S.; FERNÁNDEZ, I. M. Indicators of the Biological Quality of the Soil in Agroforestry Systems: A Case Study in the Amazon-Brazil. In: BELO, O. O. **Current Research Trends in Biological Science** Vol. 3. 2020. p.167-188. Disponível em: DOI: 10.9734/bpi/crtbs/v3.

MARAFIGA, J. S.; VIERA, M.; SZYMCZAK, D. A.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Deposição de nutrientes pela serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, v. 59, n. 6, p. 765-771, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000600005>.

MELO, V. F.; ORRUTÉA, A. G.; MOTTA, A. C. V.; TESTONI, S. A. Land use and changes in soil morphology and physical-chemical properties in southern amazon. **Revista brasileira de ciência do solo**. V. 41, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170034>.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Soil chemical attributes of Amazonas state, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 17-18, p. 2912-2925, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103620903175371>.

MOYA, J. F.; ALVARADO, A.; AYANZ, A. S. M.; SACRISTÁN, M. M. Forest nutrition and fertilization in teak (*Tectona grandis* L. f.) plantations in Central America. In: **New Zealand Journal of Forestry Science**. p. 1-8 Springer, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1179-5395-44-S1-S6>.

NEVES, I. S. **ATRIBUTOS DO SOLO SOB ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO BIOMA AMAZÔNICO**. Orientador: Getulio de Freitas Seben Junior. 2018. 48 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos,) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Alta Floresta - MT, 2018

NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Indicadores microbiológicos da qualidade do solo. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3.; Londrina. Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a Ciência do Solo: resumos. Londrina: IAPAR, 2013. p. 539-544.; 2013.

OLIVEIRA, B. S.; DE CARVALHO, M. A. C.; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; DALLACORT, R. ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA, NA REGIÃO AMAZÔNICA. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, [S. l.], v. 23, n. 5, p. 448–456, 2015. Disponível em: DOI: 10.13083/reveng.v23i5.534.

PRATES, F. B. D. S.; GENUNCIO, G. D. C.; FERRARI, A. C.; NASCIMENTO, E. C. D.; ALVEZ, G. Z.; PALERMO, D. P.; ZONTA, E. Nutrient accumulation and productivity of crambe according to fertilization castor bean and serpentinite. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 810-816, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000500008>.

PINHEIRO, É. F.; CEDDIA, M. B.; CLINGENSMITH, C. M.; GRUNWALD, S.; VASQUES, G. M. Prediction of soil physical and chemical properties by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in the central Amazon. **Remote Sensing**, v. 9, n. 4, p. 293, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs9040293>.

R Core Team (2015). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RABECINI, J. A. F. **Levantamento dos solos do município de Alta Floresta – MT.** Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho. 2009. 64 f. Monografia (Graduação) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta - MT, 2009.

RAHMAN, M.; LEE, S. H.; JI, H. C.; KABIR, A. H.; JONES, C. S.; LEE, K. W. Importance of mineral nutrition for mitigating aluminum toxicity in plants on acidic soils: current status and opportunities. **International journal of molecular Science**, v. 19, n. 10, p. 3073, 2018. Disponível em: [oi:10.3390/ijms19103073](https://doi.org/10.3390/ijms19103073).

RAO, C. S.; GROVER, M.; KUNDU, S.; DESAI, S. Soil Enzymes. **Encyclopedia Of Soil Science**, p. 2100-2107; Edition: Third, 2017. Disponível em: [http://Doi:10. 1081/E-Ess3-120052906](http://doi.org/10.1081/E-Ess3-120052906).

REIS, A. S.; LEITE, R. L.; SOARES, G. O. S.; SOARES, J. L. S.; GONÇALVES, F. B.; FIDELIS, R. R.; SANTOS, A. C. Soil Chemical attributes under different management systems in Cerrado-Amazon ecotone. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e36210716045-e36210716045, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16045>.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.024>.

RITTL, T. F.; OLIVEIRA, D.; CERRI, C. E. P. Soil carbon stock changes under different land uses in the Amazon. **Geoderma Regional**, v. 10, p. 138-143, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.07.004>.

ROCHA, J. H. T.; MENEGALE, M. L.; RODRIGUES, M.; GONÇALVES, J. L. D. M.; PAVINATO, P. S.; FOLTRAN, E. C.; HARRISON, R.; JAMES, J. N. Impactos da intensidade de colheita de madeira e aplicação de fertilizante P nas frações de P do solo. **Forest Ecology and Management**, v. 437, p. 295-303, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.051>.

SCHULTE, R. P.; CREAMER, R. E.; DONNELLAN, T.; FARRELLY, N.; FEALY, R.; O'DONOGHUE, C.; O'HUALLACHAIN, D. Functional land management: A framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. **Environmental Science Policy**, v. 38, p. 45-58, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.002>.

SILVA, E. E. AZEVEDO, P. H. S. DELPOLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>).** EMBRAPA. Comunicado Técnico 99. 6p. 2007a.

SILVA, E. E. AZEVEDO, P. H. S. DELPOLLI, H. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)**. EMBRAPA. Comunicado Técnico 98. 6p. 2007b.

SILVA, I. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; KUSDRA, J. F. Biological activity of soils under systems of organic farming, agroforestry, and pasture in the Amazon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 427-432, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000300001>.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARNEIRO, M. A. C.; MARTINS, A. P.; BAYER, C. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 139, p. 28-36, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.03.012>.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. 1994 In: Weaver, R. W.; Angle, S.; Bottomley, P. J. Et. Al.; (Ed. ) **Methods of Soil Analysis**. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties, Soil Science Society of America, Madison - WI.; 775 - 833.

TEIXEIRA, IE. E. R. **ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO SOB AGROECOSSISTEMAS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL**. Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho. 2018. 58 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos,) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, Alta Floresta - MT, 2018.

VALLE JÚNIOR, R. F.; SIQUEIRA, H. E.; VALERA, C. A.; OLIVEIRA, C. F.; FERNANDES, L. F. S.; MOURA, J. P.; PACHECO, F. A. L. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Área of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Aplicações de Sensoriamento Remoto: Sociedade e Meio Ambiente**, v. 14, p. 20-33, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.001>.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem.**; 19:703-707, 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6).

ZATORRE, N. P. Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo. **Gaia Scientia**, v. 2, p. 9-13, 2008.

ZHANG, Q.; WU, J.; YANG, F.; LEI, Y.; ZHANG, Q.; CHENG, X. Alterations in soil microbial community composition and biomass following agricultural land use change. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2016. Disponível em: DOI: 10.1038/srep36587.

### **3.1. CAPÍTULO III - FRACIONAMENTO DE FÓSFORO DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NA AMAZÔNIA MERIDIONAL<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Artigo submetido no periódico "Revista Ciências Rural"

**Resumo** – (Fracionamento de fósforo do solo sob diferentes usos na Amazônia meridional). O P é um nutriente limitante nos solos Amazônicos, modificações causadas por diferentes manejos podem afetar suas frações, aumentando ou diminuindo a sua composição no solo. Desta maneira o objetivo desta pesquisa foi avaliar a modificação nas frações de P do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região da Amazônia meridional. Os usos avaliados foram, soja, teca, pastagem, fragmento florestal e área de pastagem degradada. Coletou-se amostras nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m. Através da metodologia proposta por Hedley et al. (1982), modificada por Cross & Schlesinger (1995) e Gatiboni et al. (2007), se determinou as seguintes frações de P: o P lábil ou disponível, P moderadamente lábil, P não lábil e o P total. Todos dos usos contribuíram para o aumento das frações de P. A adubação e o cultivo de forrageiras tropicais no cultivo da soja foi a que mais aumentou os teores de P lábil e moderadamente lábil, e a teca aumentou principalmente o P não lábil.

Palavras-chave: Conservação, P inorgânico, P orgânico, Disponibilidade de P.

**Abstract** – (Soil phosphorus fractionation under different uses in southern Amazon). P is a limiting nutrient in Amazonian soils, changes caused by different managements can affect its fractions, increasing or decreasing its composition in the soil. Thus, the objective of this research was to evaluate the modification in soil P fractions in areas under different use systems in the southern Amazon region. The evaluated uses were soybean, teak, pasture, forest fragment and degraded pasture area. Samples were collected at depths of 0.0-0.20 and 0.20-0.40 m. Through the methodology proposed by Hedley et al. (1982), modified by Cross & Schlesinger (1995) and Gatiboni et al. (2007), the following fractions of P were determined: labile or available P, moderately labile P, non-labile P and total P. All uses contributed to the increase in P fractions. Fertilization and the cultivation of tropical forage in soybean cultivation increased the most labile and moderately labile P contents, and teak mainly increased non-labile P.

Keywords: Conservation, Inorganic Phosphorus, Organic Phosphorus, Phosphorus Availability.

## Introdução

Os solos da Amazônia, assim como a maioria dos solos brasileiros apresentam baixa disponibilidade de P, por ele se apresentar na natureza de forma complexa (FIRDOU et al., 2016). Devido as altas quantidades de argila, elevada acidez e alto grau de intemperismo em solos tropicais o P fica menos disponível (GUEDES, 2016), o que também se deve a esses solos conterem altos níveis de óxido de ferro e alumínio em virtude da exposição as condições de clima tropical e alto grau de intemperismo (FINK et al., 2016). O processo de formação do solo reduz drasticamente os teores de P disponíveis para as plantas (LANG et al., 2016).

Somadas as práticas agrícolas e ao clima, as mudanças nas frações de P no solo podem ser maiores, pois as plantas exportam nutrientes e o manejo e a adubação utilizada alteram as características químicas do solo (SIEBERS et al., 2017). As plantas retiram da solução do solo o P necessário para sua nutrição (ROBERTS & JOHNSTON, 2015). Ele é um macronutriente, importante para o crescimento e maturação da planta, é utilizado, na fotossíntese, na respiração, no fornecimento de energia, em funções celulares, transferência de genes e reprodução (YAMADA & ABDALA, 2004). O P é absorvido pelas raízes principalmente nas formas de ácido ortofosfórico ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (FINK et al., 2016). Segundo Cui et al. (2019), os fatores, com a capacidade de fixar o P são a acidez, Fe, matéria orgânica (MO), Mn e Al.

No solo, o P ocorre em formas inorgânicas (Pi) e orgânicas (Po), que apresentam diferentes graus de labilidade: fração lábil ou disponível é o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ligada a apenas um íon de Fe ou Al denominada de Mononuclear monodentada; fração moderadamente lábil o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  esta ligado a dois íons de Fe ou Al e é denominada binuclear monodentada (é mais estável que a anterior) e fração não lábil é o  $\text{HPO}_4^{2-}$  ligado à dois íons de Fe ou Al denominada de binuclear bidentada (fração mais estável) (RYDEN et al., 1977, EMBRAPA-SOLO, 2017). Esta força de ligação irá indicar o quão rápido ele pode se tornar disponível, repondo a solução do solo (PEREIRA et al., 2020). O estudo destas frações é um importante instrumento para avaliar e quantificar, não só o P disponível, mas sim todas as suas formas.

As metodologias empregadas para realizar o fracionamento são muitas dentre elas a de Hedley et al. (1982), modificado por Condron et al. (1985). Tendo como base a extração química do P inorgânico e orgânico de maneira sequencial, onde se tem o P mais disponível seguindo para as frações mais estáveis. Atualmente existe poucos estudos na região sul da Amazônia, de como os diferentes usos, influenciam as frações de P no solo. Desta forma avaliar como cada manejo influencia as frações do P, é essencial para entendê-los. Com isso, objetivo desta pesquisa foi avaliar a modificação nas frações de P do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região da Amazônia meridional.

## Material e Métodos

As áreas experimentais ficam localizadas na Fazenda Apiacás no município de Paranaíta - MT (09° 54' 05" O e 56° 49' 55" S) e na Fazenda Bacaeri, no município de Alta Floresta – MT (09° 59' 02" O e 56° 53' 15" S), com altitude média de 222 m. As duas propriedades são vizinhas sendo separadas apenas pela divisa dos municípios, a rodovia MT- 208 (Figura 01).

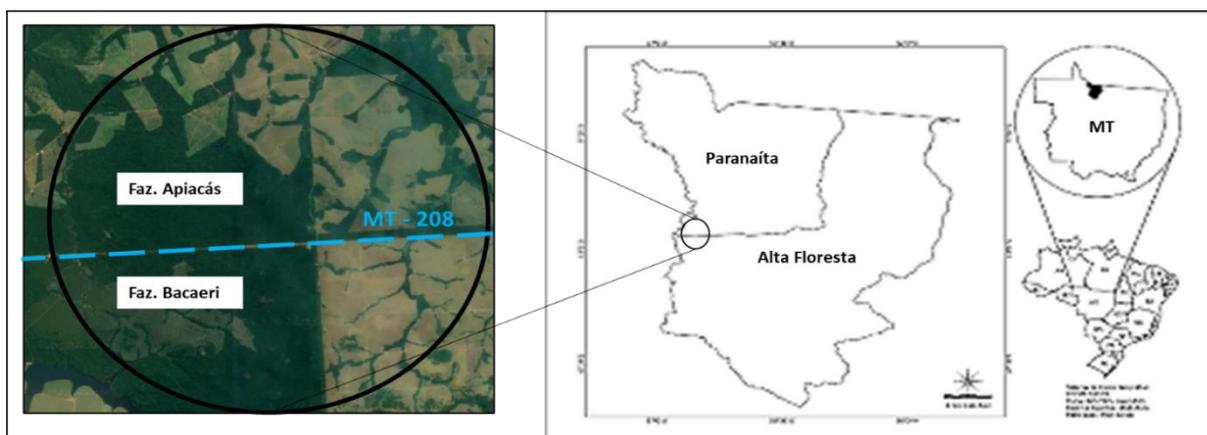


Figura 1. Localização das áreas experimentais. (Autor, 2022).

A região apresenta segundo a classificação de Köppen para o Brasil, clima tipo Am, com duas estações bem definidas, verão chuvoso e inverno seco, temperatura média anual em torno de 26°C, e precipitação média anual na faixa de 2800 a 3100 mm (ALVARES et al., 2014). O solo de todas as áreas do estudo foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (RABECINI, 2009). O percentual de areia, silte e argila o solo de todas as áreas classificou texturalmente o solo dos diferentes usos (Tabela 1), como franco argiloso arenoso.

**Tabela 1.** Médias texturais das áreas estudadas (pastagem degradada, pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF)) - Alta Floresta - MT, 2022.

Área	Areia Silte Argila		
	(%)		
RN	62	12	26
PA	64	9	27
SO	68	7	25
TE	59	10	31
FF	68	11	21

Se avaliou as frações de P no solo, em diferentes usos. Foram estes: pastagem degradada (PD), pastagem (PA), soja (SO), teca (TE) e fragmento de floresta (FF). Na Tabela 2, encontra-se o histórico e descrição das áreas experimentais onde foram realizadas as coletas nas profundidades 0 a 0,20, 0,20 a 0,40 m, com quatro repetições e estas ocorreram em dezembro de 2020. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Adubo e Foliar (LASAF) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta - MT.

**Tabela 2.** Histórico e descrição das áreas experimentais estudadas - Alta Floresta - MT, 2021.

Sistema de uso e manejo do solo	Descrição
Pastagem degradada (PD),	Abertura da área no ano de 2001, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem da área foi a <i>Urochloa brizantha</i> , destinada para consumo animal. Somente as práticas de roçagem e gradagem foram realizadas. Apresenta muitas plantas invasoras.
Pastagem (PA)	A área foi aberta no ano de 1996, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem da área foi a <i>Panicum maximum</i> , onde ela é cultivada até os dias atuais para consumo animal. Somente as práticas de roçagem e gradagem foram realizadas.
Soja (SO)	A área foi aberta no ano de 1996, através do método corte e queima, não se fez nenhum tipo de correção e adubação do solo ao longo dos anos, e a forrageira implantada após gradagem foi a <i>Panicum maximum</i> , para consumo animal. No ano de 2016 se implementou o cultivo da soja, onde se fez a correção e adubação recomendada, nos dois primeiros anos a calagem foi regular, onde após o quarto ano a calagem é intercalada e realizada a cada 2 anos conforme a análise do solo e a recomendação para elevação da saturação por bases a 80%. No período da entressafra se faz o plantio da <i>Urochloa ruzizensis</i> . O cultivo da soja desde sua implantação é realizado em sistema de semeadura direta.
Teca (TE)	A área foi aberta em 2002, onde se fez o corte e o enleiramento do material e se implantou a floresta de teca, sem nenhuma correção ou adubação, duas vezes ao ano é feita a roçagem da vegetação espontânea.
Fragmento de floresta (FF)	Área remanescente de floresta nativa (Floresta ombrófila densa) utilizada como testemunha. (Área de referência)

Para avaliar o efeito de cada uso do solo sobre as frações do P, se utilizou o método de fracionamento em triplicata para todas as amostras coletadas, seguindo a metodologia proposta por Hedley et al. (1982), modificada por Cross e Schlesinger (1995) e Gatiboni et al. (2007). Foram determinadas sequencialmente as seguintes frações de P:

- **Fração lábil ou disponível (P lábil):** Pi-RTA (P inorgânico extraído por resina trocadora de ânion), Pi-bic (P inorgânico extraído por bicarbonato de sódio) e Po-bic (P orgânico extraído por bicarbonato de sódio). São os teores P dissolvido da fase sólida em equilíbrio com o P da solução do solo (HEDLEY et al., 1982);

- **Fração moderadamente lábil (P moderadamente lábil):** Pi-hid (P inorgânico extraído por hidróxido de sódio a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ), Po-hid (P orgânico extraído por hidróxido de sódio a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ), Pi-HCl (P inorgânico extraído por ácido clorídrico) Pi-hid 0,5 (P inorgânico extraído por hidróxido de sódio a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) e Po-hid 0,5 (P orgânico extraído por hidróxido de sódio a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ). O Pi-hid está quimissorvido aos óxidos Fe e Al e à caulinita (HEDLEY et al., 1982), o Po-hid está ligado aos ácidos húmicos ambos ligados na superfície dos microagregados das diferentes das frações Pi-hid e Po-hid 0,5 representam o P fisicamente protegido no interior de microagregados, já o Pi- HCl representa as formas inorgânicas de P associadas ao Ca (Cross & Schlesinger, 1995).

- **Fração não lábil (P não lábil):** P residual (P residual extraído através a ataque sulfúrico), representa o P nas substâncias húmicas, bem como formas inorgânicas de P insolúveis (Cross & Schlesinger, 1995).

- **P total:** P total (P total extraído através do extrato sulfúrico e da soma das outras frações) representa todas as formas, incluindo o P estrutural (Cross & Schlesinger, 1995).

Os dados obtidos para o sequenciamento do P, foram submetidos aos testes de normalidade usando o método de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Lavene e posteriormente submetidos a análise de variância e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste t (5 % de probabilidade) com o auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

## Resultados e Discussão

O P lábil na profundidade 0,0 – 0,20 m foi maior no uso com lavoura de soja, já na profundidade 0,20 -0,40 m foi maior na área da soja mais está não difere da pastagem (Tabela 3). Além da adubação que é realizada na área de soja, no período da entressafra a mesma recebe o cultivo da forrageira *Urochloa ruziziensis*, onde segundo Merlin et al. (2013), essa espécie de forrageira gera um aumento no P disponível, independente da adubação realizada devido ao grande potencial de ciclagem de nutrientes que possui em virtude do seu sistema radicular bem desenvolvido.

**Tabela 3.** Fração lábil ou disponível (P lábil), Fração moderadamente lábil (P moderadamente lábil), Fração não lábil (P não lábil) e P total (Ptotal) de acordo com os usos do solo e em diferentes profundidades - Alta Floresta - MT, 2022.

Profundidade	P			
	P lábil	moderadamente lábil	P não lábil	P total
	mg kg <sup>-1</sup>			
	0,0 – 0,20			
Usos (U)				
PD	20,68 b	235,67 bc	56,85 b	278,08 c
PA	21,79 b	217,18 c	55,03 b	267,50 c
SO	99,06 a	366,01 a	44,48 c	487,58 a
TE	27,09 b	251,08 b	68,98 a	342,38 b
FF	16,56 b	151,70 d	36,73 c	231,78 d
QMResíduo	127,7 *	170,5 *	35,88 *	544 *
	0,20 – 0,40			
PD	18,00 b	241,54 b	41,35 b	305,25 b
PA	25,28 ab	225,19 b	42,28 b	271,68 b
SO	32,91 a	321,77 a	52,68 b	423,15 a
TE	13,80 b	251,48 b	74,95 a	314,43 b
FF	17,38 b	163,65 c	44,00 b	207,20 c
QMResíduo	32,34*	1156,5 *	88,38 *	1137,4 *

Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. <sup>ns</sup> não significativo. PD - pastagem degradada, PA - pastagem, SO – soja, TE - teca e FF- fragmento de floresta. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste t.

O maior teor P observado na primeira profundidade da área de soja, se deve a realização de adubação fosfatada que esta área vem recebendo, pois segundo Rodrigues et al. (2021), a fertilização do solo com P, ao longo dos anos resulta no aumento de Pi-RTA, principalmente na camada de 0,0-0,10m. Segundo Almeida &

Rosolem (2016), o tipo de fertilizante fosfatado vai afetar diferentes frações de P e a taxa de aplicação afeta principalmente as frações lábeis e moderadamente lábeis.

A adubações orgânicas ou química ao logo dos anos causam acréscimos nas frações lábil e moderadamente lábil (RIGO et al., 2019). Riskin et al. (2013), também observaram maior quantidade de P em solo de cultivo de soja, quando comparados com a floresta, ligando estes resultados a adubação e a correção desta área.

Maranguit et al. (2017), verificaram que a fertilização aumenta o P inorgânico, e esta mudança é vista principalmente nas camadas mais superficiais do solo, e ela é considerada momentânea. Riskin et al. (2013), notaram que as maiores diferenças de P nos primeiros 0,20 m, está ligado revolvimento do solo e a incorporação de adubos por práticas mecânicas. Possivelmente isso acontece principalmente sobre este cultivo, pois o mesmo é o único que recebeu adubação fosfatada e calagem.

Os menores teores P lábil ocorrem pelo fato destes solos terem pH mais baixo, o que leva a fixação mais estável do P nos óxidos de Fe e Al, além da exportação deste nutriente pela cultura. Como também está ligado a atividade de microrganismo que disponibilizam P, que em situação de déficit de P disponível na solução, através de processos metabólicos irá transformar, P inorgânico e orgânico em P disponível, reduzindo os teores de P, principalmente das frações menos estáveis. Através da ciclagem biológica e da síntese do P orgânico e inorgânico os microrganismos disponibilizam P para as plantas (GIANFREDA, 2015).

O P moderadamente lábil na profundidade 0,0 – 0,20 m foi maior no uso com lavoura de soja, o uso da teca teve o segundo maior teor que foi semelhante a o da pastagem degradada, e este se assemelhou a pastagem a menor quantidade de P moderadamente lábil foi encontrada no fragmento da floresta. Já na profundidade 0,20 -0,40 m foi maior na área da soja e a menor no fragmento da floresta (Tabela 3).

Esse resultado do maior teor desta fração ter sido observado na área de soja pode estar relacionado com cultivo de forrageira durante o período da entressafra, pois essa deixa grande quantidade de massa seca e apresenta grande desenvolvimento radicular. Neste sentido, Almeida et al. (2018) relatam que as

gramíneas tropicais cultivadas como plantas de coberturas aumentam a quantidade de P orgânico, através da ciclagem deste nutriente.

A menor quantidade de P moderadamente lábil observado na área do fragmento florestal e na teca pode estar ligado ao fato deste estar sendo acumulado na biomassa das árvores, como é o caso da floresta e da teca. Guo et al. (2000), relatam a redução nos teores de P conforme a intensificação do número de plantas, e que isso ocorre através da exportação pelas plantas. Já no caso da pastagem e da pastagem degradada, estes valores também podem estar ligados a exportação deste nutriente através da conversão das plantas em alimento animal, assim como a falta de adubação e calagem, que não é empregada nestas áreas e assim não se tem a reposição de nutrientes.

A maior diferença entre os usos na primeira camada pode ter ocorrido em função da absorção de P ser maior na primeira camada, onde se tem a maior quantidade de raízes absorventes. Segundo Cui et al. (2019), esta fração pode ser influenciada pelo pH, a redução dos valores do pH para valores abaixo de 6, pode aumentar a liberações do P retido nos fosfatos de cálcio que está retido aos coloides. Na área de soja, como foi realizada adubação fosfatada e calagem, e as mesmas fornecem P e Ca, para o solo e elevam o pH do mesmo, estes dois nutrientes reagem e formam fosfatos de cálcio, com isso os teores de P orgânico extraído por ácido clorídrico, aumentam.

Almeida et al. (2018), relata que o aumento do P, no cultivo de soja está diretamente ligada a utilização de fertilizantes fosfatados. Como aconteceu com as outras frações estudadas. Assim como ao acúmulo de palhada gerado pela forrageira cultivada na entressafra, este acúmulo de palhada pode ser proveniente da desfolha da pastagem, das folhas decompostas da teca, ou pela palhada deixada, no plantio direto (RODRIGUES et al., 2016). O que pode ter levado ao aumento destas frações nestas áreas estuda, tanto em relação dos usos, como em relação as profundidades.

O P não lábil na profundidade 0,0 – 0,20 m foi maior no uso com teca e menor na lavoura de soja e na floresta, já na profundidade 0,20 -0,40 m foi maior na área da teca (Tabela 3). Cui et al. (2019), relata que este só vai ser liberado através da fragmentação mineral, através do intemperismo biológico, químico e físico. Com isso mudanças de pH, atividade dos microrganismos e condições climáticas, podem

ter levado as médias mais baixas, como a área de referência é a que apresenta estes valores, isso indica que estes solos se apresentam baixos teores natural, desta fração de P e que os usos que não se diferiram, não foram capazes de aumentar ou reduzir a fixação P.

Já em relação aos usos que aumentaram a quantidade de P não lábil, como no caso da teca, que aumentou os teores desta fração, indica que estas áreas estão sendo mais influenciada pelo manejo, aumentando a fixação de P, nos minerais, deixando este cada vez mais indisponível para as plantas. Os resultados da pastagem e da pastagem degradada, indicam que estes solos estão fixando o P, nas primeiras camadas.

Neste sentido, Montiel et al. (2020), descrevem que tanto a quantidade de P como a sua distribuição, vai depender principalmente dos processos de formação do solo e que em solos pouco intemperizado o P é liberado dos materiais primários (Ca-fosfato) e se transforma em P lábil ou orgânico e quando o intemperismo é maior os óxidos de Al e Fe se ligam a estes e os transforma em P não lábil, à medida que o avança o processo de formação esta transformação aumenta e parte do P é perdida.

O P total na profundidade 0,0 – 0,20 m foi maior no uso com lavoura de soja, seguido da teca e foi menor no fragmento de floresta. Já na profundidade 0,20 - 0,40 m foi maior na área da soja e menor no fragmento da floresta (Tabela 3). Este resultado é reflexo da adubação fosfatada superficial realizada nesta área.

Assim se tem que o cultivo de soja, a realização de adubação e correção do solo, aumentam os teores de P, principalmente o P disponível na solução. Rodrigues et al. (2021), chegou à conclusão de que a adubação continua sobre o solo gera um acréscimo significativo de P. Riskin et al. (2013), comentam que conforme o aumento do P em áreas de soja. Aguiar et al. (2013), encontrou 40% do P nas frações mais lábeis, as áreas com maior Pt foram plantio direto e plantio em aleias. Esta maior quantidade está relacionada ao fato deste serem os únicos solos que receberam adubação, da mesma forma que neste estudo.

O acréscimo de espécies vegetais diferentes e a adição de fertilizantes, nas áreas cultivadas, resultaram no aumento dos teores de P nestas áreas. Soltangheisi et al. (2019), avaliando como a conversão da floresta em pastagem e a influência sobre o estado o P nos solos amazônicos, encontraram valores de Pt entre 613 e 432

mg kg<sup>-1</sup>, mostrando um aumento nos teores de P, em área cultivadas. Da mesma forma que neste estudo.

Os valores de Pt foram abaixo de 500 mg kg<sup>-1</sup>, com média de 320,00 mg P kg<sup>-1</sup>. Com isso inicialmente se verifica que os teores de P eram naturalmente baixos, devido a sua natureza. Os teores do P no solo, estão ligados principalmente a gênese do solo, o grau de intemperismo, a idade, a geologia do local como também a quantidade e o tipo de minerais primários e secundários, são os principais determinantes para o fornecimento de nutrientes, incluindo a quantidade e a disponibilidade de P (QUESADA et al., 2010).

Desta forma como os solos amazônicos são altamente intemperizados e o seu material de origem apresenta baixas quantidade de P, os resultados encontrados para P total condizem com a realidade destes solos. Maia (2015), relacionou a baixa quantidade de nutrientes do solo amazônicos, principalmente a sua idade geológica e ao seu material de origem. Estes processos acabam resultando na perda de P, por lixiviação e erosão. Entretanto ao observamos os valores de P residual, notamos que o fragmento de floresta não apresenta valores tão baixos comparados com as demais áreas (Tabela 3), e isso indica que este teor de P total, está mais ligado ao baixas quantidade naturais de P.

## **Conclusões**

Todos os usos foram capazes de aumentarem os teores de P em relação ao fragmento da floresta. A adubação e o plantio de forrageira tropical implementado na soja, aumentaram teores da fração lábil e moderadamente lábil e o teor total de P, na área com este manejo, comparada com a florestas.

A exportação de nutrientes pelas culturas ou o acúmulo deles na biomassa da vegetação, resultou na redução dos teores de P lábil e moderadamente lábil e aumentou os teores de P não lábil, no solo.

## Referências Bibliográficas

AGUIAR, A. D. C. F.; CÂNDIDO, C. S.; CARVALHO, C. S.; MONROE, P. H. M.; MOURA, E. G. Organic matter fraction and pools of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 158-164, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.010>.

ALMEIDA, D. S.; ROSOLEM, C. A. Ruzigrass grown in rotation with soybean increases soil labile phosphorus. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, p. 2444-2452, 2016. Disponível em: [doi:10.2134/agronj2015.0478](https://doi.org/10.2134/agronj2015.0478).

ALMEIDA, D. S.; BLACKBURN, D. M. ROCHA, K. F.; SOUZA, M.; ZHANG, H.; HAYGARTH, P. M.; ROSOLEM, C. A. Can tropical grasses grown as cover crops improve soil phosphorus availability? **Soil Use and Management**, v. 34, n. 3, p. 316-325, 2018. Disponível em: [doi: 10.1111/sum.12439](https://doi.org/10.1111/sum.12439).

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Piracicaba – SP. v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://Doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. pdf.

CONDRON, L. M.; GOH, K. M.; NEWMAN, R. H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal of Soil Science**, v. 36, n. 2, p. 199-207, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00324.x>.

CROSS, A. F. SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 64, n. 3-4, p. 197-214, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00023-4](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00023-4).

CUI, H.; OU, Y.; WANG, L.; WU, H.; YAN, B.; HAN, L.; LI, Y. Identification of environmental factors controlling phosphorus fractions and mobility in restored wetlands by multivariate statistics. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 16, p. 16014-16025, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05028-x>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - SOLO – EMBRAPA - SOLO, G. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: ed. 3. EMBRAPA Solo, 2017. p. 573.

FINK, JR, INDA, AV, TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciência e agrotecnologia**, v. 40, p. 369-379, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404023016>.

FIRDOU, S.; BEGUM, S.; YASMIN, A. Assessment of soil quality parameters using multivariate analysis in the Rawal Lake watershed. **Environmental Monitoring and**

**Assessment**. V. 188, p. 1-13. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5527-5>.

GATIBONI, L. C. KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D. D. S., & FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400010>.

GIANFREDA, L. Enzymes of importance to rhizosphere processes. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 15, n. 2, p. 283-306, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000022>.

GUO, F., YOST, R. S., HUE, N. V., EVENSEN, C. I. SILVA, J. A. (2000). Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. **Soil Science Society of America Journal**, p. 1681-1689. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451681x>.

GUEDES, R. S.; MELO, L. C. A.; VERGÜTZ, L.; RODRÍGUEZ-VILA, A.; COVELO, E. F.; FERNANDES, A. R. Adsorption and desorption kinetics and phosphorus hysteresis in highly weathered soil by stirred flow chamber experiments. **Soil and Tillage Research**, V. 162, p. 46-54, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.018>.

HEDLEY, M. J. STEWART, J. W. B. CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil-phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x>.

LANG, F.; BAUHUS, J.; FROSSARD, E.; GEORGE, E. KAISER, K.; KAUPENJOHANN, M.; KRÜGER, J.; MATZNER, E.; POLLE, A.; PRIETZEL, J.; RENNENBERG, H.; WELLBROCK, N. Phosphorus in forest ecosystems: New insights from an ecosystem nutrition perspective. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 179, n. 2, p. 129-135, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jpln.201500541>.

MAIA, M. R. S. A. **Avaliação dos solos Amazônicos: integração de dados multifontes para caracterização das condições edáficas**. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazônia, Manaus, AM, 2015.

MARANGUIT, D.; GUILLAUME, T.; KUZYAKOV, Y. Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. **Catena**, v. 149, p. 385-393, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.10.010>.

MERLIN, A.; HE, Z. L.; ROSOLEM, C. A. Ruzigrass affecting soil-phosphorus availability. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 12, p. 1583-1588, 2013. Disponível em: DOI: 10.1590/S0100-204X2013001200007.

MONTIEL, D. C. G.; NEILL, C.; MELILLO, J.; THOMAS, S.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C. Soil Phosphorus Transformations Following Forest Clearing for Pasture in the Brazilian Amazon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 5, p. 1792-1804, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451792x>.

PEREIRA, D. S.; DA COSTA, L. M.; DO CARMO, D. L.; ROCHA, A. C. T. Availability, and fractionation of phosphorus in soils with different physicochemical characteristics. **Revista Agroambiente On-line**. Boa Vista - RR v. 14, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v14i0.6811>.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; SCHWARZ, M.; PATIÑO, S.; BAKER, T. R.; CZIMCZIK, C.; FYLLAS, N. M.; MARTINELLI, L.; NARDOTO, G. B.; SCHMERLER, J.; SANTOS, A. J. B.; HODNETT, M. G.; HERRERA, R.; LUIZAO, F. J.; ARNETH, A.; LLOYD, G. DEZZEO, N.; HILKE, I. KUHLMANN, I.; RAESSLER, M.; BRAND, W. A.; GEILMANN, H.; MORAES FILHO, J. O.; CARVALHO, F. P.; ARAUJO FILHO, R. N.; CHAVES, J. E.; CRUZ JUNIOR, O. F.; PIMENTEL, T. P.; PAIVA, R. Variations in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. **Biogeosciences**, v. 7, n. 5, p. 1515-1541, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-7-1515-2010>, 2010.

R Core Team (2015). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RABECINI, J. A. F. **Levantamento dos solos do município de Alta Floresta – MT**. Orientador: Marco Antonio Camillo de Carvalho. 2009. 64 f. Monografia (Graduação) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta - MT, 2009.

RIGO, A. Z.; CORRÊA, J. C.; MAFRA, Á. L.; HENTZ, P.; GROHSKOPF, M. A.; GATIBONI, L. C.; BEDENDO, G. Phosphorus fractions in soil with organic and mineral fertilization in integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180130>.

RISKIN, S. H., PORDER, S., NEILL, C., FIGUEIRA, A. M. E. S., TUBBESING, C., & MAHOWALD, N. The fate of phosphorus fertilizer in Amazon soya bean fields. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, p. 20120154, 2013a. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0154>.

RYDEN, J. C.; MCLAUGHLIN, J. R.; SYERS, J. K. Mechanisms of phosphate sorption by soils and hydrous ferric oxide gel. **Journal of Soil Science**, v. 28, n. 1, p. 72-92, 1977.

ROBERTS, T. L. ; JOHNSTON, A. E. Phosphorus use efficiency and management in agriculture. **Recursos, conservação e reciclagem**, v. 105, p. 275-281, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.013>.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 1050-1061, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118>.

RODRIGUES, M., WITHERS, P. J. A., SOLTANGHEISI, A., VARGAS, V., HOLZSCHUH, M., & PAVINATO, P. S. Tillage systems and cover crops affecting soil phosphorus bioavailability in Brazilian Cerrado Oxisols. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104770, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104770>.

SIEBERS, N.; SUMANN, M.; KAISER, K.; AMELUNG, W. Climatic Effects on Phosphorus Fractions of Native and Cultivated North American Grassland Soils. **Jornal da Sociedade de Ciência do Solo da América**, v. 81, n. 2, pág. 299-309, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.06.0181>.

SOLTANGHEISI, A.; DE MORAES, M. T.; CHERUBIN, M. R.; ALVAREZ, D. O.; SOUZA, L. F.; BIELUCZYK, W.; NAVROSKIC, D.; TELES, A. P. B.; PAVINATO, P. S.; MARTINELLI, L. A.; TSAIC, S. M.; CAMARGO, P. B. Forest conversion to pasture affects soil phosphorus dynamics and nutritional status in Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104330, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104330>.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba, POTAFOS. 2004. 726p.

#### 4. CONCLUSÕES GERAIS

Todos os usos influenciaram a qualidade física do solo. As pastagens reduziram reduziu a qualidade física do solo nas primeiras camadas, aumentado a quantidade de microporos, a densidade e a resistência do solo, o que prejudica o desenvolvimento das plantas, já o cultivo da soja em sucessão com o *Urochloa ruziziensis*, melhorou a qualidade do solo nos primeiro 0,10 m e a prejudicou nas camadas mais profundas devido ao uso de máquinas e implementos agrícolas. E a teca manteve mais características físicas do solo em comparação com o fragmento de floresta, não prejudicado tanto sua qualidade.

A área manejada com soja, devido a sua adubação e correção reduziram o carbono armazenado do solo e aumentou a respiração dos microrganismos, o que reflete uma situação de estresse da atividade microbiana do solo, ou seja os organismo estão consumindo mais carbono do que armazenando, e isso indica uma perda da qualidade biológica do solo. outra atividade afetada pelo manejo da soja foi a fosfatase acida que estava mais baixa comparado as demais áreas isso possivelmente, pois estas áreas recebem adubação fosfatada o que aumenta a quantidade de P disponível. As demais áreas quando comparadas com o fragmento da floresta se mantiveram sem estresse biológico o que indica que o organismos vivos destes locais estão adaptadas as condições deste solo.

Em relação aos atributos químicos a soja aumentou caracterizas químicas que são indicativos de qualidades (pH, P, K, Ca, Mg, soma de bases e saturação por bases), e não aumentou atributos que prejudicam o desenvolvimento das plantas, quando comparada com o fragmento de floresta. Com isso não só manteve a qualidade química do solo como foi capaz de aumentá-la através do manejo que é empregado na mesma. Já as demais áreas por não receberem adubação e terem uma grande exportação de nutrientes, apresentaram uma redução na qualidade química do solo.

A soja também aumentou frações lábil e moderadamente lábil de P no solo, o que também é um indicativo de melhora na qualidade química do solo, isso se deve principalmente a seu manejo, incluindo a adubação, a correção do solo e a sucessão do cultivo com espécie de forrageira tropical. Já as demais áreas apesar de terem

aumentado a quantidade de P em relação a florestas, apresentam aumento em fração não lábil de P, o que indica que além das mesmas estarem exportando grande quantidade elas também estão fixando P em frações mais estáveis no solo, o que prejudica a disponibilização do mesmo para as culturas.