

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

BRUNA FIRMINO ENCK

**MATÉRIA ORGÂNICA E SUA RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO EM
ÁREAS SOB CONVERSÃO DE FLORESTA EM CULTIVO NO SUL DO
AMAZONAS**

HUMAITÁ, AM

2020

BRUNA FIRMINO ENCK

**MATÉRIA ORGÂNICA E SUA RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO EM
ÁREAS SOB CONVERSÃO DE FLORESTA EM CULTIVO NO SUL DO
AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao programa de
Agronomia Tropical da Universidade Federal
do Amazonas como requisito para a obtenção
do título de mestre em Agronomia Tropical.

ORIENTADOR: PROF. DR. MILTON CÉSAR COSTA CAMPOS

HUMAITÁ, AM

2020

Ficha Catalográfica

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

E56m Enck, Bruna Firmino
Matéria orgânica e sua relação com os atributos do solo em áreas sob conversão de floresta em cultivo no sul do Amazonas. / Bruna Firmino Enck . 2020
73 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Milton Cesar Costa Campos
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Fracionamento da matéria orgânica. 2. Solos amazônicos. 3. Fracionamento físico. 4. Multivariada. I. Campos, Milton Cesar Costa. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

BRUNA FIRMINO ENCK

**MATÉRIA ORGÂNICA E SUA RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO EM
ÁREAS SOB CONVERSÃO DE FLORESTA EM CULTIVO NO SUL DO
AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao programa de
Agronomia Tropical da Universidade Federal
do Amazonas como requisito para a obtenção
do título de mestre em Agronomia Tropical.

Apresentado em 05 de março de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Milton César Costa Campos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Flavio Pereira de Oliveira, Membro
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim Dos Santos, Membro
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Dedico todo esforço a Deus e a minha família,
a qual sempre me apoiou e confiou em mim.
“Em tudo dai graças, porque esta é a vontade
de Deus em Cristo Jesus para convosco.
1 Tessalonicenses 5:18”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em sua maravilhosa graça por ter me concedido a força e a persistência necessárias para que eu chegasse até aqui.

Ao programa de Agronomia Tropical, a instituição UFAM e a CAPES por toda estrutura e conhecimento gerado, além da concessão de bolsa durante toda a duração do mestrado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Milton César Costa Campos pela confiança e por toda a ajuda e compreensão durante todo o período do mestrado.

Ao Prof. Dr. Marcos Gervásio Pereira e a toda equipe do laboratório de solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela concessão do espaço para realização de análises de fracionamento da matéria orgânica e pela recepção e ajuda que todos me deram, sem a qual não seria possível a conclusão dessa pesquisa.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Solos e Ambiente Amazônicos, em especial ao Prof. Dr. Fernando Gomes de Souza. Aos amigos Elilson, Elyenayra, Thalita e meus companheiros de mestrado Maísa, Wildson e Alan, pela amizade, companheirismo e auxílio durante todo o período de mestrado.

À minha família por ter me apoiado ao ingressar nessa jornada, além de todo apoio psicológico e financeiro, em especial ao meu pai Silvério Enck, minha mãe Márcia Tereza Firmino, meu irmão Matheus Enck, minha avó Terezinha Knafelç, minha tia Daniela Firmino e a minha madrinha Rosimeire Guedes.

Também agradeço aos meus amigos de longa data que acompanharam mais essa etapa da minha vida sempre estando ao meu lado.

Aos amigos que fiz durante o período em Manaus, Rio de Janeiro e Humaitá, nos quais sempre encontrei apoio e incentivo de alguma forma, e que mostraram diversas realidades novas que acrescentaram muito valor em minha vida.

RESUMO

A qualidade do solo e a sustentabilidade dos ambientes de produção agrícola são pautas de frequentes estudos, e ao se tratar de ambientes localizados no bioma amazônico a preocupação é constante, em utilizar manejos e práticas edáficas conservacionistas a fim de manter ou aumentar a qualidade e fertilidade solos que são naturalmente pobres no geral. Dentro desse contexto a matéria orgânica do solo é um fator fundamental na manutenção desses ambientes, visando que a perturbação antrópica de um sistema natural, normalmente causa mais perdas do que ganhos de carbono, podendo levar a degradação do solo. O objetivo foi fracionar a matéria orgânica do solo e avaliar sua relação com os atributos do solo nos ambientes com transformação floresta/cultivo, em condições amazônicas, visando investigar os impactos das transformações vegetacionais sobre os atributos do solo na região Sul do Amazonas. O estudo foi realizado no município de Canutama, localizado no sul do estado do Amazonas, no qual foram avaliados os atributos químicos e físicos em quatro ambientes diferentes, sendo eles o cultivo de guaraná, cupuaçu, urucum e uma área de floresta em três camadas, 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m e a coleta foi realizada em forma de malhas com 32 pontos. Os atributos físicos avaliados foram: Ds, DMP, DMG, classe de agregados < 1,00 mm, 1,00 – 2,00 mm e > 2,00 mm, Pt, MaP, MiP, Ug e análise textural (areia, silte e argila). Os atributos químicos e de fertilidade analisados nas quatro áreas foram: pH, Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, SB, t, T, V e m%. Também foram realizados o fracionamento químico na camada de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 quantificando as frações dos ácidos fúlvicos e húmicos e a humina, e o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo nas três camadas, sendo definidas o COT, COp e COam. Foram realizados testes de estatística descritiva e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e posteriormente realizada análise multivariada utilizando a técnica de análise de componentes principais. De acordo com os resultados, conclui-se que no presente estudo a conversão da área de floresta para cultivos ocasionou mudanças de ordem química e fertilidade e física nos atributos do solo. A humina foi a fração da matéria orgânica do solo mais abundante em todos ambientes estudados; a qualidade do húmus nas áreas de cultivo de guaraná, cupuaçu e urucum na camadas de 0,00-0,05 m e para guaraná e cupuaçu na camada de 0,05-0,10 m foram melhores do que quando comparado com a área de floresta; a estatística multivariada com foi eficiente em distinguir os melhores atributos que definem os ambientes; As frações da matéria orgânica que sofreram maior influência do manejo foram C-FAF na camada de 0,00-0,05 m e COp na camada de 0,10-0,20 m, pois foram as frações que melhores distinguiram a floresta dos ambientes cultivados.

Palavras-chave: Fracionamento da matéria orgânica. Solos amazônicos. Fracionamento físico.

ABSTRACT

Soil quality and sustainability of agricultural production environments are the subject of frequent studies, and when it comes to environments located in the Amazon biome, the concern is constant to use conservation management and soil practices in order to maintain or increase quality and fertility soils that are naturally poor in general. Within this context, soil organic matter is a fundamental factor in the maintenance of these environments, since the anthropic disturbance of a natural system usually causes more losses than carbon gains and may lead to soil degradation. The objective was to fractionate the organic matter of the soil and evaluate its relationship with the soil attributes in environments with forest / cultivation transformation, in Amazonian conditions, aiming to investigate the impacts of vegetation transformations on the soil attributes in the southern region of Amazonas. The study was conducted in the municipality of Canutama, located in the south of the state of Amazonas, where chemical and physical attributes were evaluated in four different environments, namely the cultivation of guarana, cupuaçu, annatto and a forest area at three depths 0.00-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m, and the sampling was made in the form of meshes with 32 points. The physical attributes evaluated were Sd, WPD, WGD, aggregate class < 1.00 mm, 1.00 - 2.00 mm and > 2.00 mm, MaP, MiP, TP, GM, textural analysis (sand, silt and clay). The chemical attributes analyzed in the four areas were pH, Al^{3+} , $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, BS, t, T, V% and m%. Chemical fractionation in the 0.00-0.05 and 0.05-0.10 m layers were also performed, quantifying the fulvic and humic acid fractions and the humine, and the particle size fractionation of the soil organic matter at the three depths. TOC, OCp and OCam are defined. Descriptive statistics tests were performed, means were compared by Tukey test at 5% probability and then performed multivariate analysis using the principal component analysis technique. According to the results, it is concluded that in the present study the conversion of the forest area to crops caused chemical and fertility and physical changes in soil attributes; to humine was the fraction of the most abundant soil organic matter in all studied environments; the quality of humus in the areas of guarana, cupuaçu and annatto cultivation in the depth of 0.00-0.05 m and under depth 0.05-0.10 m in the guarana and cupuaçu area was better than when compared to the forest area; multivariate statistics with was efficient in distinguishing the best attributes that define the environments; The organic matter fractions that had the greatest influence of the management were acid fulvic in the 0.00-0.05 m layer and OCp in the 0.10-0.20 m depth, since it was the fractions that best distinguished the forest from the environments cultivated.

Key-words: Fractionation of organic matter. Amazonics soils. Physical fractionation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa do estado do Amazonas e localização das áreas de estudo no município de Canutama – AM.24
- Figura 2.** Plano fatorial dos atributos do solo coletados nas camadas de 0,00-0,05 m, em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas. **A.** Gráfico do plano tridimensional da ACP. **B.** CP1 x CP2. **C.** CP1 x CP3. **D.** CP2 x CP3.....49
- Figura 3.** Plano fatorial dos atributos do solo coletados nas camadas de 0,05-0,10 m, em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas. **A.** Gráfico do plano tridimensional da ACP. **B.** CP1 x CP2. **C.** CP1 x CP3. **D.** CP2 x CP3.....50
- Figura 4.** Plano fatorial dos atributos do solo coletados nas camadas de 0,10-0,20 m, em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas. **A.** Gráfico do plano tridimensional da ACP. **B.** CP1 x CP2. **C.** CP1 x CP3. **D.** CP2 x CP3.....51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos do solo na camada de 0,00 a 0,05 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	30
Tabela 2. Estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos do solo na camada de 0,05 a 0,10 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	31
Tabela 3. Estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	32
Tabela 4. Estatística descritiva e teste de média dos atributos químicos do solo na camada de 0,00 a 0,05 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	35
Tabela 5. Estatística descritiva e teste de média dos atributos químicos do solo na camada de 0,05 a 0,10 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	36
Tabela 6. Estatística descritiva e teste de média dos atributos químicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	37
Tabela 7. Estatística descritiva e teste de média dos atributos da matéria orgânica do solo na camada de 0,00 a 0,05 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	41
Tabela 8. Estatística descritiva e teste de média dos atributos da matéria orgânica do solo na camada de 0,05 a 0,10 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	42
Tabela 9. Estatística descritiva e teste de média dos atributos da matéria orgânica do solo na camada de 0,10 a 0,20 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.	43
Tabela 10. Correlação entre componentes principais (CP) e variáveis analisadas dos atributos do solo de três camadas avaliadas (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) com fatores rotacionados (<i>varimax</i>) em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 Geral	12
2.2 Específicos.....	12
3. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA	12
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
4.1. A região Sul do Amazonas	13
4.2. Caracterização das culturas do cupuaçu, urucum e guaraná	14
4.3. Impactos provocados por transformações em ambientes de floresta/cultivos na Amazônia Brasileira.....	16
4.4 Matéria orgânica do solo e seus constituintes	18
4.5 Fracionamento químico e físico da MOS	19
4.6 Comportamento da matéria orgânica frente as reações químicas do solo.....	20
4.7 Matéria orgânica como fonte de nutriente a planta	21
4.8 Matéria orgânica na qualidade física do solo e mitigação de CO ₂	22
4.9. Análise estatística multivariada na avaliação dos atributos do solo.....	23
5. MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1 Localização da área do estudo e caracterização dos ambientes.....	23
5.2 Metodologia de Campo	25
5.3 Análises Físicas	25
5.4 Análises Químicas	26
5.5 Fracionamento da Matéria orgânica	27
5.5.1 Fracionamento físico da matéria orgânica.....	27
5.5.2 Fracionamento químico da matéria orgânica.....	27
5.6 Análises Estatísticas	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1 Atributos físicos do solo	29
6.2 Atributos químicos do solo.....	33
6.3 Atributos da Matéria Orgânica do Solo	39
6.4 Análise multivariada.....	46
7. CONCLUSÕES	52
8. REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola têm sido fonte de preocupação do mundo nas últimas décadas, principalmente nos países tropicais em desenvolvimento (LAL & PIRCE, 1991). Desde então, vários conceitos de qualidade do solo foram propostos, o melhor deles, define a qualidade do solo como sendo a sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e animal saudável na face da terra (DORAN & PARKIN, 1994).

De acordo com Vaz (2016), o solo é considerado um sistema vivo em constante evolução, onde os organismos presentes são dependentes da matéria orgânica do solo (MOS), que fornecem nutrientes essenciais à sobrevivência (VAZ, 2016). Na natureza, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio, o sistema atinge um estado estável quando as taxas de adição e de perdas se equivalem (ADDISCOT, 1992). Neste sentido, a quantidade adicionada de carbono em determinadas condições edafoclimáticas depende das espécies e dos sistemas de cultura utilizados. Já as perdas de carbono ocorrem principalmente pela liberação de CO₂ na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da MOS e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão (MIELNICZUK, 2008).

A perturbação antrópica do sistema estável constituído por solo e cobertura vegetal, normalmente causa mais perdas do que ganhos de carbono, implicando a redução do seu teor ao longo do tempo e a degradação da qualidade do solo no desempenho das suas funções básicas (DORAN & PARKIN, 1994). Desse modo, um solo bem estruturado poderá favorecer à fertilidade, diminuir a erodibilidade do solo e conseqüentemente aumentar seu potencial produtivo, além de caracterizar-se como fator-chave para moderar o sequestro de C no solo (BRONICK & LAL, 2005). A dinâmica da MOS nos diversos sistemas de produção permite que haja o estabelecimento de estratégias de manejo que garantam incrementar ou manter a qualidade do solo ao longo do tempo (ROSSI et al., 2011). Ademais, a MOS não é considerada somente uma reserva de carbono, mas também, é a principal responsável pelos níveis de fertilidade da maioria dos solos tropicais (NOVAIS et al., 2007; MUÑOZ et al., 2007).

Um fato importante é que a região Sul do Amazonas está inserida no chamado “Arco do Desmatamento” faixa que se estende do Maranhão até Rondônia (COHEN et al., 2007). Apesar disso, os trabalhos que ocorrem medindo as alterações no solo com a transformação floresta/cultivo são muito incipientes, dado a dimensão territorial da região.

O desmatamento afeta progressivamente o ecossistema da Floresta Amazônica, entre as conseqüências estão a degradação do solo, perda das funções reguladoras da bacia hidrográfica e emissão de gases de efeito estufa, as quais estão se intensificando a um nível global e

consequentemente agravando os períodos de seca e ocorrência de incêndios (NASCIMENTO et al., 2019).

Portanto, este estudo se justifica sob a hipótese de que os diferentes cultivos possam causar efeitos diretos nos atributos do solo, especialmente na MOS, podendo levar à degradação de grandes áreas, causando um declínio na sua qualidade, dado principalmente pelo o manejo incorreto do solo.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Fracionar a matéria orgânica do solo e avaliar sua relação com os atributos do solo nos ambientes com transformação floresta em cultivo na região Sul do Amazonas.

2.2 Específicos

- Determinar os atributos físicos e de química e fertilidade do solo sob cultivo de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e em área de floresta em Canutama, AM.
- Determinar os teores da matéria orgânica do solo através dos fracionamentos químico e físico, sob cultivo de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e em área de floresta em Canutama, AM.
- Determinar o estoque de carbono no solo sob cultivo de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), urucum (*Bixa orellana*), guaraná (*Paullinia cupana*) e em área de floresta em Canutama, AM.

3. JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA

Nas últimas décadas, a Amazônia vem passando por um processo acelerado de ocupação, que levou a um desmatamento, que de acordo com dados do INPE (2019) 20% da sua área total até o ano de 2016. Segundo Cohen et al. (2007), o desmatamento está concentrado em uma faixa, que se estende pelo sul da região desde o Maranhão até Rondônia, denominada Arco do Desmatamento. No Amazonas, estas áreas ocorrem na região Sul-Sudeste, o que justifica estudos que visem quantificar os impactos das transformações dos ambientes de floresta em ambientes de produção.

As maiores reservas de carbono no ecossistema terrestre encontram-se no solo, chegando a ser 4 vezes maiores que o carbono da vegetação e 3,3 vezes maiores que o da atmosfera, porém as ações antrópicas vêm alterando massivamente o fluxo global de carbono

(MACHADO, 2005). Por outro lado, a região Amazônica em função de suas características peculiares como elevada precipitação e temperatura, influenciam de forma mais acelerada o processo de decomposição do carbono. Portanto, a avaliação dos diferentes compartimentos de carbono no solo e suas dinâmicas em ambientes com transformação floresta/cultivo é imprescindível para a avaliação da maior ou menor evolução/sequestro de carbono.

Quando o sistema nativo é alterado por atividades antrópicas, como no caso da Amazônia, o equilíbrio dinâmico é rompido e normalmente, as entradas são menores do que as saídas, conduzindo a uma redução da quantidade e modificando a qualidade MOS (CERRI et al., 2008). Neste sentido, é sabido que a matéria orgânica é relevante para a manutenção dos ambientes Amazônicos, podendo ter como consequência alterações nos atributos químicos e físicos do solo, sendo importante o monitoramento dessas transformações visando quantificar a magnitude dessas mudanças.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. A região Sul do Amazonas

A região Sul-sudeste do Amazonas ocupa 12% da área total do Estado do Amazonas, com aproximadamente 177.526,80 km², abrangendo os municípios de Canutama, Humaitá, Manicoré, Apuí e Novo Aripuanã. De forma geral esta região apresenta três diferentes fisiografias: várzea/terra firme; campo/floresta e áreas de relevo movimentado (BRASIL, 1978).

As áreas de várzea/terra firme apresentam características marcantes. As várzeas referem-se às áreas que margeiam os rios de águas barrentas, ricas em material suspenso, e sujeito à inundação sazonal as quais contribuem com novos depósitos de sedimentos, oferecendo uma camada de solo novo e fértil para a agricultura. Enquanto as áreas de terra firme não sofrem inundação e são formadas por sedimentos Terciários, caracterizados, com raras exceções, como de baixa fertilidade e elevada acidez (RODRIGUES & OLIVEIRA, 1997; CRAVO et al., 2002; AQUINO, 2014).

As áreas de campo/floresta são caracterizadas por unidades de campo, separadas umas das outras por zonas florestadas ou cerrados, cujos contatos nem sempre são gradativos. Além desses ambientes, verificam-se também áreas de relevo movimentado de acordo com CPRM (2001), predominando platôs que exibem superfícies topográficas planas, sendo a zona de borda marcada por colinas e cristas alinhadas e, localmente escarpadas, com desníveis entre 50 e 100 m, ambientes possivelmente relacionados ao cristalino (BRAUN & RAMOS 1959; AQUINO, 2014).

A região Sul do Amazonas está inserida na zona climática, pertencente ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso), segundo Köppen, sendo caracterizada pelo tipo Am (chuvas do tipo monção), que apresenta um período seco de pequena duração (BRASIL, 1978). Possui elevada pluviosidade entre 2200 e 2800 mm ao ano, o período chuvoso geralmente inicia-se em outubro, prolongando-se até junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C, com uma umidade relativa do ar variando entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

4.2. Caracterização das culturas do cupuaçu, urucum e guaraná

A agricultura na região Amazônica é predominantemente constituída pela agricultura familiar, e nesse seguimento que sempre foi associado a um manejo onde há a derrubada e queima da floresta nativa e posteriormente o cultivo, ainda possui pouca estabilidade territorial e diversidade agrônômica, e para a implantação de um desenvolvimento sustentável preza-se que seja incluída de forma variável culturas perenes, extração vegetal e pecuária (HURTIENNE, 2005).

Com o aumento da pressão internacional para a preservação da Amazônia, os produtos florestais não-madeireiros ganharam importância como alternativa para evitar desmatamentos e queimadas, diversos frutos tiveram forte crescimento no mercado nacional e internacional e entre eles estão o cupuaçu, guaraná e urucum, tornando-se algumas das principais culturas nos arranjos produtivos amazônicos, onde uma característica importante é a economia de subsistência identificada através dos cultivos mais apropriados para o desenvolvimento da área plantada, algo que promove a organização dos agricultores na região (NORONHA, 2009).

O cupuaçuzeiro se desenvolve em temperaturas relativamente elevadas, com média anual de 21,6 °C a 27,5 °C, umidade relativa média anual de 77% a 88% e precipitações médias anuais na faixa de 1.900mm a 3.100mm (SOUZA et al., 1999) e é considerada uma árvore típica da região amazônica, cultivada nos estados do Pará, Rondônia, Amazonas, Acre e Maranhão. Por estar entre as frutas regionais produzidas na Amazônia mais promissoras para a comercialização, o cupuaçu se destaca e tem intensa divulgação em todo território brasileiro, tendo seu valor econômico concentrado principalmente no processamento da polpa, mas a semente também apresenta valor comercial por sua semelhança botânica e química com o cacau (*Theobroma cacao*), e pode ser utilizada para produção de produtos semelhantes ao chocolate (COHEN & JACKIX, 2005; CARVALHO et al., 2008).

Todavia, para o produtor rural o valor de comercialização é baixo, equiparando com o custo de produção, pois o uso do congelamento para a conservação da polpa ainda é o método

utilizado na região. Portanto, é fundamental a busca de novos produtos que possam agregar valor a polpa do fruto (PEREZ et al., 2013).

O cultivo do cupuaçu é recomendado para a composição de Sistemas Agroflorestais – SAFs, prática indicada por diversos autores como alternativa mais apropriada para o uso da terra, sendo uma prática bastante utilizada em pequenas propriedades na região Amazônica (SOUZA et al., 1999; ARATO et al., 2003; CASTRO et al., 2009; SAID, 2011). Vasconcelos et al. (2016), verificaram a melhora da qualidade de vida de pequenos produtores na Amazônia que adotaram a prática de consórcio entre floresta e espécies agrossilvícolas como cupuaçu.

O guaranazeiro (*Paullinia cupana*) é uma espécie perene pertencente à família Sapindaceae, quando cultivada no ambiente nativo ele cresce como uma liana (trepadeira perene e lenhosa) até atingir o dossel da floresta, já quando cultivado de maneira convencional possui forma de arbusto sub-ereto com em média 3,0 metros de altura (CAVALCANTE, 1976). O Brasil é o único produtor em escalar comercial de guaraná, esse é comercializado principalmente em forma de xaropes ou extratos, mas também é utilizado em bastão ou em pó (TAVARES et al., 2005). É considerada uma das espécies de maior potencial econômico da Amazônia, e sua produção envolve pequenos agricultores sendo fonte de renda tanto no meio rural quanto no meio urbano (SOARES, 2017).

O guaranazeiro se desenvolve adequadamente em locais com temperatura média anual de 23 °C a 28 °C, umidade relativa de 80% e precipitação pluviométrica em torno de 1.500 a 3.000 mm/ano. A planta do guaraná tem sido cultivada em solos profundos e bem drenados, sem pedregosidade, e com textura variando de média a argilosa. Levantamento realizados em áreas de cultivo de guaranazeiro, mostram que no Amazonas a maioria dos plantios são em Latossolo Amarelo, 54% dos quais apresentavam textura muito argilosa e com pH que variaram de 4,6 a 5,4 (TAVARES et al., 2005).

O urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) é uma planta lenhosa da família Bixaceae, originária da América Tropical e nativa das florestas Amazônica e Atlântica e conhecida popularmente no Brasil principalmente como urucum. Na culinária é comum o uso do corante de urucum que tem a denominação de colorau, as plantas são geralmente propagadas por sementes e possuem diversas variações na cor, forma e tamanho dos frutos, na produtividade e no teor de bixina (REBOUÇAS & SÃO JOSÉ, 1996; SOUSA & FARIA, 2014). Montovani et al. (2013), concluíram que há genótipos que apresentam produtividades e teores de bixina superiores, possibilitando a seleção de plantas para cruzamentos onde se visa à obtenção de híbridos heteróticos e o melhoramento da espécie.

Os frutos são cápsulas armadas por espinhos maleáveis que se tornam vermelhas quando maduras, nesse momento extrai-se das sementes o corante natural composto principalmente pela bixina, a qual é o pigmento presente em maior concentração nas sementes, ela representa a maioria dos carotenóides totais, e na indústria alimentícia o corante das sementes de urucum é vendido na forma de extrato em diferentes concentrações (BATISTA, 1988; ANSELMO et al., 2008). O mercado de urucum corresponde a aproximadamente 90% do total do consumo de corantes naturais no país e em torno de 70% de corantes naturais no mundo (FABRI, 2015).

A planta desenvolve-se bem em temperatura média 22 e 27 °C, apresenta tolerância a seca, mas é ideal um ambiente com precipitações anuais bem distribuídas e superiores a 1200 mm e umidade relativa do ar em 80%, se adapta a diferentes tipos de solos, no entanto é recomendável solos com boa drenagem, fertilidade variando de média a alta, pH entre 5,5 e 7,0, bons níveis de cálcio e magnésio e baixos teores de alumínio (REBOUÇAS & SÃO JOSÉ, 1996; SILVA & FRANCO, 2000; MANFIOLLI, 2004).

4.3. Impactos provocados por transformações em ambientes de floresta/cultivos na Amazônia Brasileira

Na Amazônia existem diversos fatores de pressão sobre o bioma natural, porém os principais elementos que levam a degradação desse sistema são o desmatamento em larga escala, a degradação florestal e a expansão agrícola (VIEIRA et al., 2018), de acordo com o INPE (2019), em 2016 a área total desmatada da Amazônia chegou a 20%. Mudanças na cobertura florestal observada ao longo da Amazônia Brasileira podem ocasionar diversas consequências na biodiversidade, na emissão de gases causadores do efeito estufa e no clima. Um dos processos naturais, severamente afetados por essas mudanças, é o ciclo hidrológico, efeito dessa substituição da vegetação original modifica as taxas naturais de evapotranspiração, o que também afeta os padrões locais de precipitação e temperatura (MARTINEZ et al., 2007).

Além disso, segundo Silva et al. (2008), aproximadamente metade da água precipitada na Floresta Amazônica é proveniente da evapotranspiração da floresta. De maneira que as transformações neste ambiente podem trazer desequilíbrios de várias naturezas, com implicações na conservação dos solos e recursos hídricos, uma vez que a retirada da cobertura vegetal original permite maior transporte de sedimentos e nutrientes para os córregos e rios, causando uma série de problemas ambientais, como erosão e assoreamento (NOBRE et al., 1991).

Nesse sentido, o solo representa um dos compartimentos mais importantes do ecossistema para se diagnosticar as condições de degradação ambiental, pois as mudanças nos

estoques de carbono do solo, em áreas de transformação floresta/cultivo, possuem implicações importantes nas análises dos ciclos biogeoquímicos globais. Dessa forma, as práticas de manejo do solo assumem grande importância, pois o seu cultivo intensivo e preparo inadequado, associado às intensas precipitações pluviométricas constituem fatores responsáveis pela degradação da estrutura do solo e formação de camadas compactadas (SOUZA et al., 2004). De acordo com Santos et al. (2015), baixos teores de carbono orgânico no solo, ocasionam solos com fragilidade a ações antrópicas que podem desencadear profundos desequilíbrios.

Os ambientes de floresta nativa, especialmente aqueles formados em solos de baixa fertilidade natural, têm sua manutenção fortemente associada ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos do solo e a produtividade desse tipo de bioma está diretamente ligada a ciclagem de nutrientes contidos na MOS (MOREIRA & MALAVOLTA, 2004; CARDOSO et al., 2009).

Em trabalho realizado por Silva et al. (2007), eles concluíram que o grau de impacto da remoção da floresta nativa está relacionado ao manejo do sistema produtivo e das práticas agrícolas. Pereira (2017), avaliou a substituição de floresta Amazônica nativa por culturas agrícolas e concluiu que as culturas que mais se assemelham ao bioma natural podem amenizar os impactos nas características físicas e químicas do solo. Segundo Neves et al. (2007), a avaliação da qualidade do solo tem merecido atenção, e a quantificação de alterações em seus atributos, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, tem sido amplamente realizada para monitorar a produção sustentável dos solos e, conseqüentemente, a conservação dos recursos naturais.

Ao estudar as mudanças decorrentes da substituição de florestas por pastagens na Amazônia, Longo (1999) verificou que as principais alterações ocorrem nos valores de densidade do solo, porosidade total, distribuição do diâmetro dos poros e porosidade de aeração, armazenamento e disponibilidade de água às plantas, infiltração de água, agregação e teor de MO.

Em relação aos atributos biológicos, para Trannin et al. (2007), as alterações no ecossistema promovem modificações nas taxas de decomposição dos compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia do solo. Para Souza et al. (2008), a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo. Silva et al. (2010), concluíram que o manejo mais intensivo do solo e o uso frequente de agrotóxicos causam condição de estresse para a biomassa microbiana, devido ao fato de ser o compartimento da MOS mais rapidamente influenciado por fatores bióticos e abióticos.

De acordo com Moreira & Malavolta (2004), as substituições de florestas por outros sistemas de manejo em ambientes amazônicos promovem alterações nos atributos químicos no solo, aumentando o pH do solo, o teor de cátions trocáveis e a redução da acidez trocável decorrentes do desmatamento e da queima da floresta natural, pois a queima da vegetação acelera processo de mineralização de nutrientes como N, P, K, Ca e Mg (RHEINHEIMER et al., 2003), gerando um aumento temporário em nutrientes disponíveis, mas a produtividade do solo diminui drasticamente após um curto período de tempo (BRINKMAN & NASCIMENTO, 1973; MARTINS et al., 1991). O desmatamento também afeta, significativamente, o conteúdo de C e N do solo, pois causa quebra nos ciclos do carbono e dos nutrientes, os quais operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e à decomposição acelerada e contínua da MO, realizada pelos microrganismos (MARTINS et al., 1991; MOREIRA & MALAVOLTA, 2004).

4.4 Matéria orgânica do solo e seus constituintes

É considerada matéria orgânica (MO) toda matéria que apresenta na sua estrutura o elemento carbono, seja de origem vegetal ou animal, vivo ou morto, em vários estágios de decomposição (PRIMO et al., 2011; EMBRAPA, 2013). É no solo que se encontra o maior reservatório de carbono do ecossistema terrestre e diante desse fato os estudos relacionados a MOS é de extrema relevância (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; PRIMO et al., 2011). Compreender a dinâmica da MOS em ambientes tropicais sempre foi de extrema importância para compreensão do potencial eletroquímico do solo (ROCHA et al., 2005; MADARI et al., 2010), seja no fornecimento da capacidade de troca de cátions (CTC) e no fornecimento de nutrientes ao solo, seja nos estudos voltados aos aspectos biológicos e ambiental do solo (GOMES et al., 2017).

As substâncias húmicas, representam uma das frações da MOS e são consideradas indicativas dos processos e do grau de humificação da MOS, sendo subdivididas nas frações ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM) de acordo com a solubilidade em diferentes condições de pH (NASCIMENTO et al., 2010). Essas substâncias húmicas são responsáveis por influenciar diretamente na dinâmica de substâncias metálicas, podendo reduzir a toxicidade no solo, contribuir com a temperatura do solo por ter coloração escura, favorecer a aeração pela formação de agregados, possuir alta capacidade de retenção de água, aumentar a troca catiônica, fornecer nutrientes as plantas, ajudar a evitar erosão e tem função tamponante em amplos intervalos de pH (SLOBODA, 2007).

Tais substâncias húmicas não possuem uma definição simples, mas apresentam estrutura complexa e não definida de coloração escura, peso molecular relativamente alto, são de

natureza heterogênea, formadas através de reações químicas resultantes da transformação e degradação de restos de animais e vegetais e também pela síntese de microrganismos (STEVENSON, 1994; BENITES et al., 2003; SLOBODA, 2007). Os ácidos húmicos e fúlvicos apresentam elevadas CTC de origem orgânica na camada superficial do solo (TAN, 1993). De acordo com o modelo supra-estrutural proposto por Piccolo et al. (2001), pequenas unidades de substâncias húmicas se juntam através de forças fracas de interação como as de Van der Waals e de pontes de H⁺ em valores mais baixos de pH, formando agregados.

Os ácidos fúlvicos são definidos como a associação de pequenas moléculas hidrofílicas, com uma quantidade de grupos funcionais ácidos, sendo assim solúveis em pH ácido ou básico, entre as substâncias húmicas possui a menor massa molecular e a mais reativa (PICCOLO, 2001; DOBBSS et al.; 2009; PRIMO et al., 2011). Já os ácidos húmicos são associações nas quais predominam compostos hidrofóbicos estabilizados em pH neutro, são insolúveis em meio fortemente ácido e solúvel em meio alcalino (PICCOLO, 2001; DOBBS et al., 2009; BALDOTTO & BALDOTTO, 2014). O termo humina refere-se à fração orgânica insolúvel em soluções ácidas ou alcalinas, remanescente da extração dos ácidos húmicos e fúlvicos e é fortemente ligada a fração mineral do solo (STEVENSON, 1994; PRIMO et al., 2011), são fundamentais para a agregação de partículas e na maioria dos solos tropicais representam a maior parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003; MADARI, 2003; BALDOTTO & BALDOTTO, 2014; PLEGER et al., 2017).

4.5 Fracionamento químico e físico da MOS

O conteúdo da MOS é controlado pelos fatores de formação do solo, os quais condicionam o balanço de carbono em sistemas naturais não perturbados. Quando há a perturbação antrópica desses sistemas as condições para oxidação da MO são favorecidas e um novo estado de equilíbrio é alcançado, geralmente com menor conteúdo de MO no sistema (CANELLAS, 2005).

A quantificação do carbono vem sendo sistematicamente realizada tanto na forma de teores totais quanto em seus diferentes compartimentos. O fracionamento físico, baseado no tamanho (granulométrico) ou na densidade (densimétrico) das partículas do solo, é utilizado em estudos de quantificação e caracterização dos compartimentos da MOS, enquanto o fracionamento químico consiste na extração de substâncias húmicas do solo e posterior obtenção de três principais componentes (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas) baseada em diferenças na solubilidade das substâncias húmicas em soluções ácidas ou alcalinas (ROSCOE & MACHADO, 2002).

O fracionamento físico granulométrico da MOS considera a maior facilidade de obtenção das frações lábeis relativo ao uso do método químico de fracionamento da MOS (CONCEIÇÃO et al., 2014). Essa metodologia possibilita a separação de compartimentos com diferentes dinâmicas e funções no solo (MONI et al., 2012), e permite analisar a relação entre a composição da MO e a sua localização na estrutura do solo, a também a sua interação com a matriz mineral do solo (CHRISTENSEN, 1992). De acordo com Roscoe & Machado (2002), os métodos físicos de fracionamento da MOS são comumente mais escolhidos ao estudar a MOS são considerados menos destrutivos e mais relacionados com a função e estrutura da MOS *in situ*, do que os métodos químicos.

O fracionamento químico tem contribuído para o entendimento da pedogênese, da melhoria de propriedades físicas do solo, das interações organo-minerais, da diminuição da fixação de fósforo e também do impacto da agricultura na qualidade do solo. Entretanto, os métodos de fracionamento químico pouco têm contribuído para a identificação de compartimentos da MOS que diminua sob manejo intensivo e de modo distinto ao longo do tempo (ROSCOE & MACHADO, 2002). Tal fracionamento é utilizado para avaliar os teores de carbono nas diferentes frações húmicas do solo, pois essas representam mais de 80% do carbono e devido à sua grande reatividade apresentam envolvimento direto na maioria dos processos físicos, químicos e biológicos (CANELLAS et al., 2008).

4.6 Comportamento da matéria orgânica frente as reações químicas do solo

As reações ocorridas no solo são todas governadas pelo seu pH. Nos solos tropicais, normalmente o mesmo apresenta baixos valores de pH, o que se deve as características meteorológicas como alta precipitação e temperaturas elevadas. Nesta situação, predominam cargas dependentes de pH, a exemplos da caulinita e os oxihidróxidos de ferro (hematita e goethita) de alumínio (gibbsita) (FONTES et al., 2001). Compondo o reservatório de carga do solo, tem-se a participação da MOS, visto que pode ser adsorvida ou complexada a caulinita e aos óxidos de Fe e Al (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989).

Nos solos tropicais em que predominam os óxidos de Fe e Al, o ponto de carga zero (PCZ), ocorre em valores elevados de pH (PRADO, 2003), com a adição de MO grande parte dos óxidos são complexados com os compostos orgânicos do solo, interação que resulta na diminuição das cargas positivas do solo, aumentando, portanto, a CTC, com isso ocorre a diminuição do pH do PCZ (OADES, 1984). Desta forma, nos solos minerais e altamente pedogeneizados, com altos teores de alumínio e baixos valores de pH, características indesejáveis para o desenvolvimento da planta, geralmente, têm menor impacto negativo no

desenvolvimento das plantas, devido ao elevado poder tampão da MOS (GILLMAN, 1985; ANDA et al., 2008).

Portanto, em solos altamente intemperizados, a MOS é fundamental na geração de cargas negativas, principalmente na superfície do solo, onde há acúmulo de MO em solos minerais. (BALDOTTO et al., 2011). Todavia, estudos mais detalhados sobre a MOS para a região Amazônica a qual se encontra nesse cenário, é extremamente necessária, uma vez que as práticas agrícolas que estão se alastrando que usam o fogo ou o manejo inadequado pode acarretar na degradação da MO natural, seja por processos de queimadas, seja mediante aos processos erosivos (CERRI et al. 2006; 2007, CAMPOS et al., 2013; AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015, CAMPOS et al., 2016; SOARES et al., 2016; GOMES et al., 2017).

4.7 Matéria orgânica como fonte de nutriente a planta

Entre os diferentes papéis da MOS, está associado o fornecimento de nutrientes ao solo, vários estudos têm mostrado a contribuição de MO no suplemento de nitrogênio (N), enxofre (S) e fósforo (P) ao solo (ROCHA et al., 2005; NOVAIS et al., 2007; PINHEIRO et al., 2013).

Embora as principais vias de entrada de N na litosfera, na ausência de adubações nitrogenadas, sejam descargas elétricas atmosféricas e a fixação biológica, por bactérias, fungos e algas especializadas em sequestrar o N do ar. No solo grande parte deste macronutriente encontra-se predominante na forma de compostos orgânicos (NOVAIS et al., 2007), uma vez que a MOS apresenta na estrutura compostos nitrogenados (STEVENSON, 1994).

Outro macronutriente extremamente difícil de ser manejado nos solos tropicais é o P, visto que sua disponibilidade é regulada por processos biogeoquímicos (CASSAGNE et al., 2000). Vários estudos têm evidenciado que o mecanismo de disponibilidade de P deve ser encarado de duas formas, a curto e a longo prazo. Tratando-se de um ecossistema natural, a longo prazo o fenômeno de disponibilidade de P no solo é regido por fator geoquímico, ou seja, a natureza do material de origem como reservatório de P por ações do intemperismo. Neste caso, a distribuição de P no perfil do solo é função do estágio de pedogênese do solo. Todavia, quando se avalia o P a curto prazo, os processos biológicos são mais determinantes, visto que o maior aproveitamento deste elemento pela planta é proveniente do P mineralizado da MOS (CROSS & SCHLESINGER, 1995; CHEN et al., 2003).

Duda (2000), trabalhando com diversas amostras de solos do Brasil, observou que 7 a 83% do P total do solo se encontram na forma orgânica e 5 a 86% deste podem estar na fração orgânica lábil (GUERRA, 1996). Como os ácidos húmicos podem atuar como transportadores de elétrons, entre microrganismos e óxidos de Fe, se estes contiverem P adsorvido, após a

desestabilização da estrutura, pode-se esperar um aumento da solubilização desse nutriente (BALDOTTO & BALDOTTO, 2014).

4.8 Matéria orgânica na qualidade física do solo e mitigação de CO₂

A conversão de florestas em áreas de agricultura ou pecuária, afeta as propriedades físicas e biológicas da superfície terrestre e estes efeitos possuem impacto potencial no clima, fatores como o desmatamento e queimadas produzem gases de efeito estufa como que afetam a composição da atmosfera e embora o gás metano e o óxido nitroso apresentem potencial de aquecimento maior que o CO₂, esse é emitido em maiores quantidades devido à queima de combustíveis fósseis e desmatamento e queimada (BAEDE et al., 2001; MACHADO, 2005).

A mudança das áreas de floresta no estado do Amazonas tem alterado os aspectos físicos do solo, assinalando a instauração de processos de degradação do solo devido ao uso inadequado do mesmo (CAMPOS, 2009). Entre a diversidade de atributos de natureza física do solo que refletem a influência do manejo, pode-se destacar aqueles associados a estrutura do solo, como volume total de poros, macroporos, microporos e suas propriedades covariativas: macroporosidade e microporosidade, densidade do solo (Ds), resistência do solo à penetração, afirmam Vasconcelos et al. (2014), Alho et al. (2014; 2016) e Gomes et al. (2017).

Os estudos realizados na Amazônia, relacionados à influência do manejo têm revelado sua contribuição na qualidade física do solo (AQUINO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015; SOARES et al., 2016). Segundo Vasconcelos et al. (2010; 2014), a MOS repercute no valor da Ds tanto pela melhoria na estabilidade estrutural do solo como pela densidade da mesma ser menor do que a dos sólidos do solo. Krzic et al. (2004), comprovaram o efeito da MOS sobre o grau de compactação ou densidade relativa do solo, que o incremento de 1% no teor de carbono orgânico reduz, independentemente da textura do solo, a densidade relativa máxima do solo em 11%; esses resultados confirmam a importância da adoção de sistemas de manejo que promovam o aumento no teor da MOS. Esse efeito positivo deve-se à baixa densidade específica do material orgânico, variando 0,9 a 1,3 g cm⁻³ (REINERT et al., 2008), o que lhe confere a função amortecedora ou dissipadora de energias de compactação do solo (BRAIDA et al. 2006; GOMES et al., 2017).

A contribuição da MO na estruturação do solo não apenas contribui para formação de agregados estáveis, mas para o sequestro de carbono (BARRETO et al., 2009; BARROS et al., 2013). A MO, ao atuar como polímero natural, agregando as partículas do solo, acaba ficando aprisionada nos agregados formados. Protegida na estrutura dos agregados, os microrganismos não conseguem degradá-la tão facilmente, assim, pode-se dizer que solos bem estruturados ou

o uso do solo que vise ao aumento de MO deste, pode, ao longo do tempo, servir como reservatório de fluxo de CO₂ (TISDALL & OADES, 1982).

Historicamente, a diminuição na quantidade de MOS devido às mudanças no uso da terra e agricultura tem contribuído para o aumento de CO₂ na atmosfera, já em solos submetidos a manejos conservacionistas, resultam no acúmulo de C no solo (LAL, 2004). Como observado, com o sistema de agroflorestas e plantio direto, nota-se um aumento nos estoques de carbono e fertilidade do solo, além da melhora nos atributos físicos (COSTA et al., 2015; CECAGNO et al., 2018). O manejo correto do solo através de agricultura conservacionista é indispensável para que haja o retardamento ou para amenizar os impactos negativos das mudanças climáticas global (MACHADO, 2005).

4.9. Análise estatística multivariada na avaliação dos atributos do solo

A estatística multivariada permite o estudo de fenômenos complexos, pois realiza o tratamento de diversas variáveis simultaneamente, o objetivo de sua aplicação é de simplificação estrutural, de classificar e agrupar, de investigar a dependência entre variáveis, de predição e de elaborar hipóteses e testá-las, com isso facilitando a interpretação dos fenômenos estudados e o seu desenvolvimento (JOHNSON & WICHERN, 1992; BAKKE et al., 2008).

Diversos autores utilizaram métodos de análise multivariada no estudo das relações dos atributos do solo e indicadores de qualidade do solo, Fontana et al. (2008), concluíram que os resultados das análises multivariadas indicam que as distribuições das substâncias húmicas são determinantes para a separação de horizontes diagnósticos ricos em MO. Oliveira et al. (2015), observaram que através do uso das técnicas de análises multivariadas foi possível verificar as similaridades ou as diferenças, com base nos atributos químicos e físicos do solo. Com isso surge a necessidade da utilização das técnicas de análise multivariada, a fim de verificar as semelhanças e as diferenças entre os diversos ambientes e estudar simultaneamente suas relações (MARIANI et al., 2006; FREITAS et al., 2014).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da área do estudo e caracterização dos ambientes

O trabalho foi desenvolvido no Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama, no estado do Amazonas, Brasil sob as coordenadas geográfica (8° 11' 22" S; 64° 00' 83" W (Figura 1), em quatro áreas, sendo três áreas sob uso agrícola com cultivo de urucum (*Bixa orellana*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e guaraná (*Paullinia cupana*) e uma área de floresta.

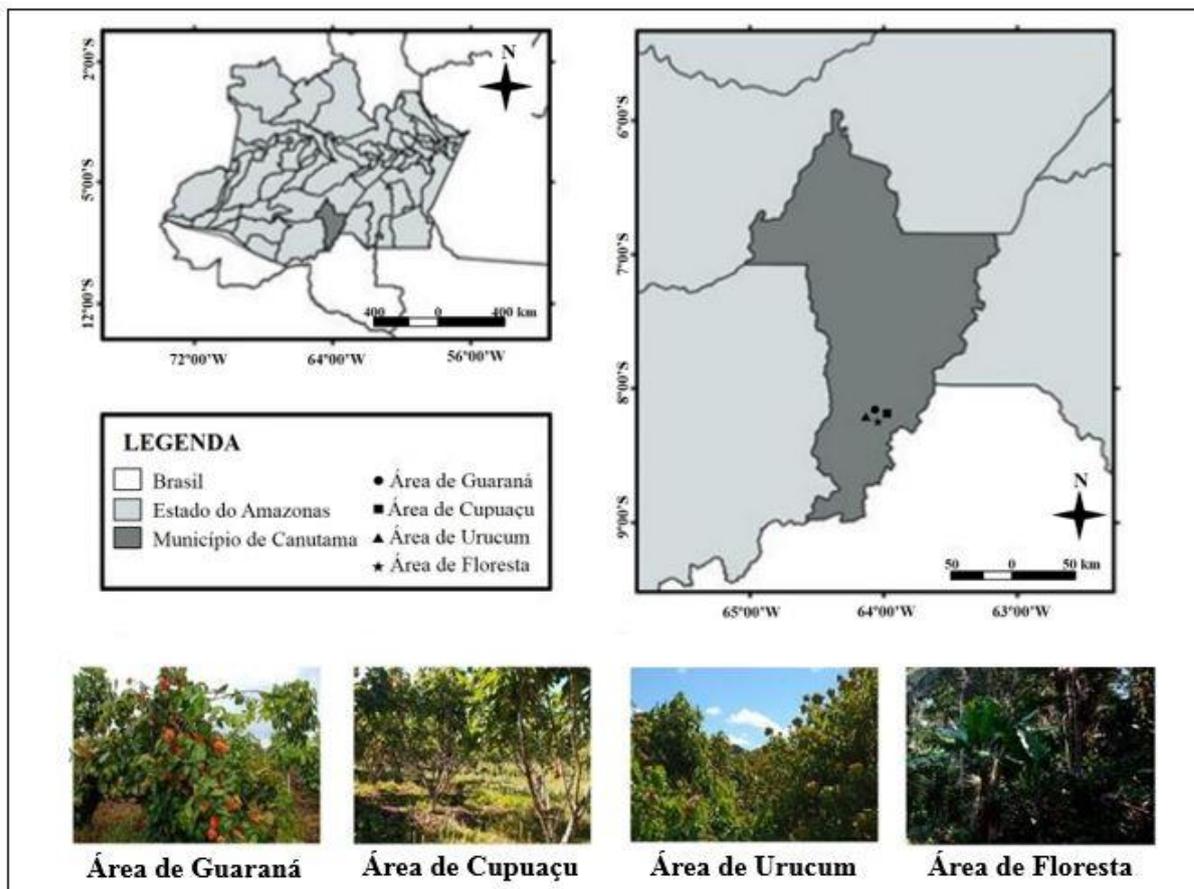


Figura 1. Mapa do estado do Amazonas e localização das áreas de estudo no município de Canutama – AM.

As áreas com cultivo de cupuaçu e guaraná possuem 7 anos, com espaçamento de 5 x 4 m e 5 x 5 m respectivamente. O cultivo de urucum foi o mais recentemente implantado, possui 3 anos, com espaçamento de 5 x 4 m. Para a limpeza da área para a posterior implantação das culturas, foi utilizado fogo. A área de floresta é caracterizada como floresta secundária com 23 anos de pousio após a derrubada da mata original.

O solo da área de estudo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. A área está localizada sobre a Planície Amazônica, entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais recentes e antigos, do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definido, o relevo apresenta declives muito suaves, e a drenagem natural é deficiente (EMBRAPA, 1997). No que se refere à caracterização climática, O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical chuvoso, subtipo climático Am (chuvas do tipo monção), com período seco de pequena duração, com temperatura anual entre 25° e 27°C e pluviosidade variando de 2.800 a 3.100 mm ao ano (Alvares et al., 2013).

5.2 Metodologia de Campo

Foram estabelecidas malhas com 32 pontos por área, possuindo um espaçamento entre pontos de 10 x 8 m no cultivo do urucum, de 6 x 6 m no cultivo de cupuaçu e 10 x 10 m nas áreas de floresta e guaraná, em três camadas (0,00–0,05, 0,05–0,10 e 0,10–0,20 metros). Foram coletadas dois tipos de amostras por ponto e por camada, sendo elas em torrão e em anel volumétrico, perfazendo um total de 192 amostras por área e 768 amostras no total.

Após a coleta, as amostras foram secas a sombra e em seguida foi realizado o destorroamento. O processo consiste em separar o solo em frações, sendo utilizado um jogo de peneiras de diferentes malhas, 9, 4 e 2 mm de diâmetro, respectivamente, em que o material que passou na peneira de 9 mm e ficou retido na peneira de 4 mm foi utilizado para realização de análise de agregação do solo, já o restante que passou pela peneira de 2 mm foi utilizado para as análises de textura e de química e fertilidade do solo.

5.3 Análises Físicas

A partir do material retido na peneira de 4 mm foram realizadas as análises de agregados, onde o método utilizado foi o de Kemper & Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm. Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (SOLOTEST) por 15 minutos e com 32 oscilações por minuto. O material retido em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105 °C até secagem completa, e em seguida mensurada as respectivas massas em uma balança digital. Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras e a estabilidade dos agregados avaliados pelo diâmetro médio ponderado (DMP) obtido pela fórmula proposta por Castro Filho et al. (1998), e o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo Schaller & Stockinger (1953), de acordo com as equações:

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

$$DMG = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N n_i \log D_i}{\sum n_i}} \quad (2)$$

em que n_i é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira, D_i é o diâmetro médio de uma determinada peneira e N é o número de classes de peneiras.

A análise de textura foi realizada utilizando o material de solo de 2 mm. Empregou-se o método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em agitador de alta rotação por 15 min em 20 g de solo, seguindo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). A fração argila foi separada por sedimentação, as areias por tamisação e o silte obtido pela diferença.

Para as determinações da densidade do solo (Ds), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), porosidade total (Pt) e umidade gravimétrica (Ug), as amostras coletadas em anéis volumétricos foram saturadas por meio da elevação gradual, até dois terços da altura do anel, de uma lâmina de água em uma bandeja plástica. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da MiP do solo, sendo submetidas a uma tensão de -0,006 MPa (TEIXEIRA et al. (2017).

Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas e levadas à estufa a 105 °C para a determinação da Ug, Ds e Pt, já a MiP foi determinada pela diferença entre Pt e MaP (TEIXEIRA et al., 2017).

5.4 Análises Químicas

A partir da TFSA foram realizadas análises de pH em água, acidez potencial (H + Al), alumínio trocável (Al^{3+}), teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), potássio (K) e carbono orgânico total (COT). O pH em água foi determinado na relação solo:água de 1:2,5. A determinação do H+Al foi extraída por meio de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ tamponado a pH 7,0 sendo titulado com NaOH em presença de fenolftaleína como indicador; o Al^{3+} foi determinado utilizando-se KCl 1 mol L^{-1} como extrator e NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ como titulante em presença de azul de bromotimol como indicador colorimétrico, de acordo com Donagema et al, (2011). Já os teores totais de cátions trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}), foram extraídos em KCl 1 mol L^{-1} , e determinados por espectrometria de absorção atômica (TEIXEIRA et al., 2017). O fósforo (P) e o potássio (K) foram extraídos por extrator Mehlich⁻¹, determinando-se o K^+ por fotometria de chama e o P por espectrometria no UV visível (TEIXEIRA et al., 2017). Enquanto o COT foi determinado pelo método da oxidação via-úmida e (Walkley-Black, 1934) com modificações propostas por Yeomans & Bremner (1988) e Teixeira et al. (2017).

Após a quantificação dos teores de cátions trocáveis e acidez potencial, foram calculados os valores da soma de bases (SB), da CTC efetiva e da porcentagem de saturação por bases (V%). A SB foi obtida pela soma dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ . A CTC efetiva foi obtida pela soma da SB com a H+Al. E a V% estimada pela razão entre SB e a CTC

expressa em % (TEIXEIRA et al., 2017). O COT foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans & Bremner (1988).

Já o estoque de carbono (EC) será definido pela equação:

$$EC = (Ds \times h \times COT)/10 \quad (3)$$

em que Ds se dá pela densidade do solo (g cm^{-3}); h é a espessura da camada de solo amostrada (cm).

5.5 Fracionamento da Matéria orgânica

5.5.1 Fracionamento físico da matéria orgânica

O fracionamento físico da MOS foi realizado de acordo com o método de Cambardella & Elliot (1992). Para tal, foram pesados 10 g de TFSA, sendo adicionados 30 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), e homogeneizadas por 16 horas em agitador horizontal. Posteriormente a homogeneização, a suspensão obtida foi passada em peneira de 0,05 mm. O material retido na peneira equivale ao COp (carbono orgânico particulado) associada à fração areia, e o que permeou a peneira corresponde às frações silte e argila.

O material retido na peneira, após a lavagem, foi depositado em vidrarias, sendo seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C , até que apresente massa constante. Posteriormente o material foi macerado em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de carbono orgânico de acordo com Yeomans & Bremner (1988). Os teores de carbono orgânico associado aos minerais (COam) foi definido pela diferença entre o teor de COT e o teor de COp.

5.5.2 Fracionamento químico da matéria orgânica

Para o fracionamento químico da MO, foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (SWIFT, 1996), com adaptação de Benites et al. (2003), obtendo-se carbono orgânico na fração ácido fúlvico (C-FAF), fração ácido húmico (C-FAH) e fração humina (C-HUM) somente para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, pois são as camadas que possuem maiores teores de carbono. Para isso, foi pesado uma massa de 1g de TFSA e adicionado ao contato 20 mL de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA) e o resíduo foi feita através de centrifugação a 5000 rpm por 30 minutos. Após esse processo, ainda foi realizada mais uma lavagem com a mesma solução, juntando-se o extrato com o anteriormente conquistado, ocasionando um volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi guardado para determinação da humina. O pH do EA foi ajustado a 1,0 com H_2SO_4 20% v/v, seguido de

decantação por 18 horas. O precipitado (C-FAH) foi separado da fração solúvel (C-FAF) por centrifugação e ambos os volumes regulados a 50 mL com água destilada.

A determinação quantitativa do carbono orgânico nas C-FAF e C-FAH foi realizada utilizando 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio $0,042 \text{ mol L}^{-1}$ e 5,0 mL de H_2SO_4 concentrado, em uma chapa aquecedora a 150°C por 30 minutos, e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. No resíduo, foi determinado o carbono orgânico da fração humina (C-HUM), após a secagem completa do material em estufa a 65°C , foi adicionado 5,0 mL de dicromato de potássio $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$ e 10,0 mL de H_2SO_4 , em chapa aquecedora a 150°C por 30 minutos, e a titulação realizada com sulfato ferroso amoniacal $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ (YOEMANS & BREMNER, 1988).

5.6 Análises Estatísticas

Após a determinação dos atributos do solo os dados foram submetidos às análises univariada e multivariada, sendo que as comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado foram analisadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Na estatística descritiva dos dados foram calculados os valores de média, mediana, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose e a hipótese de normalidade dos dados que foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov dos atributos determinados em laboratório, utilizando o programa computacional SPSS 21 (IBM corp. 2012). O coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como: $\text{CV} < 12\%$, $12 < \text{CV} < 60\%$, e $\text{CV} > 60\%$ para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Para as análises multivariadas, foram realizadas análise fatorial dos componentes principais, os quais foram realizados a fim de verificar se há significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com relação as diferentes áreas em estudo, sendo divididas por camadas (0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 m), obtendo como resposta quais são os ambientes cujos atributos sofrem maior influência pela ação antrópica (REIS, 2001).

A adequabilidade da análise fatorial foi feita pela medida estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, segundo a classificação de Reis (2001), são divididas em: $< 0,50$ inaceitável; $0,50 - 0,60$ má; $0,60 - 0,70$ razoável; $0,70 - 0,80$ média; $0,80 - 0,90$ boa e $0,90 - 1,00$ muito boa.

A extração dos fatores foi realizada pela análise de componente principal (ACP), agrupando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco. A escolha

do número de fatores a ser utilizado será feita pelo critério de Kaiser, onde consiste em incluir fatores que apresentam autovalores superiores a 1,0, em geral, utilizam-se aquelas componentes que conseguem sintetizar uma variância acumulada em torno de 70% (VINCE, 2005). A fim de simplificar a análise fatorial, será feita a rotação ortogonal (*varimax*) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais.

Nos gráficos de dispersão da ACP após rotação *varimax*, os escores foram construídos com valores padronizados, de tal forma que a média é zero e a distância entre os escores é medida em termos do desvio padrão. Sendo assim as variáveis em um mesmo quadrante (1°, 2°, 3° e 4°) e mais próximas no gráfico de dispersão das ACP são mais bem correlacionadas (REIS, 2001). Da mesma forma, escores atribuídos às amostras que se encontram próximos e em um mesmo quadrante, estão relacionadas com as variáveis daquele quadrante (BURAK et al., 2010).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Atributos físicos do solo

A estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos do solo sob diferentes usos do solo estão dispostos nas tabelas 1 (0,00–0,05 m), tabela 2 (0,05–0,10 m) e tabela 3 (0,10–0,20 m). Os valores de coeficiente de variação (CV%) encontrados, de acordo com classificação de Warrick e Nielsen (1980), pode-se afirmar que os a maioria dos atributos físicos analisados apresentaram de baixa a média variabilidade. Assim como o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), onde se apresentou-se significativo para todas as variáveis avaliadas.

A Ds no geral foi menor na área de floresta em comparação às áreas de cultivo em todas as camadas avaliadas, e se igualou estatisticamente a área de cupuaçu na camada de 0,00-0,05 m e à área de urucum da camada de 0,10-0,20 m. Mascarenhas et al. (2017), Rodrigues et al. (2018) também observaram ao comparar sistemas de manejo que a floresta apresentou menores valores de Ds. É importante mencionar que o acúmulo de serapilheira na superfície do solo e o sistema radicular do ambiente (ROSOLEM & PIVETTA, 2017) influenciam na Ds, de forma que, segundo os autores, as áreas que apresentam maior variabilidade de raízes apresentam menor compactação do solo.

Em relação a agregação do solo, os atributos DMG e DMP na camada de 0,00-0,05 m foram maiores nas áreas de guaraná e floresta e apresentaram menores valores nas área de cupuaçu e guaraná. Nas camadas subsequentes o cultivo de urucum foi o que apresentou os maiores valores desses atributos. Brizzi et al. (2019) verificaram menores valores de DMG e

Tabela 1. Estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos do solo na camada de 0,00 a 0,05 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds	DMG	DMP	Classes %			MaP	MiP	Pt	Ug	Areia	Silte	Argila
	g cm ⁻³	----- mm	-----	>2,00	2,0-1,0	<1,00	----- m ³ m ⁻³ -----			----- g kg ⁻¹ -----			
Guaraná													
Média	1,11a	2,85a	3,19a	94,50a	0,75b	4,68b	10,16c	36,14a	45,88a	33,05ab	398,12a	376,97c	224,41a
Mediana	1,10	2,86	3,21	95,12	0,63	4,23	9,64	36,08	46,23	32,79	391,00	372,60	224,00
¹ CV	8,61	6,05	2,00	2,28	51,99	37,56	34,34	11,45	9,41	15,20	9,31	9,42	10,06
Assimetria	0,04	-1,16	-1,23	-1,21	0,41	1,12	0,83	0,31	0,09	-0,08	0,59	-0,23	-0,17
Curtose	-0,51	1,98	1,61	1,73	-0,44	1,20	-0,04	-0,31	-1,23	-1,10	-0,37	-0,27	0,40
² K-S	0,09*	0,16*	0,22*	0,19*	0,15*	0,17*	0,14*	0,09*	0,12*	0,09*	0,99*	0,09*	0,12*
Cupuçu													
Média	0,91c	2,57c	3,10b	91,39b	0,95a	7,56a	15,18a	25,79b	41,33b	30,33bc	257,36b	523,19a	209,89a
Mediana	0,92	0,92	2,60	91,38	0,97	7,30	14,84	25,52	41,66	29,62	251,00	525,20	209,20
CV	8,20	8,20	8,81	3,26	40,86	35,41	20,63	16,39	9,55	16,52	13,86	8,56	10,65
Assimetria	-0,58	-0,58	-0,35	-0,51	0,14	0,50	-0,32	-0,28	0,33	0,54	0,21	0,12	-0,24
Curtose	0,19	0,19	-0,36	-0,72	-1,10	-0,62	-0,73	-0,90	-0,77	-0,41	-1,18	-0,53	-0,63
K-S	0,09*	0,10*	0,07*	0,14*	0,14*	0,11*	0,11*	0,11*	0,14*	0,13*	0,11*	0,08*	0,19*
Urucum													
Média	1,02b	2,72ab	3,16ab	93,59a	0,70b	5,70b	12,42bc	34,44a	46,66a	34,83a	384,16a	427,08b	184,55b
Mediana	1,04	2,80	3,20	94,84	0,62	4,59	11,92	34,10	46,59	34,59	384,60	424,22	200,00
CV	10,11	11,76	3,63	3,94	61,62	58,95	34,76	8,37	5,75	7,23	12,30	10,34	20,69
Assimetria	-0,99	-0,82	-1,05	-1,05	0,92	1,09	1,48	-0,32	0,38	0,05	0,24	0,45	-0,65
Curtose	1,82	-0,19	0,11	0,13	0,70	0,21	4,22	-0,79	-0,43	-1,11	-0,69	-0,74	-0,62
K-S	0,09*	0,18*	0,25*	0,24*	0,13*	0,24*	0,09*	0,15*	0,13*	0,09*	0,10*	0,12*	0,20*
Floresta													
Média	0,85c	2,87a	3,20a	94,94a	0,84b	4,40b	13,95ab	27,54b	40,55b	29,51c	248,48b	536,62a	214,67a
Mediana	0,86	2,82	3,21	94,93	0,73	4,58	14,24	27,16	40,04	28,26	251,00	536,00	208,00
CV	10,43	6,38	1,86	2,09	58,92	37,41	26,90	15,06	7,90	14,93	8,35	5,78	13,25
Assimetria	-0,13	0,37	0,14	0,06	0,78	0,07	-0,08	0,01	0,50	0,58	0,11	0,14	-0,02
Curtose	0,59	-0,87	-1,07	-1,04	-0,22	-0,79	-1,27	-0,48	-0,94	-0,44	-1,35	-1,15	-0,59
K-S	0,10*	0,14*	0,13*	0,11*	0,13*	0,15*	0,14*	0,09*	0,15*	0,15*	0,13*	0,13*	0,15*

¹ CV: coeficiente de variação (%); ² K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; PT: porosidade total; UG: umidade gravimétrica. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 2. Estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos do solo na camada de 0,05 a 0,10 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds	DMG	DMP	Classes %			MaP	MiP	Pt	Ug	Areia	Silte	Argila
	g cm ⁻³	----- mm	-----	>2,00	2,0-1,0	<1,00	-----	m ³ m ⁻³	-----	-----	-----	g kg ⁻¹	-----
Guaraná													
Média	1,11a	2,56b	3,02b	88,09b	2,75a	8,95a	10,19b	36,06a	47,45a	33,26a	348,88b	411,83b	230,62c
Mediana	1,09	2,57	3,02	88,14	2,71	8,51	9,49	36,19	46,40	32,99	349,80	409,20	232,00
¹ CV	7,16	12,39	5,57	6,59	55,97	50,62	40,17	6,79	8,73	10,28	7,78	8,17	17,53
Assimetria	-0,06	-0,87	-1,09	-0,99	0,22	1,34	0,31	-0,21	0,64	0,05	0,36	-0,21	-1,23
Curtose	-1,00	1,04	1,58	1,44	-0,82	2,12	-0,88	-0,15	-0,18	-0,90	0,14	2,00	2,92
² K-S	0,14*	0,19*	0,15*	0,13*	0,09*	0,21*	0,09*	0,07*	0,13*	0,10*	0,07*	0,13*	0,15*
Cupuçu													
Média	1,16a	2,59b	3,04b	89,25b	2,94a	7,81a	11,29b	22,98c	33,54b	20,28b	290,08c	409,27b	304,79a
Mediana	1,17	2,61	3,07	90,21	2,63	7,27	10,35	22,58	33,36	19,51	291,80	398,40	317,20
CV	6,91	8,03	3,99	4,15	44,95	33,09	20,27	12,09	7,37	15,11	7,35	12,60	15,19
Assimetria	0,10	-0,29	-1,05	-0,38	0,57	0,28	1,30	0,27	0,53	0,88	-0,17	1,94	-3,13
Curtose	-0,91	0,27	1,58	-0,67	-0,21	-0,75	1,15	-0,99	-0,38	0,10	-0,89	6,01	13,46
K-S	0,09*	0,08*	0,14*	0,14*	0,14*	0,11*	0,21*	0,10*	0,09*	0,13*	0,08*	0,14*	0,21*
Urucum													
Média	1,06b	2,90a	3,19a	94,23a	1,18b	4,58b	13,79a	33,05b	46,30a	31,67a	391,53a	321,72c	305,24a
Mediana	1,06	2,95	3,21	94,76	0,88	4,05	13,81	33,07	46,16	31,27	380,80	320,40	308,00
CV	5,79	6,12	2,41	3,51	82,06	52,20	15,85	6,00	5,88	8,03	11,30	10,40	12,87
Assimetria	-0,08	-0,80	-1,21	-1,52	1,90	1,36	0,06	0,32	0,33	0,67	0,98	-0,28	0,27
Curtose	-0,02	-0,21	0,90	2,06	3,67	1,38	-1,13	-0,20	0,86	0,59	0,31	-0,41	-0,84
K-S	0,10*	0,14*	0,16*	0,17*	0,19*	0,16*	0,14*	0,07*	0,09*	0,10*	0,17*	0,11*	0,12*
Floresta													
Média	0,93c	2,62b	3,07b	90,01b	2,58a	7,40a	10,61b	24,12c	34,25b	21,48b	235,51d	484,46a	269,93b
Mediana	0,96	2,66	3,10	91,32	2,35	6,64	10,04	23,45	33,81	20,28	237,60	486,60	268,00
CV	8,15	11,13	5,04	6,13	68,56	52,63	21,28	15,27	9,46	20,18	8,35	8,56	13,77
Assimetria	-0,38	-0,30	-0,57	-0,52	0,37	0,70	0,39	0,57	0,33	0,41	-0,34	-0,47	0,08
Curtose	-0,56	-0,56	-0,54	-0,70	-1,01	-0,17	-0,14	-0,57	-1,13	-1,28	-0,21	0,10	-0,85
K-S	0,14*	0,09*	0,14*	0,13*	0,10*	0,15*	0,18*	0,11*	0,15*	0,20*	0,14*	0,11*	0,10*

¹CV: coeficiente de variação (%); ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; PT: porosidade total; UG: unidade gravimétrica. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 3. Estatística descritiva e teste de média dos atributos físicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds	DMG	DMP	Classes %			MaP	MiP	Pt	Ug	Areia	Silte	Argila
	g cm ⁻³	----- mm -----		>2,00	2,0 -1,0	<1,00	----- m ³ m ⁻³ -----			----- g kg ⁻¹ -----			
Guaraná													
Média	1,13a	2,07b	2,69bc	76,71b	6,57b	17,18ab	9,23b	38,92a	48,89a	33,72a	350,82b	427,12b	216,69b
Mediana	1,14	2,02	2,68	76,48	6,32	18,02	9,29	38,57	48,44	33,31	348,20	427,00	224,00
¹ CV	7,15	18,10	8,83	10,81	35,35	36,47	31,59	9,87	8,79	11,34	8,66	5,90	15,11
Assimetria	-0,65	0,35	0,06	0,05	0,58	-0,02	0,31	0,37	0,37	0,78	0,86	-0,01	-0,20
Curtose	-0,25	0,20	-0,27	-0,30	-0,69	-0,15	-0,90	1,72	-0,55	0,22	0,34	0,36	-0,60
² K-S	0,13*	0,15*	0,08*	0,06*	0,11*	0,11*	0,12*	0,11*	0,15*	0,13*	0,12*	0,08*	0,11*
Cupuacu													
Média	1,14a	1,98b	2,56c	71,05b	9,09a	19,33a	13,13a	10,26c	36,46c	31,92ab	284,78c	418,46b	288,23a
Mediana	1,17	2,00	2,61	73,16	8,70	18,29	12,97	10,72	36,43	31,67	283,20	418,40	285,20
CV	7,09	21,59	14,34	18,95	45,35	45,10	26,92	27,13	7,97	8,96	7,90	5,32	5,43
Assimetria	-0,92	-0,09	-0,52	-0,55	0,29	0,48	0,45	-0,20	-0,66	0,58	0,18	0,55	0,42
Curtose	0,03	-0,85	-0,41	-0,36	-0,52	-0,50	0,39	-0,09	1,21	-0,20	-0,91	0,59	-0,46
K-S	0,16*	0,08*	0,10*	0,11*	0,07*	0,11*	0,16*	0,12*	0,12*	0,12*	0,07*	0,08*	0,13*
Urucum													
Média	1,04b	2,56a	3,03a	89,31a	2,43c	8,25c	11,23ab	32,06b	42,51b	30,96b	378,21a	411,46b	229,52b
Mediana	1,04	2,69	3,07	90,08	2,32	7,44	10,50	32,26	43,38	30,60	387,60	412,00	220,00
CV	6,64	10,91	5,01	4,73	46,13	39,49	25,00	6,10	6,47	5,18	10,44	11,39	17,59
Assimetria	0,28	-0,96	-1,46	-0,96	0,91	1,01	0,57	-0,02	-0,53	0,59	0,36	0,23	0,46
Curtose	-0,89	0,76	2,42	0,37	1,60	0,38	-0,42	-1,25	-0,56	-0,10	0,13	-0,99	-1,09
K-S	0,11*	0,18*	0,17*	0,15*	0,10*	0,20*	0,12*	0,14*	0,14*	0,11*	0,11*	0,10*	0,15*
Floresta													
Média	0,99b	2,22b	2,86ab	83,66a	4,13c	13,24b	12,81a	10,66c	35,55c	31,79ab	231,14d	470,83a	296,83a
Mediana	1,00	2,38	2,94	86,36	3,82	10,33	12,77	10,64	35,72	31,18	234,00	463,40	304,00
CV	7,41	20,37	10,43	11,53	63,98	61,83	28,04	33,65	9,03	11,44	8,88	6,42	9,40
Assimetria	-0,13	-0,39	-0,70	-0,58	0,06	0,76	0,38	0,39	-0,63	0,85	-0,09	0,21	-0,59
Curtose	-1,05	-1,02	-0,26	-0,36	-1,43	-0,30	-0,33	-0,32	0,58	0,28	0,58	-0,83	-0,37
K-S	0,11*	0,15*	0,15*	0,14*	0,15*	0,16*	0,19*	0,19*	0,13*	0,19*	0,13*	0,13*	0,13*

¹CV: coeficiente de variação (%); ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; PT: porosidade total; UG: unidade gravimétrica. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

DMP em área de floresta do que em áreas de pousio, enquanto Rossi et al. (2016) verificaram que esses atributos sofrem influência significativa do manejo adotado.

As áreas com maior porcentagem de agregados $> 2,00$ mm seguidas dos menores valores de agregados entre $2,00-1,00$ mm e $< 1,00$ mm na camada de $0,00-0,05$ m foram os cultivos de guaraná, urucum e floresta, na segunda camada a área de urucum sobressaiu as demais áreas e de $0,10-0,20$ m foram a área de floresta e o cultivo de urucum.

Quanto aos valores de MaP, MiP e Pt, observou-se que na camada de $0,00-0,05$ m o maior valor de MaP ocorreu na área de cupuaçu seguido pela área de floresta, e inversamente a esse fato, essas áreas apresentaram os menores valores de MiP. Já as áreas de urucum e guaraná demonstraram valores superiores de Pt e Ug em todas as camadas avaliadas. A Ds e Pt possuem relação direta tem relação direta, onde à medida que ocorre aumento de Ds reduz a porosidade (CRUZ et al., 2014), caso o qual não foi encontrado neste trabalho.

Em relação a textura do solo, na camada de $0,00-0,05$ m a fração areia foi superior nas áreas de guaraná ($398,12 \text{ g kg}^{-1}$) e urucum ($384,16 \text{ g kg}^{-1}$), o silte foi maior nas áreas de cupuaçu ($523,19 \text{ g kg}^{-1}$) e floresta ($536,62 \text{ g kg}^{-1}$) e a fração argila foi superior nas áreas de guaraná ($224,41 \text{ g kg}^{-1}$), cupuaçu ($209,89 \text{ g kg}^{-1}$) e floresta ($214,67 \text{ g kg}^{-1}$). De $0,05-0,10$ m e $0,10-0,20$ m o comportamento das frações areia e silte foram semelhantes, com os respectivos valores para a areia que foi superior na área de urucum ($391,53$ e $378,21 \text{ g kg}^{-1}$), silte superior na floresta ($470,83$ e $470,83 \text{ g kg}^{-1}$). Já a argila apresentou-se superior nas áreas de cupuaçu ($304,79 \text{ g kg}^{-1}$) e urucum ($305,24 \text{ g kg}^{-1}$) na camada de $0,05-0,10$ e na camada de $0,10-1,20$ m foi superior nas áreas de cupuaçu ($288,23 \text{ g kg}^{-1}$) e floresta ($296,83 \text{ g kg}^{-1}$). Ao analisar as frações que compõe a textura do solo, é possível aferir que a fração silte é predominante em relação as demais, corroborando com Brito et al. (2018) que obteve resultados semelhantes estudando os atributos físicos na região sul do Amazonas.

6.2 Atributos químicos do solo

Os valores do teste de média e estatística descritiva para os atributos químicos do solo são apresentados nas tabelas 4, 5 e 6 para as camadas de $0,00-0,05$, $0,05-0,10$ e $0,10-0,20$ m respectivamente.

Diante dos valores de CV% encontrados, de acordo com classificação de Warrick e Nielsen (1980), pode-se afirmar que os a maioria dos atributos químicos analisados apresentaram de baixa a média variabilidade com exceção dos atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} e SB na

área de floresta na camada de 0,00 a 0,05 m, e Ca^{2+} , SB e V na camada 0,05 a 0,10 m na área de cupuaçu, os quais são classificados com alta variabilidade.

Em relação ao teste de normalidade de K-S, que hipotetiza uma distribuição normal de dados, notou-se que a área de floresta apresentou uma distribuição de dados com maior variância, tendo assim valores distante da média, mostrando que para as três camadas avaliadas houve atributos como Ca^{2+} e Mg^{2+} que foram não significativos ao nível de 5% de probabilidade. Já entre as áreas cultivadas, quase todos os atributos foram significativos, com exceção de K^+ na segunda camada de cupuaçu e pH e K^+ na primeira e terceira camada de guaraná, respectivamente.

Se tratando da curtose a maioria dos atributos apresentou resultados negativos, ou seja, apresentaram uma distribuição mais alongada do que a curva normal. Somente nas áreas de cupuaçu e floresta na camada de 0,05 a 0,10 m a maioria dos dados de assimetria foram negativos, nas demais áreas os restantes dos valores foram na maioria positivos indicando assimetria à direita, onde a maioria dos valores estão acima da média (PINO, 2014).

Os valores de pH de acordo com a classificação de Costa (2007), foram considerados muito baixos nas três camadas analisadas e em todos ambientes, ocorrendo pouca variação entre eles, situando-se na faixa entre 3,65 e 4,12. Tal fato ocorre devido a condição natural dos solos ácidos da Amazônia (NASCIMENTO et al., 2019), por consequência do intenso processo de lixiviação e lixiviação das bases, diretamente relacionado com o clima tropical, corroborando com os resultados de trabalhos realizados por Moline & Coutinho (2015), que também observaram pouca variação entre os valores de pH, em todas camadas avaliadas, entre áreas de floresta nativa e cultivos de sucessão na região amazônica.

O teor de Al^{3+} na camadas de 0,00-0,05 m foi superior na área de cultivo de cupuaçu sendo de $5,79 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ enquanto a área de urucum obteve o menor valor $4,28 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Já na camada de 0,05-0,10 m o maior valor observado foi de $5,73 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na área cultivada com guaraná e as demais áreas não diferiram entre si estatisticamente. Na camada de 0,10-0,20 m todos os valores encontrados foram altos, ficando abaixo de $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e a maior média observada foi de $4,96 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na área de floresta. A acidez trocável no solo é fortemente controlada pelo pH, desta forma houve uma alta incidência de alumínio trocável, independente da camada, pois de acordo com Ferreira et al. (2006), solos com pH inferior a 5 apresentam grande solubilidade de alumínio, causando alta incidência do mesmo.

Tabela 4. Estatística descritiva e teste de média dos atributos químicos do solo na camada de 0,00 a 0,05 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística	pH	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	P
Descritiva	(H ₂ O)	cmol _c kg ⁻¹						%		mg kg ⁻¹		
Guaraná												
Média	3,84a	5,05b	8,78b	0,10b	1,19a	0,33b	1,69b	6,85ab	10,84c	15,66a	75,68c	6,11c
Mediana	3,82	5,00	8,42	0,09	1,14	0,34	1,68	6,91	10,15	15,81	75,38	6,20
¹ CV (%)	5,32	13,49	26,67	27,74	35,28	37,00	31,27	12,39	35,79	42,87	8,64	14,37
Assimetria	0,38	0,01	0,38	0,54	0,25	-0,12	0,09	0,08	2,47	0,29	-0,15	-0,17
Curtose	-0,63	-1,08	-0,62	-0,68	-1,10	-0,80	-1,34	-0,85	8,95	0,48	-0,86	-1,29
² K-S	0,36	0,17*	0,08*	0,17*	0,10*	0,10*	0,12*	0,18*	0,16*	0,13*	0,18*	0,16*
Cupuçu												
Média	3,79a	5,79a	13,84a	0,07c	1,08a	0,27bc	1,47b	7,31a	15,32a	10,22b	81,41b	3,54d
Mediana	3,82	5,60	12,87	0,06	1,16	0,25	1,63	7,10	14,34	10,28	80,19	3,42
CV (%)	5,22	20,91	22,57	22,14	47,45	27,98	37,44	20,29	21,87	32,42	7,88	26,96
Assimetria	0,40	0,78	0,50	0,24	-0,29	0,09	-0,24	1,03	0,51	-0,17	-0,06	0,32
Curtose	0,20	0,01	-1,11	-1,12	-1,04	-0,19	-1,03	0,89	-1,11	-0,16	-1,01	-0,66
K-S	0,10*	0,12*	0,17*	0,22*	0,12*	0,14*	0,13*	0,19*	0,14*	0,11*	0,10*	0,08*
Urucum												
Média	3,82a	4,28c	9,83b	0,14a	1,37a	0,66a	2,43a	6,58ab	11,83bc	18,72a	65,76d	7,06b
Mediana	3,82	4,40	9,57	0,13	1,25	0,56	2,45	6,63	11,81	18,03	66,60	7,17
CV (%)	5,81	23,25	21,68	39,58	38,76	51,16	36,40	14,90	13,99	34,54	17,81	18,36
Assimetria	-0,05	-0,62	1,29	0,93	0,01	0,75	-0,07	-0,33	0,24	0,07	-0,19	-0,63
Curtose	-1,22	0,06	2,87	0,33	-0,96	-0,67	-1,12	0,24	-0,51	-1,22	-0,92	-0,35
K-S	0,15*	0,10*	0,13*	0,18*	0,11*	0,19*	0,12*	0,14*	0,12*	0,12*	0,12*	0,18*
Floresta												
Média	3,65b	5,13b	12,36a	0,11b	0,52b	0,18c	0,83c	6,16b	13,43ab	5,86c	87,13a	10,56a
Mediana	3,66	5,10	12,87	0,11	0,29	0,13	0,52	6,12	13,77	4,01	91,23	10,32
CV (%)	3,09	11,04	11,39	24,67	86,87	61,17	70,40	13,43	11,30	59,37	8,60	16,36
Assimetria	-0,84	0,55	-0,61	0,72	1,02	0,89	1,04	0,20	-0,33	0,94	-1,02	-0,03
Curtose	3,04	0,88	-0,43	0,48	-0,87	-0,90	-0,85	-1,10	-1,33	-0,99	-0,74	-0,46
K-S	0,13*	0,15*	0,16*	0,15*	0,35	0,29	0,35	0,12*	0,14*	0,29	0,30	0,08*

¹CV: coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Al³⁺: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; SB: soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P: fósforo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 5. Estatística descritiva e teste de média dos atributos químicos do solo na camada de 0,05 a 0,10 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística	pH	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	P
Descritiva	(H ₂ O)	cmol _c kg ⁻¹					%		mg kg ⁻¹			
Guaraná												
Média	3,84a	5,73a	10,68a	0,06b	0,79b	0,27b	1,15b	6,81a	12,14a	10,46b	82,81b	4,56b
Mediana	3,85	5,80	10,89	0,06	0,86	0,28	1,21	6,92	12,27	10,80	82,16	4,61
¹ CV (%)	3,52	7,40	11,97	31,30	46,44	43,09	40,32	11,77	10,55	34,25	6,50	22,64
Assimetria	-0,15	-0,18	0,02	0,20	-0,20	0,31	-0,20	-0,96	-0,21	-0,07	0,43	-0,10
Curtose	-0,19	-0,51	-0,72	-0,89	-0,78	-0,71	-0,73	0,67	-1,10	-0,64	-0,10	-1,04
² K-S	0,07*	0,12*	0,12*	0,12*	0,16*	0,15*	0,14*	0,21*	0,10*	0,08*	0,11*	0,11*
Cupuçu												
Média	3,83a	4,91b	9,06b	0,06b	0,96b	0,18c	1,21b	6,16b	10,68b	11,82b	79,71b	3,33c
Mediana	3,90	4,70	9,41	0,05	0,79	0,15	1,00	6,15	10,47	9,96	83,67	3,43
CV (%)	5,19	13,86	18,31	17,48	69,29	55,20	62,57	14,22	18,13	61,40	13,82	28,11
Assimetria	-0,46	0,60	-0,32	0,10	1,36	0,87	1,34	0,08	0,72	0,85	-1,11	-0,01
Curtose	-0,82	-0,37	-0,87	-0,25	1,23	0,27	1,27	-0,81	0,29	-0,17	0,47	-0,89
K-S	0,16*	0,21*	0,12*	0,25	0,08*	0,01*	0,17*	0,07*	0,14*	0,16*	0,16*	0,08*
Urucum												
Média	3,92a	4,73b	9,41b	0,10a	1,49a	0,41a	2,34a	7,21a	11,79a	18,81a	69,35c	6,62a
Mediana	3,83	4,60	9,41	0,09	1,69	0,42	2,44	7,00	11,48	19,06	68,15	7,03
CV (%)	5,23	13,98	11,40	31,30	39,29	38,69	33,46	17,78	11,74	26,41	12,79	20,91
Assimetria	0,81	0,10	0,15	0,78	-0,51	-0,32	0,71	0,36	0,99	-0,02	0,01	-0,41
Curtose	-0,10	-0,67	-0,01	-0,03	-0,79	-1,26	1,72	0,12	0,50	-1,05	-0,43	-0,73
K-S	0,25*	0,12*	0,11*	0,19*	0,15*	0,19*	0,09*	0,10*	0,18*	0,11*	0,10*	0,13*
Floresta												
Média	3,69a	5,03b	9,05b	0,06b	0,25c	0,07d	0,41c	5,51c	9,77b	4,23c	92,63a	7,07a
Mediana	3,76	4,90	9,10	0,06	0,23	0,08	0,37	5,66	9,82	3,83	93,50	7,04
CV (%)	4,38	10,51	12,02	47,99	55,42	43,33	43,78	10,99	11,56	42,70	3,30	17,85
Assimetria	-0,98	-0,10	-0,68	0,21	4,42	3,62	3,66	-0,12	-0,09	3,31	-3,43	-0,25
Curtose	-0,46	-1,10	0,42	-0,97	21,69	16,44	16,37	-0,96	-0,67	14,01	14,57	0,55
K-S	0,21*	0,12*	0,11*	0,15*	0,32	0,30	0,22*	0,14*	0,11*	0,21*	0,25*	0,09*

¹CV: coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Al³⁺: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; SB: soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P: fósforo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 6. Estatística descritiva e teste de média dos atributos químicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística	pH	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	P
Descritiva	(H ₂ O)	----- cmol _c kg ⁻¹ -----					----- % -----		----- mg kg ⁻¹ -----			
Guaraná												
Média	3,96 b	4,33 b	10,40 a	0,05 c	0,77 bc	0,16 bc	1,02 b	5,55 b	11,09 a	8,99 c	80,75 b	3,95 a
Mediana	3,93	4,30	10,07	0,04	0,81	0,16	1,04	5,48	11,13	9,57	80,03	3,91
¹ CV (%)	3,43	7,64	16,83	35,47	39,06	57,65	34,28	7,83	13,72	34,00	7,03	23,83
Assimetria	0,24	0,02	0,48	0,20	-0,75	0,17	-0,49	0,57	0,29	-0,66	0,44	-0,09
Curtose	-0,85	-0,32	-0,79	-1,44	-0,54	-1,44	-0,45	-0,52	-1,09	-0,40	-0,38	-1,08
² K-S	0,14*	0,12*	0,13*	0,26	0,16*	0,17*	0,10*	0,12*	0,12*	0,11*	0,10*	0,13*
Cupuçu												
Média	4,12 a	4,62 b	8,36 b	0,06 c	0,52 c	0,11 c	0,73 c	5,37 b	8,87 c	8,31 c	87,01 a	2,61 b
Mediana	4,12	4,60	8,58	0,06	0,50	0,10	0,70	5,46	9,01	8,82	86,56	2,57
CV (%)	4,63	7,12	11,25	21,34	46,70	38,65	36,53	7,52	11,88	36,78	5,06	27,27
Assimetria	-0,40	-0,03	-0,59	0,39	0,36	0,33	0,43	-0,09	-0,44	0,00	-0,04	0,70
Curtose	-0,30	-0,91	-0,26	-0,34	-1,01	-0,62	-0,84	-0,87	-0,92	-1,45	-1,28	-0,44
K-S	0,12*	0,15*	0,11*	0,23*	0,18*	0,17*	0,15*	0,11*	0,11*	0,14*	0,15*	0,16*
Urucum												
Média	3,93 b	4,56 b	8,76 b	0,07 a	0,77 b	0,18 b	1,04 b	5,73 b	9,83 b	11,63 b	80,13 b	4,44 a
Mediana	3,95	4,61	8,75	0,061	0,77	0,19	0,97	5,73	9,78	11,58	78,71	4,37
CV (%)	3,46	12,91	12,61	40,61	48,62	58,13	44,65	11,25	13,18	39,54	9,32	24,69
Assimetria	-0,46	-0,51	0,24	0,59	0,37	0,48	0,57	-0,03	0,08	0,72	-0,39	-0,09
Curtose	-0,61	-0,64	-0,67	-0,54	-0,33	-0,51	-0,18	-0,79	-0,53	-0,39	-0,47	-1,31
K-S	0,19*	0,12*	0,09*	0,20*	0,10*	0,14*	0,15*	0,09*	0,09*	0,17*	0,14*	0,14*
Floresta												
Média	3,88 b	4,96 a	8,45 b	0,07 ab	1,34 a	0,31 a	1,89 a	6,62 a	10,21 b	18,92 a	72,16 d	4,48 a
Mediana	3,91	4,90	8,50	0,08	1,48	0,32	1,98	6,75	10,31	18,72	71,13	4,41
CV (%)	3,98	10,85	6,06	23,15	36,36	34,17	27,18	12,37	5,73	15,38	8,35	20,38
Assimetria	-0,50	0,54	0,16	-0,09	-1,50	-1,54	-1,77	-0,37	-0,99	0,01	1,17	0,12
Curtose	-0,72	-0,03	0,66	-1,06	1,32	1,60	4,01	-0,50	1,21	0,65	5,40	-0,87
K-S	0,13*	0,20*	0,15*	0,21*	0,25	0,25	0,20*	0,16*	0,11*	0,11*	0,19*	0,10*

¹CV: coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade; Al³⁺: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; SB: soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P: fósforo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

A acidez potencial apresentou valores elevados nas três camadas de solo, sendo que na camada de 0,00-0,05 m a área de cupuaçu e floresta foram iguais estatisticamente, apresentando valores entre 12 e 14 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, nas demais camadas o guaraná apresentou valores superiores com relação as outras áreas, ficando em ambas as camadas com valores acima de 10 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, corroborando com o estudo de Moreira e Fageria (2009), quando estudando os níveis de fertilidade de solos amazônicos verificaram altos teores de acidez potencial, o que predominam no complexo de troca de cátions dos solos da região.

Com relação a SB, a área de cultivo de urucum nas duas camadas superiores apresentou maior valor em relação as demais áreas, sendo 2,43 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ na camada de 0,00-0,05 m e 2,34 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ na camada de 0,05-0,10 m, pois os teores das bases trocáveis K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} também foram superiores nessa área, enquanto na camada de 0,10-0,20m a área de floresta teve o maior valor de SB, 1,89 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Machado et al. (2017), também obteve resultados semelhantes onde constatou que na camada de 0,00-0,10 m, os valores de soma de bases foram maiores em áreas de cultivos perenes quando comparados com área de floresta nativa, porém independente da área pesquisada os resultados da soma de bases foram baixos devido à baixa fertilidade dos solos da região amazônica.

Quando analisados os valores da CTC efetiva e potencial, os maiores valores observados na camada superficial do solo foram encontrados na área cultivada com cupuaçu, sendo 7, $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para CTC efetiva e 15,32 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de CTC potencial. Na camada de 0,05-0,10 m os maiores valores foram encontrados nas áreas de guaraná e urucum, com CTC efetiva de 6,81 e 7,21 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e CTC potencial de 12,14 e 11,79 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Na camada mais profunda analisada no trabalho o maior valor para CTC efetiva foi encontrado na área de floresta, sendo 6,62 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, e na área de de guaraná 11,09 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ para CTC potencial.

No geral, em todas as áreas e camadas analisadas a CTC efetiva ficou acima de 4,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, sendo considerada alta e a CTC potencial entre 5,0 e 15,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, classificada com valores médios, de acordo com a Embrapa (2013), esse fator possui grande relevância, pois a CTC tem influência direta na nutrição do solo, pois permite que o solo armazene com maior eficiência elementos de carga positiva, ou seja, quanto maior a CTC do solo, maior é a quantidade de cátions que ele conseguirá reter, sendo uma característica de extrema importância para a tomadas de decisão (ALVES et al., 2014; SOBRAL et al., 2015).

A saturação por bases apresentou variações de acordo com as camadas, na superficial a médias que se destacaram foram as das áreas do guaraná e o urucum 16,66 e 18,72% respectivamente, e foram iguais estatisticamente. Na camada de 0,05 a 0,10 m o urucum se

sobressaiu as outras, com a média de 18,81%, já na terceira camada, a área de floresta foi a que apresentou maior média, diferindo estatisticamente das outras, exibindo o valor de 18,92%.

A partir dos teores de saturação por bases encontrados, em todas os ambientes a saturação por bases foram inferiores a 50%, configurando-se assim em solos distróficos, conforme descrito por Sobral et al. (2015), quando a saturação apresenta uma taxa inferior a 50%, caracteriza um solo muito intemperizado, podendo causar toxidez na planta e inibir a absorção de bases trocáveis desejadas.

Já a saturação por alumínio, apresentou os maiores valores nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, ambos em área de floresta, em todas os ambientes apresentou valores acima de 60%, Moreira & Malavolta (2004) e Moreira & Fageria (2009) atestam que a grande parte dos solos do estado do Amazonas apresentam alta ou muito alta saturação por alumínio, esses altos teores de saturação por alumínio e baixos teores de bases trocáveis, também foram encontrados por Moreira & Malavolta (2004) e Moline & Coutinho (2015), sendo isso conferido ao fato do avançado estágio de intemperismo destes solos (CARVALHO, 1986).

Ao observar os teores de fósforo, a área de floresta se destacou em todas as camadas avaliadas, com a maior média na camada superficial com 10,56 mg kg¹, na camada de 0,05-0,10 m não diferiu do cultivo de urucum e de 0,10-0,20 m se igualou aos cultivos de guaraná e urucum. De acordo com Giácomo et al. (2015), a presença de P disponível em maior quantidade na região de floresta pode ser explicada por deposição de resíduos vegetais dessa formação vegetal existentes, pois conforme os autores, quanto maior a quantidade desses resíduos, maior será a quantidade de carbono orgânico presente e conseqüentemente, maior o teor de P disponível. Boccuzzi (2017) estudando o ciclo no nitrogênio e fósforo remanescentes florestais verificou que a maior quantidade de P foi encontrada em solos com espécies pioneiras, corroborando com os valores observados no presente estudo, visto que o teor de P no solo foi maior na área de floresta.

6.3 Atributos da Matéria Orgânica do Solo

A estatística descritiva e teste de média dos atributos relacionados a MOS se apresentam nas tabelas 7, 8 e 9 para as respectivas camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. Os valores de CV% encontrados de acordo com Warrick & Nielsen (1980), pode-se afirmar que todos atributos da MOS apresentaram de baixa a média variabilidade. Com base nos resultados, observou-se que a maioria dos atributos apresentou curtose negativa. Verificou-se também que

grande parte dos dados exibiu assimetria positiva, contudo, por meio do teste K-S foi possível constatar a normalidade para todos os atributos, visto que foram significativos.

Quando avaliado o EC, verificou-se que as médias não diferiram entre si na camada de 0,00-0,05. Corroborando com Sales et al. (2018) e Mascarenhas et al. (2017) onde obtiveram as mesmas médias de EC em diferentes cultivos na camada superficial do solo quando comparado com área de floresta no bioma Amazônico. Giácomo et al. (2015), concluíram ao comparar tipos de vegetação, que as maiores médias de EC são encontrados nas vegetações de maior porte. Segundo Tognon et al. (1998) o teor de MO dos Latossolos na região amazônica é maior somente para os horizontes superficiais e Parron et al. (2015) afirmam que as determinações de EC são importantes ferramentas na avaliação de mudanças no bioma.

Nas camadas de 0,05-0,10 m as menores médias foram na área com cultivo de urucum e de 0,10-0,20 m foram as áreas de cupuaçu e urucum, essas áreas que apresentaram médias de EC inferiores à área de floresta, seguiram a tendência de também apresentarem as menores médias de COT. Nessa perspectiva, a pesquisa corrobora com Mascarenhas et al. (2017), onde concluíram que mesmo em sistemas com culturas perenes, ao comparar com área de floresta nativa os diferentes arranjos espaciais das culturas, usos e manejos do solo influenciam nos teores e estoques de carbono do solo.

Os teores de COT na área de floresta, mostrou-se superior em todas as camadas avaliadas, com $26,02 \text{ g kg}^{-1}$ de 0,00-0,005 m, $21,28 \text{ g kg}^{-1}$ de 0,05-0,10 m e $12,86 \text{ g kg}^{-1}$ de 0,10-0,20 m. Tal fato também foi confirmado nos trabalhos de Matias et al. (2012) e Giácomo et al. (2015), onde verificaram que sistemas de floresta nativa, independente da camada estudada, possui maiores teores de COT em relação às demais formações vegetais avaliadas.

Os resultados encontrados provenientes do fracionamento granulométrico da MO indicam os valores referentes ao COP e CO_{am} na camada superficial do solo, os maiores teores de COP foram registrados na área de floresta ($8,53 \text{ g kg}^{-1}$) cupuaçu ($7,14 \text{ g kg}^{-1}$) e urucum ($7,66 \text{ g kg}^{-1}$). Na camada de 0,05-0,10 m, a maior média também ocorreu na área de floresta com $7,27 \text{ g kg}^{-1}$. E na camada mais profunda avaliada os maiores teores foram encontrados na área de floresta que obteve $4,18 \text{ g kg}^{-1}$ e urucum $3,45 \text{ g kg}^{-1}$, as quais não diferiram estatisticamente.

Estudos demonstram que normalmente os maiores valores de COP são encontrados na camada superficial do solo devido à maior introdução de resíduos vegetais e a decomposição desses, dessa forma a manutenção dos valores de COP nos sistemas, está na capacidade em proporcionar maior e aporte de resíduos vegetais favoráveis à mineralização (CONCEIÇÃO et al., 2014; FACCIN et al. 2016; NANZER et al., 2019).

Tabela 7. Estatística descritiva e teste de média dos atributos da matéria orgânica do solo na camada de 0,00 a 0,05 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	EC	COT	COp	COam	C-FAF	C-FAH	C-HUM	Relação AH/AF	Relação (AH+AF)/HUM
	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹							
Guaraná									
Média	11,34a	20,67b	6,27b	14,62a	2,71b	2,91ab	15,37a	1,11b	0,35bc
Mediana	11,50	19,77	6,41	13,82	2,71	3,02	13,90	1,08	0,33
¹ CV (%)	28,05	29,44	39,89	30,04	24,59	36,46	34,49	29,56	30,78
Assimetria	0,53	0,53	-0,06	0,13	0,30	-0,10	0,57	0,34	0,50
Curtose	-0,51	-0,82	-0,75	-1,13	-0,90	-0,87	-0,28	-0,41	-0,58
² K-S	0,15*	0,10*	0,08*	0,12*	0,10*	0,09*	0,14*	0,09*	0,12*
Cupuaçu									
Média	10,05a	22,31ab	7,14ab	13,45a	2,95b	3,50a	15,73a	1,08b	0,49a
Mediana	9,693	20,88	7,017	13,13	2,87	3,58	13,76	1,18	0,47
CV	31,02	35,89	48,59	41,47	15,58	30,46	50,96	33,02	53,39
Assimetria	0,48	0,46	0,06	0,24	0,77	-0,18	0,52	-0,75	0,48
Curtose	-0,11	-0,46	-1,48	-1,31	0,18	-0,42	-0,81	0,71	-1,02
K-S	0,13*	0,15*	0,15*	0,18*	0,13*	0,09*	0,14*	0,12*	0,18*
Urucum									
Média	10,80a	22,43ab	7,66ab	14,58a	1,92c	2,66b	17,53a	1,38a	0,28c
Mediana	11,04	21,28	7,91	14,61	1,98	2,61	16,70	1,32	0,26
CV	21,79	23,09	35,58	27,15	16,64	33,52	28,53	33,49	20,56
Assimetria	0,25	1,18	0,32	0,31	-0,09	0,37	1,13	0,46	-0,02
Curtose	-0,66	1,58	-0,25	-0,17	-0,97	0,02	1,00	0,76	-0,66
K-S	0,13*	0,14*	0,08*	0,11*	0,11*	0,15*	0,15*	0,15*	0,12*
Floresta									
Média	10,92a	26,02a	8,53a	16,18a	4,53 ^a	2,98ab	17,41a	0,73c	0,42ab
Mediana	10,35	24,76	8,39	16,18	4,39	3,11	17,12	0,69	0,43
CV	15,66	16,92	31,77	33,06	12,72	36,10	17,72	33,57	20,20
Assimetria	0,38	0,16	0,25	0,08	0,73	-0,10	-0,21	0,10	0,00
Curtose	-0,72	-1,26	-0,98	-1,11	-0,61	-0,82	-1,04	-1,29	-1,25
K-S	0,15*	0,13*	0,12*	0,11*	0,18*	0,09*	0,14*	0,12*	0,13*

¹CV: coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade. EC: estoque de carbono; COT: carbono orgânico total; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; C-FAF: ácido fúlvico; C-FAH: ácido húmico; C-HUM: humina. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 8. Estatística descritiva e teste de média dos atributos da matéria orgânica do solo na camada de 0,05 a 0,10 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	EC	COT	COp	COam	C-FAF	C-FAH	C-HUM	Relação AH/AF	Relação (AH+AF)/HUM
	t ha ⁻¹	g kg ⁻¹							
Guaraná									
Média	6,67 b	12,32 d	2,67 b	9,42 b	2,31 c	2,03 b	7,83 c	0,91 a	0,56 a
Mediana	6,68	12,49	2,60	9,26	2,16	1,94	7,58	0,88	0,57
¹ CV (%)	17,65	20,68	27,71	23,09	20,69	24,28	26,19	27,45	26,40
Assimetria	-0,17	-0,08	0,38	-0,07	0,36	0,49	0,23	0,21	0,00
Curtose	-0,40	-1,12	-0,26	-1,32	-1,35	-0,40	-1,26	-1,20	-0,98
² K-S	0,11*	0,12*	0,10*	0,16*	0,16*	0,14*	0,14*	0,11*	0,11*
Cupuacu									
Média	9,81 a	17,20 b	2,80 b	14,12 a	3,31 ^a	2,86 a	11,12 b	0,92 a	0,52 a
Mediana	9,898	17,642	2,701	14,927	3,25	2,94	11,37	0,91	0,52
CV	16,54	17,75	43,84	20,73	19,99	22,07	20,82	17,98	17,91
Assimetria	-0,34	-0,82	0,00	-0,94	0,34	-0,47	-0,62	0,15	-0,21
Curtose	-0,29	0,54	-1,06	0,22	-0,54	-0,24	-0,24	-1,29	-0,66
K-S	0,09*	0,19*	0,08*	0,15*	0,11*	0,13*	0,13*	0,13*	0,13*
Urucum									
Média	7,56 b	14,59 c	3,44 b	10,25 b	2,04 c	1,19 c	10,82 b	0,59 b	0,32 b
Mediana	7,83	14,51	3,19	10,72	2,06	1,08	10,97	0,59	0,32
CV	15,99	17,58	33,90	23,88	28,34	39,16	15,87	36,24	20,33
Assimetria	-0,41	-0,10	0,22	-0,56	0,02	0,44	-0,26	0,19	0,05
Curtose	-1,14	-1,08	-1,37	-0,64	-1,25	-0,82	-0,92	-0,80	-0,95
K-S	0,15*	0,10*	0,12*	0,12*	0,11*	0,16*	0,12*	0,11*	0,09*
Floresta									
Média	9,91 a	21,28 a	7,27 a	13,47 a	2,71 b	1,48 c	16,86 a	0,57 b	0,25 c
Mediana	9,65	21,04	7,43	13,89	2,72	1,47	16,42	0,55	0,25
CV	18,90	19,21	29,47	29,93	19,27	44,39	19,07	0,04	15,79
Assimetria	0,48	0,48	0,18	-0,07	0,20	-0,17	0,34	-0,31	-0,39
Curtose	-0,12	-0,61	-0,01	-0,25	-0,25	-0,37	-0,81	-0,57	-0,18
K-S	0,11*	0,12*	0,10*	0,10*	0,11*	0,08*	0,10*	0,14*	0,10*

¹CV: coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade. EC: estoque de carbono; COT: carbono orgânico total; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; C-FAF: ácido fúlvico; C-FAH: ácido húmico; C-HUM: humina. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Tabela 9. Estatística descritiva e teste de média dos atributos da matéria orgânica do solo na camada de 0,10 a 0,20 m em áreas com diferentes usos na região sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	EC t ha ⁻¹	COT	COp	COam
Guaraná				
Média	11,97 a	10,79 b	2,54 b	8,74 a
Mediana	12,36	11,52	2,48	8,26
¹ CV (%)	20,64	23,17	37,10	28,62
Assimetria	-0,07	-0,18	0,53	0,53
Curtose	-0,96	-0,84	-0,91	-0,62
² K-S	0,10*	0,15*	0,17*	0,16*
Cupuaçu				
Média	7,67 b	6,68 c	1,30 c	5,23 b
Mediana	7,76	6,52	1,17	5,64
CV	55,4	55,98	45,41	72,21
Assimetria	-0,09	-0,02	0,29	-0,09
Curtose	-1,65	-1,59	-1,20	-1,67
K-S	0,16*	0,16*	0,12*	0,17*
Urucum				
Média	7,65 b	7,73 c	3,45 a	3,98 b
Mediana	7,33	7,448	3,42	3,853
CV	26,82	30,68	30,55	58,17
Assimetria	0,12	1,29	-0,04	0,68
Curtose	-0,09	1,76	-0,87	0,51
K-S	0,08*	0,20*	0,10*	0,14*
Floresta				
Média	13,50 a	12,86 a	4,18 a	8,94 a
Mediana	12,79	12,48	3,99	8,54
CV	19,00	20,03	37,54	18,78
Assimetria	0,79	0,45	0,46	1,10
Curtose	-0,09	-0,72	-0,67	0,57
K-S	0,19*	0,11*	0,15*	0,16*

¹CV: coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Significativo a 5% de probabilidade. EC: estoque de carbono; COT: carbono orgânico total; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O COp é tido como uma fração relativamente sensível às práticas de manejo principalmente a curto prazo (BAYER et al., 2002). Conceição et al. (2005) constataram que a COp foi a fração que apresentou as maiores variações nos teores de carbono em função do manejo adotado, quando comparada ao COT. Diante disso, a sensibilidade apresentada pela fração particulada da MOS, comprova que este atributo pode ser usado como um bom indicador da qualidade do solo para avaliação de sistemas de manejo recentes, nos quais as alterações no COT ainda não tenham sido alcançadas (ROSSI et al., 2012).

Quanto aos teores de COam foi observado que na camada superficial do solo os valores ficaram entre 13,45 g kg⁻¹ e 16,18 g kg⁻¹, porém não houve diferença estatística entre as áreas.

Na camada de 0,05-0,10 m as maiores médias foram encontradas nas áreas de cupuaçu e floresta com 14,12 g kg⁻¹ e 13,47 g kg⁻¹, respectivamente. De 0,10-0,20 m a floresta e guaraná apresentaram os maiores valores, com 8,74 g kg⁻¹ e 8,94 g kg⁻¹. Rossi et al. (2012) e Loss et al. (2014), observaram que os valores de CO_{am} foram maiores na área com vegetação nativa quando comparado a outros cultivos. Esta fração da MOS apresenta menor sensibilidade as práticas de manejo em curtos prazo por apresentar uma ciclagem mais lenta (BAYER et al., 2004).

Os valores de CO_{am} acompanharam a tendência dos valores de EC, corroborando com Nicoloso (2005), que observou que os estoques de carbono são compostos em mais de 80% pelo CO_{am}. Estudos relacionados a quantificação das frações granulométricas da MOS tem sido utilizados para verificar as alterações nas frações lábeis (CO_p) ou estáveis (CO_{am}), as quais variam de acordo com o sistema de manejo utilizado em solos tropicais e subtropicais e os trabalhos relatam aumento dos teores ou dos estoques do CO_p (BAYER et al., 2004; COSTA et al., 2004; BRIEDIS et al., 2012) e de CO_{am} (NICOLOSO, 2005; CONCEIÇÃO et al., 2014; REIS et al., 2014), e por consequência o aumento do EC. O equilíbrio entre essas frações da MOS é de extrema importância para que o sequestro de carbono efetivamente ocorra em solos tropicais (CONCEIÇÃO et al., 2014). A estabilização da MO na forma de CO_{am} é de suma importância para a manutenção de maiores teores de carbono orgânico total no solo (LIMA et al., 2016).

Já com relação aos dados do fracionamento químico da MOS que foi realizado apenas nas camadas mais superficiais do solo de 0,00-0,10 m. Na camada de 0,00-0,05 m a fração C-FAF em apresentou na floresta a maior média, com 4,53 g kg⁻¹, e 3,31 g kg⁻¹ área de cupuaçu na camada de 0,05-0,10 m. Zaninetti et al. (2016), encontram maiores teores de C-FAF em área de floresta na Amazônia quando comparado com seringais. Resultado semelhante foi observado por Gazolla et al. (2015), onde C-FAF foi maior em vegetação natural na camada mais superficial do solo enquanto de 0,05-0,10 os teores de C-FAF da área com vegetação natural se equivaleu aos cultivos mais conservacionistas. Segundo Stevenson (1994), o C-FAF possui menor peso molecular e maior solubilidade e mobilidade no solo, o que o torna propício à lixiviação.

O maior valor de C-FAH de 0,00-0,05 foi observado na área de cupuaçu, com 3,50 g kg⁻¹, seguido pelas áreas de floresta 2,98 g kg⁻¹ e guaraná com 2,91 g kg⁻¹. O cultivo de cupuaçu também se sobressaiu na camada de 0,05-0,10m com 2,86 g kg⁻¹ de C-FAH. O cultivo de urucum apresentou as menores médias para C-FAF e C-FAH nas duas camadas avaliadas. Melo et al. (2016), observaram que os cultivos não diferiram área com vegetação natural nos teores

de C-FAH na camada de 0,00-0,05 m. A elevação nos teores de C-FAH pode ser considerado um indicador da melhoria da qualidade do húmus ou do incremento da atividade biológica, que promove a síntese de substâncias húmicas mais condensadas (CLEMENTE et al., 2018).

Quanto aos teores de C-HUM, na camada de 0,05-0,10 m os valores não diferiram entre os ambientes, ficando entre 15,37 g kg⁻¹ e 17,41 g kg⁻¹. Enquanto na segunda camada a floresta apresentou a maior média 16,86 g kg⁻¹. Em um estudo realizado por Loss et al. (2014), os autores notaram que a fração HUM foi maior no ambiente de floresta, principalmente na camada de 0,05 a 0,10 m, confirmando assim, os resultados obtidos na referente pesquisa.

Em todas as áreas e camada verificou-se um predomínio da C-HUM em relação a C-FAF e C-FAH, essa tendência é observada por diversos autores ao estudar solos tropicais (CUNHA et al., 2007; ROSSI et al., 2011; ROSSET et al., 2016; ZANINETTI et al., 2016, CLEMENTE et al., 2018). De acordo com Rosset et al. (2016), o não revolvimento do solo implica maior estabilidade do carbono, por consequência gerando o predomínio da C-HUM. Também o fato da C-HUM estar fortemente ligada com os coloides do solo diminuindo assim a lixiviação e a mantendo estabilizada no solo (CANELLAS et al., 2000).

A C-HUM são substâncias desenvolvidas e resistentes à degradação microbiana, fortemente combinada à fração mineral do solo (STEVENSON, 1994; SPARKS, 2001). Os altos valores de C-HUM provavelmente tem relação com o tamanho das moléculas e o maior grau de estabilidade que essa fração apresenta, enquanto as frações C-FAF e C-FAH, possuem menor estabilidade podem ser facilmente polimerizadas ou mineralizadas causando a diminuição do teor residual no solo (FONTANA et al., 2006). Quando o solo apresenta maiores valores de C na fração húmica ocorre uma maior expressão das propriedades da fração coloidal da MOS, resultando maior retenção de cátions trocáveis, uma característica importante para o manejo dos solos tropicais (SOUZA & MELO, 2003).

A relação AH/AF é um indicador da qualidade do húmus, utilizada para avaliar o grau de humificação da MO (KONONOVA, 1982). Essa relação entre ácido húmico e ácido fúlvico na camada superficial do solo, foi superior a 1,0 em todas as áreas de cultivo, sendo maior na área de urucum 1,38 e a menor foi encontrada na área de floresta com 0,73. Na camada de 0,05-0,10 m todos os valores ficaram abaixo de 1,0, variando entre 0,57 na área de floresta e 0,92 no cultivo com cupuaçu, apresentando uma menor taxa de humificação nessa camada. Zaninette et al. (2016) relataram valores inferiores a 1,0 em área de floresta primária e seringais na região amazônica. Giácomo et al. (2015) também encontraram valores dessa relação mais próximos a 1,0 na camada de 0,00-0,05 m em área de mata, enquanto nas demais camadas os valores foram inferiores.

Os valores acima de 1,0 na relação AH/AF nas áreas de cultivo, indicam o grau de conversão do carbono orgânico insolúvel presente no solo em frações solúveis, ou seja, uma alta taxa de humificação da MOS (MARTINS et al., 2009), enquanto baixos valores revelam que uma baixa taxa de humificação, o que segundo Moreno (1996) é observado em locais com aporte constante de material orgânico, o que condiz com os dados encontrados na presente pesquisa. Martins et al. (2009) relataram um menor valor da relação AH/AF em área com floresta nativa, quando comparado com manejos de solo conservacionistas, indicando maior mobilidade do carbono nestes sistemas de uso do solo. Canellas (2005) afirma que de maneira geral os solos mais arenosos apresentam maiores relações AH/AF por consequência da perda seletiva C-FAF, a mais solúvel.

Os valores da relação entre EA/HUM foram abaixo de 0,5 em quase todos os ambientes estudados, com exceção as áreas de cupuaçu (0,56) e guaraná (0,52) na camada de 0,05-0,10 m. Os valores menores que 0,5 da relação EA/HUM segundo Benites et al, (2001) confirmam a maior estabilidade da MOS indicando que há uma baixa capacidade iluvial dos solos. Tal fator demonstra o elevado potencial de acúmulo de carbono proporcionado pela elevada estabilidade da MO (Fontana et al., 2010), e a maior interação dessa fração recalcitrante da MOS com a fração argila em solos tropicais (ASSIS et al., 2006). Rosset et al. (2016) também verificaram essa tendência de baixos valores da relação EA/HUM em solos argilosos, tanto em área de floresta como em diferentes cultivos.

6.4 Análise multivariada

A adequabilidade da análise fatorial mostrou-se significativa em todas as camadas avaliadas obtendo valores que considera a adequação das amostras entre média e boa segundo Reis (2001), com valores de KMO de 0,72 de 0,00-0,005 m, 0,72 na camada e de 0,05-0,10 m e de 0,83 de 0,10-0,20 m. Foi possível observar através da ACP (Tabela 10 e Figura 2,3 e 4) que a cada camada apresentou três componentes principais considerando os fatores que apresentaram autovalores superiores a 1,0 como proposto por Manly (2008). De acordo com Ribas e Vieira (2011), ao extrair um número relativamente pequeno de componentes que explicam a maior parte da variabilidade dos dados originais, o objetivo da ACP é atingido.

Com a ACP foi possível observar que na camada de 0,00-0,05 m, obteve-se uma variância explicada de 83,17%, sendo que o CP1 explicou 38,06% dos dados, com um conjunto de variáveis ligadas estabilidade de agregados do solo sendo elas DMP, DMG e as classes de agregados > 2,00 mm, com correlação negativa para a classe <1,00 mm. No CP2 ficaram a maioria das variáveis relacionadas a MOS, sendo elas EC, COT, COam e C-HUM, com um

Tabela 10. Correlação entre componentes principais (CP) e variáveis analisadas dos atributos do solo de três camadas avaliadas (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) com fatores rotacionados (*varimax*) em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas.

0,00 – 0,05 m				
Atributos	Variância Comum	Fatores		
		CP1	CP2	CP3
Ca ²⁺	0,70	-0,03	-0,01	-0,83*
Mg ²⁺	0,72	-0,00	-0,00	-0,85*
DMG	0,92	0,95*	0,04	0,09
DMP	0,98	0,98*	0,06	0,04
> 2,00	0,96	0,98*	0,06	0,03
< 1,00	0,96	-0,98*	-0,04	-0,05
EC	0,77	0,06	0,87*	-0,04
COT	0,90	-0,01	0,92*	0,21
COam	0,68	0,13	0,80*	0,10
C-FAF	0,68	0,13	0,20	0,78*
C-HUM	0,84	0,00	0,91*	0,00
Variância Explicada (%)		38,05	27,50	17,61
0,05 – 0,10 m				
Atributos	Variância Comum	Fatores		
		CP1	CP2	CP3
Ca ²⁺	0,81	0,14	-0,11	-0,88*
Mg ²⁺	0,77	0,30	-0,30	-0,77*
DMG	0,81	0,89*	-0,02	-0,09
DMP	0,94	0,96*	0,02	-0,02
> 2,00	0,97	0,98*	0,05	-0,03
2,00 – 1,00	0,76	-0,87*	0,06	0,05
< 1,00	0,93	-0,96*	-0,07	0,02
EC	0,84	0,05	0,85*	0,33
COp	0,66	0,18	0,14	0,77*
COam	0,84	0,04	0,91*	0,08
C-FAF	0,67	-0,03	0,81*	0,12
Variância Explicada (%)		42,05	28,60	11,67
0,10 – 0,20 m				
Atributos	Variância Comum	Fatores		
		CP1	CP2	CP3
Ca ²⁺	0,83	0,05	0,20	0,89*
Mg ²⁺	0,77	0,10	0,13	0,86*
t	0,76	0,06	0,23	0,83*
DMG	0,91	0,95*	0,02	-0,06
DMP	0,97	0,97*	0,10	0,05
> 2,00	0,96	0,97*	0,07	0,12
2,00 – 1,00	0,79	-0,85*	-0,03	-0,25
< 1,00	0,95	-0,97*	-0,05	-0,02
EC	0,94	0,06	0,94*	0,19
COT	0,92	0,16	0,90*	0,28
COam	0,87	-0,01	0,92*	0,14
Variância Explicada (%)		45,82	29,14	13,44

total de 27,50% da variância dos dados explicada por esse componente. E na CP3 foram agrupadas as variáveis voltadas aos atributos químicos do solo, sendo elas: C-FAF a qual é mais voltada a acidificação do solo, e com correlação negativas a essa variável estão Ca^{2+} e Mg^{2+} as quais são a maioria das bases no solo, essa CP explicou 17,61% da variância dos dados.

Na camada de 0,05-0,10 m a ACP foi responsável por explicar 82,32% do total de dados. De forma mais detalhada o CP1 explicou 42,05% dos dados, com os atributos voltados à agregação do solo, sendo eles DMP, DMG, e todas as classes de agregados. O CP2 foi responsável por explicar 28,60% do total da variância, com os atributos relacionados a MOS, sendo eles EC, COam e C-FAF. Enquanto a variável COp foi agrupada na CP3 juntamente com os atributos químicos Ca^{2+} e Mg^{2+} , explicando 11,67% dos dados.

Quanto a variância explicada na camada de 0,10-0,20 m, observou-se um valor total de 88,40%, sendo que o CP1 é responsável por 45,82% da variância total, enquanto que a CP2 é responsável por 29,14%, e CP3 por 13,44%. No CP1 ficaram agrupados DMG, DMP e as classes de agregados do solo, enquanto no CP2 as características da MOS sendo elas EC, COT e COam, e no CP3 as variáveis Ca^{2+} e Mg^{2+} e a CTC efetiva.

Na figura 2 pode-se os fatores que apresentaram variáveis explicativas, de tal forma que foi possível identificar quais as variáveis possuem uma maior representatividade nos planos fatoriais encontrados na camada de 0,00-0,05 m. A área de cupuaçu foi melhor definida pelo atributo de agregados <1,00 mm, o qual apresenta correlação negativa aos atributos DMP, DMG e agregados >2,00mm e tais variáveis estão no mesmo quadrante que as frações da MOS C-HUM, COam, COT (Figura 2 B) e C-FAF (Figura 2C). Enquanto a área de floresta foi separada das demais principalmente pelo atributo C-FAF (Figura 2 C e D), demonstrando que as maiores médias de C-FAF estão presentes na floresta e as menores de Ca^{2+} e Mg^{2+} por apresentarem correlação negativa com o C-FAF. Já a área de urucum foi melhor distinguida dos demais ambientes pelos atributos Ca^{2+} e Mg^{2+} (Figura 2 C e D).

Na figura 3, foi possível visualizar através do plano fatorial na camada de 0,05-0,010 m, que a área de urucum foi distinguida das demais principalmente pelas variáveis DMP, DMG agregados >2,00 mm, Ca^{2+} e Mg^{2+} (Figura 3 B, C e D), tais variáveis possuem correlação negativa com agregados <1,00 mm e entre 1,00 e 2,00 mm, as quais foram as que definiram guaraná (Figura 3 B). Enquanto o maior adensamento dos scores de floresta foi localizado no primeiro e segundo quadrante (Figura 3 C e D) sendo a variável COp enquanto as variáveis que se mostraram representativas na área de cupuaçu foram EC, C-FAF e COam (Figura 3 B e D).

Já na camada de 0,10-0,20 cm (Figura 4) é possível observar que área de floresta foi melhor definida entre os ambientes pelas variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e t (Figura 4 C e D), porém também apresentou scores adensados no quadrante que estão as variáveis COT, EC e COam e tratando-se dessas variáveis foram as que melhor distinguiu a área de cultivo com guaraná das demais (Figura 4 B e D). As variáveis DMP, DMG e agregados $>2,00$ mm foram os atributos onde que definiu a área de urucum das demais (Figura 4 B e C). E com correlação negativa a todos atributos estão os agregados $<1,00$ m e entre 1,00 e 2,00 mm onde está o maior adensamento de scores do cupuaçu (Figura 4 B e C).

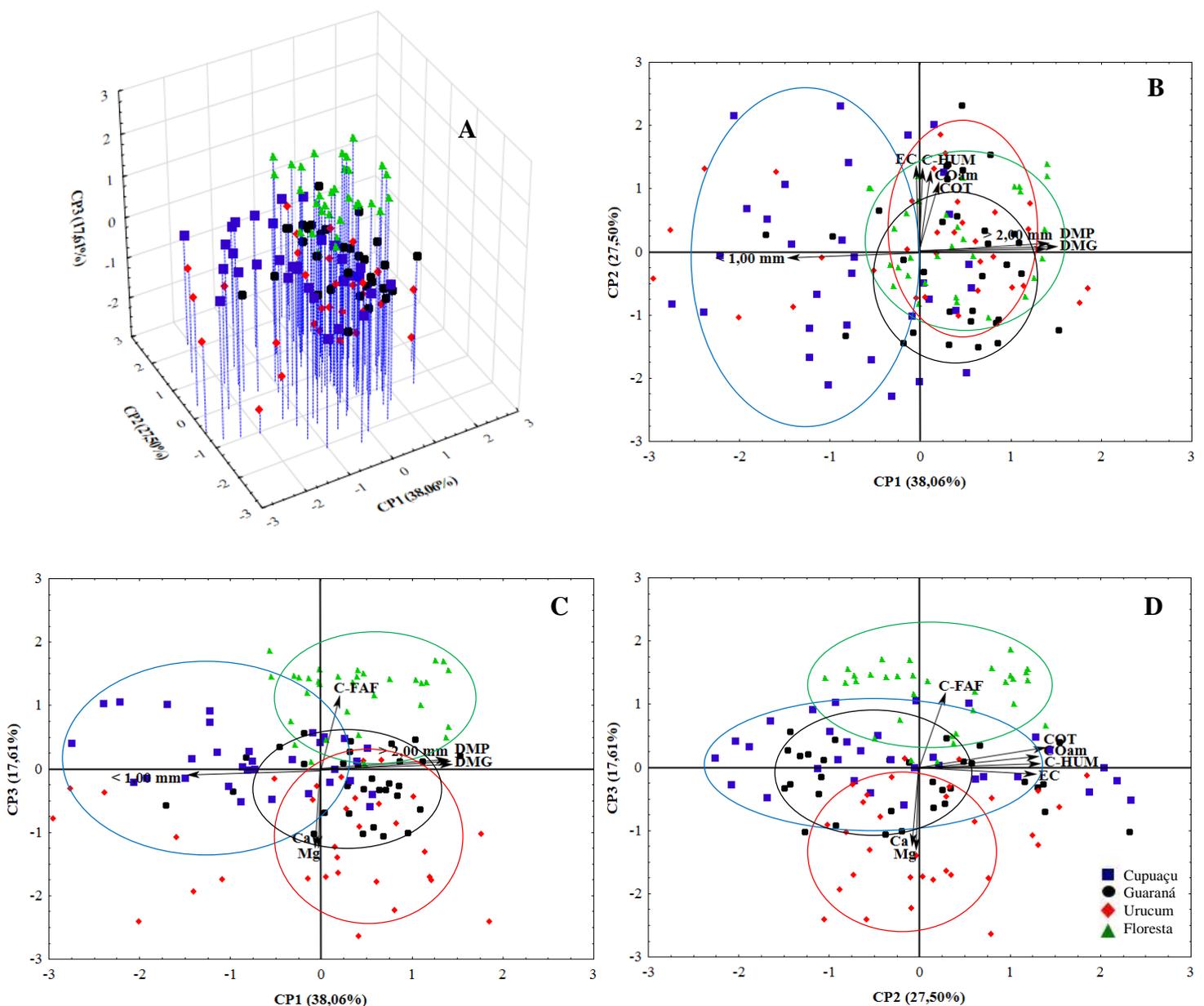


Figura 2. Plano fatorial dos atributos do solo coletados nas camadas de 0,00-0,05 m, em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas. **A.** Gráfico do plano tridimensional da ACP. **B.** CP1 x CP2. **C.** CP1 x CP3. **D.** CP2 x CP3.

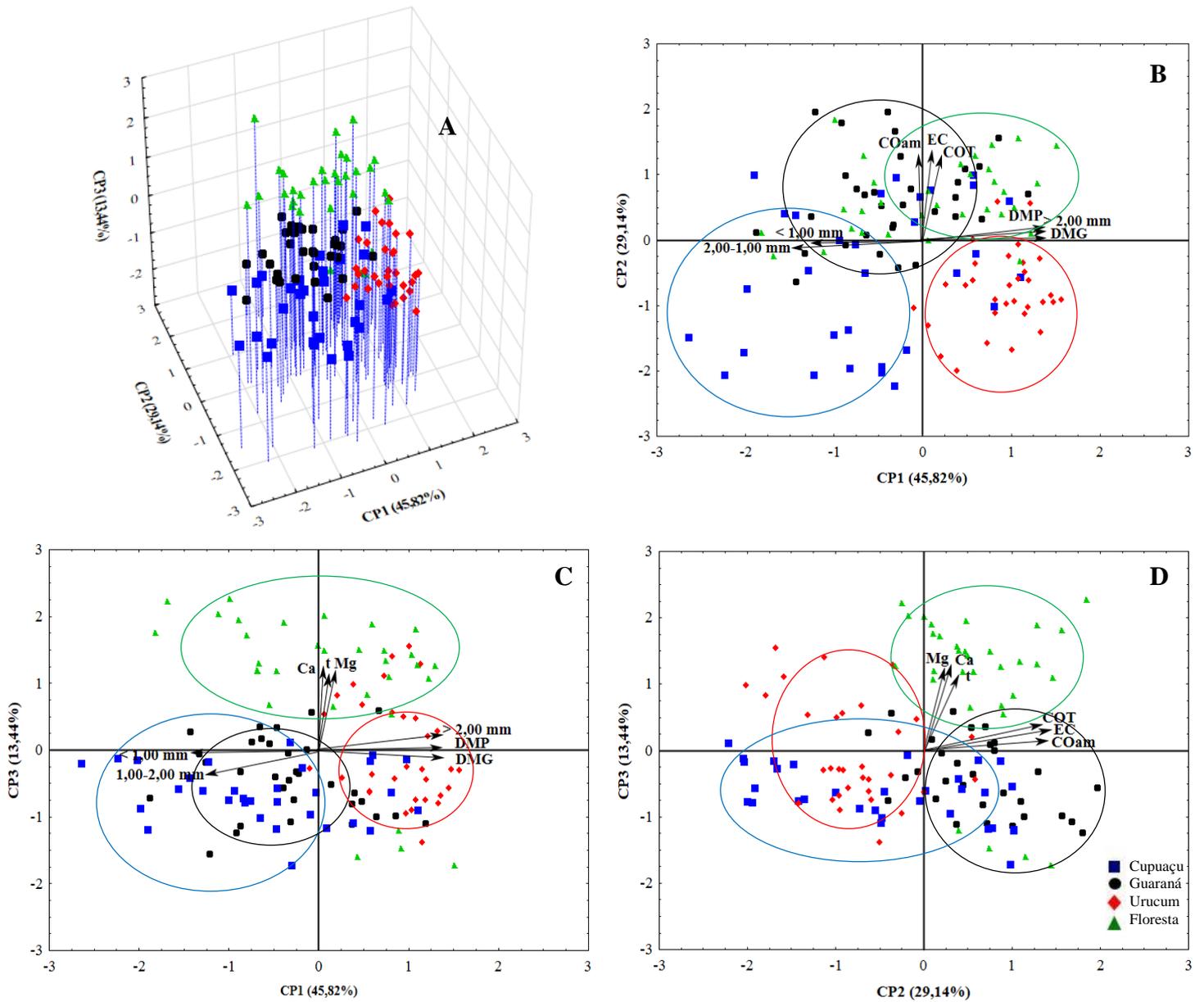


Figura 3. Plano fatorial dos atributos do solo coletados nas camadas de 0,05-0,10 m, em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas. **A.** Gráfico do plano tridimensional da ACP. **B.** CP1 x CP2. **C.** CP1 x CP3. **D.** CP2 x CP3.

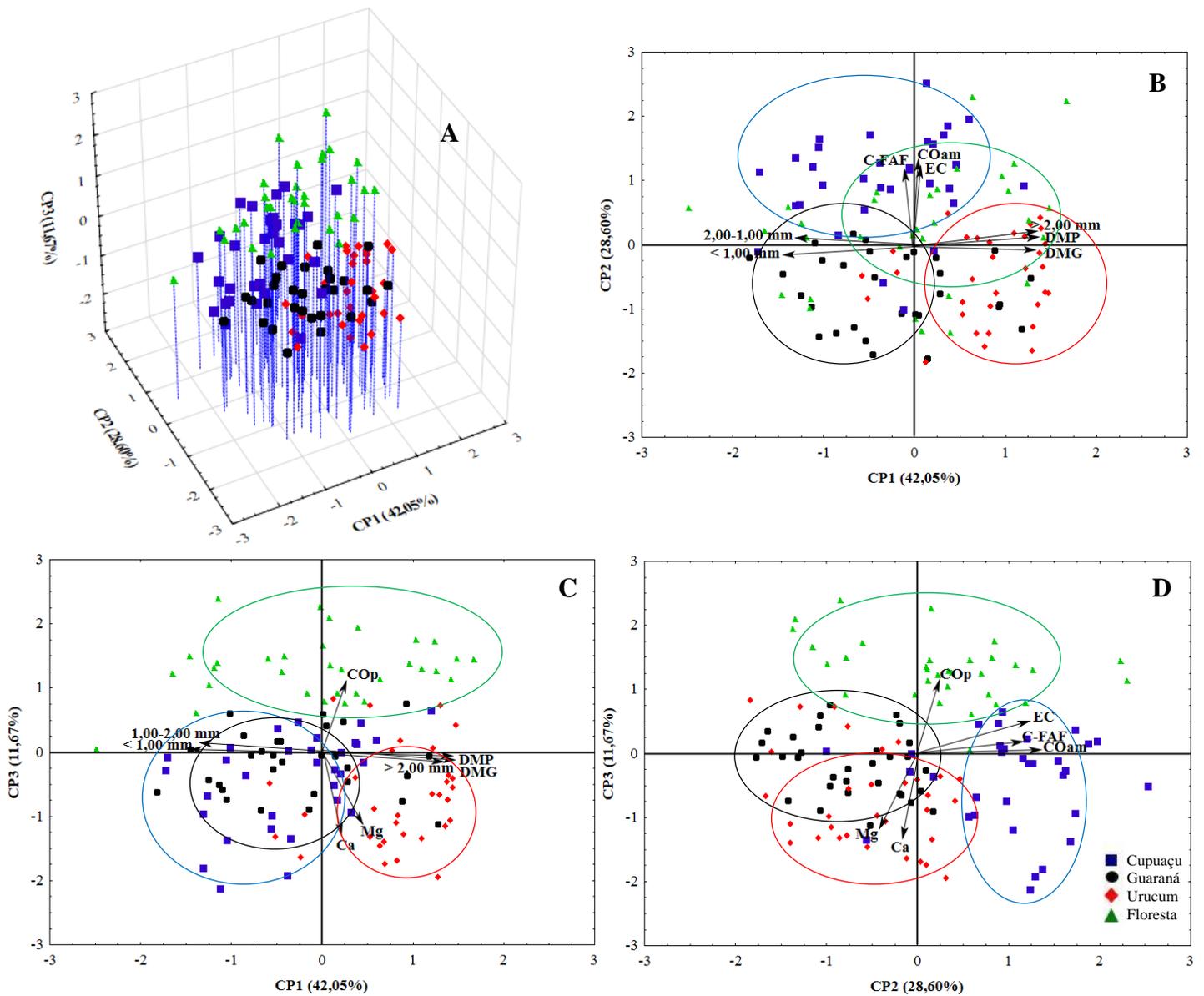


Figura 4. Plano fatorial dos atributos do solo coletados nas camadas de 0,10-0,20 m, em as áreas de floresta e sob conversão de floresta para cultivos na região sul do Amazonas. **A.** Gráfico do plano tridimensional da ACP. **B.** CP1 x CP2. **C.** CP1 x CP3. **D.** CP2 x CP3.

Foi possível observar o decréscimo das frações da MOS ácido fúlvico na camada de 0,00-0,05 m e de COp de 0,10-0,20 m nas áreas de cultivo em comparação com floresta, Spaccini et al. (2005) também verificaram uma diminuição no conteúdo das frações humificadas a partir da substituição de florestas por cultivos. Essa tendência pode ser atribuída à oxidação biológica do material orgânico, as quais são protegidas nos agregados do solo, que são destruídos com o manejo ao implantar cultivos na área (CANELLAS, 2005). Visto que as frações da MO apresentam correlação negativa com as menores frações de agregados, e se aproximou nos mesmos quadrantes dos atributos relacionados a maior agregação do solo em

todas as camadas. Diversos trabalhos relacionam o COT com a estabilidade e agregação do solo (WENDLING et al., 2005; SILVA et al., 2006; PEREIRA et al., 2009), diante do fato que a MOS possui efeito cimentante, o que favorece a formação de agregados mais estáveis (SIX et al., 2004).

O uso das frações da MOS como um indicador de qualidade está baseado na premissa de que ela exerce uma importante ação na fertilidade dos solos e são um marcador químico estável da história do solo (Canellas et al., 2004). A correlação negativa do C-FAF com os atributos químicos do solo Ca^{2+} e Mg^{2+} e o seu decréscimo nas áreas de cultivos na camada superficial, deve-se ao fato que a C-FAF tende a apresentar maiores teores de acidez dentre as substâncias húmicas (STEVENSON, 1994). Schiavo et al. (2007) verificaram que a acidez fenólica dos ácidos fúlvicos representou a maior parte da acidez total dos solos estudados, enquanto a acidez proveniente dos ácidos húmicos foi menor, visto que a menor acidez da C-FAH com relação a C-FAF está relacionada com seus menores teores de carboxilas (CANELLAS, 2004). Enquanto o COp foi o atributo da MOS que distinguiu o ambiente de floresta dos cultivos, está relacionado com o fato do COp é tido como uma fração mais sensível às práticas, pois é correspondente às frações lábeis da MOS (BAYER et al., 2002).

7. CONCLUSÕES

A conversão da área de floresta para cultivos ocasionou mudanças de ordem física e química nos atributos do solo.

A relação AH/AF demonstrou que a qualidade do húmus nas áreas de cultivo de guaraná, cupuaçu e urucum na camada de 0,00-0,05 m e para guaraná e cupuaçu sob camada de 0,05-0,10 m foi melhor do que quando comparado com a área de floresta.

A relação EA/HUM menor que 0,5 em todas as áreas na camada de 0,00-0,05, e nas áreas de urucum e floresta na camada de 0,05-0,10 cm indicam uma elevada estabilidade da MOS nesses ambientes.

A estatística multivariada com a técnica da ACP foi eficiente em distinguir os melhores atributos que definem os ambientes.

As frações da MO que sofreram maior influência do manejo foram C-FAF na camada de 0,00-0,05 m e COp na camada de 0,10-0,20 m, pois foram as frações que melhores distinguiram a floresta dos ambientes cultivados.

8. REFERÊNCIAS

- ADDISCOT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Dordrechster, v. 46, p. 151-168, 1992.
- ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de estabilidade de agregados e estoque de carbono em Cambissolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 246-254, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** v.22, n.6, p.711-728. 2013.
- ALVES, S. M. F.; QUEIROZ, D. M.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo usando técnicas de análise de componentes principais e geostatística. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 22-30, 2014.
- ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I.; OMAR, S. R. S. Mineralogy and factors controlling charge development of three Oxisols developed from different parent materials. **Geoderma**. Amsterdã, v. 15, p. 153-167, 2008.
- ANSELMO, G. C. S; MATA, M. E. R. M. C.; RODRIGUES, E. Comportamento higroscópico do extrato seco de urucum (*Bixa Orellana* L). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1888-1892. 2008.
- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 397-406, 2014.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n.5, p. 715-721, 2003.
- ASSIS, C. P. de; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, p.1541-1550, 2006.

BAEDE, A. P. M.; AHLONSO, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D.; HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNS. **Climate Change: the Scientific Basis**, p. 1005, 2001.

BAKKE, H. A.; MOURA LEITE, A. S.; SILVA, L. B. Estatística multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 4, p. 1-14, 2008.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 856-881, 2014.

BALDOTTO, M. A.; GIRO, V. B.; BALDOTTO, L. E. B.; CANELLAS, L. P. & VELLOSO, A. C. X. Initial performance of pineapple and utilization of rock phosphate applied in combination with organic compounds to leaf axils. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, p. 393-401, 2011.

BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 132, p. 243-251, 2009.

BARROS, J. D. S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Polêmica**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 341-351, 2013.

BATISTA, F. A. S. **Urucueiro: instruções práticas para implantação e condução de um plantio**. João Pessoa: EMEPA-PB/EMATER-PB (Circular técnica, 3), p. 26, 1988.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, v. 238, n. 01, p. 133-140, 2002.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro, Embrapa Solos (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16), p.7, 2003.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.661-674, 2001.

BOCCUZZI, G. **Nitrogênio e fósforo na interface atmosfera vegetação arbórea - solo de remanescentes de Floresta Atlântica expostos a fatores de estresse ambiental.** 2017. (Dissertação de mestrado). São Paulo, SP. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, p. 126. 2017.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. & REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, p. 605-614, 2006.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil**, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, p. 561, 1978.

BRAUN, E. H. G.; RAMOS, J. R. A. Estudo agroecológico dos campos Puciarí-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 443-497, 1959.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C. de M.; DE-CARLI, R.S.; ANTUNES, E.A.P.; SIMON, L.; ROMKO, M.L.; ELIAS, L.S.; FERREIRA, A. de O. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.36, p.1483-1490, 2012.

BRINKMAN, W. L. F.; NASCIMENTO, J. C. The effect of slash and burn agriculture on plant nutrients in the Tertiary Region of Central Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, n. 3, p. 155-161. 1973.

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 & tillage research**, v. 182, p. 103-111, 2018.

BRIZZI, R. R.; PORTOCARRERO, H.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T.; RANEL, L. A. Avaliação macro e microestrutural de solos sob diferentes usos a partir de análises físicas, microscopia eletrônica e espectroscopia por energia dispersiva. **Revista Ra'e Ga**. Curitiba, v. 46, p. 25-40, 2019.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, Amsterdã, v. 124, p. 3-22, 2005.

BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; SARNAGLIA, S. A. Utilização da análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 9, p. 1-11, 2010.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 777-783, 1992.

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

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E. Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 2, p. 149-159, 2013.

CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE (Tese Doutorado), p. 260, 2009.

CANELLAS, L. P. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. UENF, p. 309. 2005.

CANELLAS, L.P. et al. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, p.45-61. 2008.

CANELLAS, L. P.; ESPINDOLA, J. A.; REZENDE, C. E.; CAMARGO, P. B.; ZANDONADI, J. A. A.; RUMJANEK, V. M.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 53-61, 2004.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos sólidos urbanos I. Métodos espectroscópicos (IV, UV e RMN 13C) e microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 24, n. 4, p. 741-750, 2000.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 631-637, 2009.

CARVALHO, A. V.; GARCIA, N. H. P.; FARFAN, J. A. Proteínas da semente de cupuaçu e alterações devidas à fermentação e à torração. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 986-993, 2008.

CARVALHO, A. F. **Caracterização física, química e mineralógica dos solos do Município de Humaitá – AM**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita (Tese Doutorado) p. 166. 1986.

CASSAGNE, N; REMAURY, M; GAULQUELIN, T; FABRE, A. Forms and profile distribution of soil phosphorus in alpine Iceptisols and Spodosols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 95, n. 2, p.161-172, 2000.

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

CASTRO, A. P.; FRAXE, T. J. P.; SANTIAGO, J. L.; MATOS, R. B.; PINTO, I. C. Os sistemas agroflorestais como alternativa de sustentabilidade em ecossistemas de várzea no Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 2, p. 279-288, 2009.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. Manaus: INPA, p. 166, 1976.

CECAGNO, D.; GOMES, M. V.; COSTA, S. E. V. G. A.; MARTINS, A. P.; DENARDIN, L. O.; BAYER, C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Soil organic carbon in an integrated crop-livestock system under different grazing intensities. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 13, n. 3, p. 1-7, 2018.

CENTRO DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus, p. 93, 2001.

CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. & RONDÓN, M. A. **Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest**. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. & CERRI, C. E. P. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth, p. 245-266, 2006.

CERRI, C. E. P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; POWLSON, D. S.; BATJES, N. H.; MILNE, E. & CERRI, C. C. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 122, p. 58-72, 2007.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 325-358, 2008.

CHEN, C. R.; CONDRON, L. M.; DAVIS, M. R.; SHERLOCK, R. R. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 177, n. 3, p. 539-557, 2003.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Adv Soil Science**. 20:1-9. 1992.

COHEN, J. C. P.; BELTRÃO, J. C.; GANDU, A. W.; SILVA, R. R. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência Cultura**. São Paulo, v. 59, n. 3, p. 36-39, 2007.

COHEN, K. O.; JACKIX, M. N. H. Estudo do liquor de cupuaçu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 182-190, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; SANTOS, D. C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 794-800, 2014.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto **Ciência Rural**. Santa Maria, v.34, p.587-589, 2004.

COSTA, L. A. M. **Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**. Cascavel,PR. 2007.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 39, p. 852-863. 2015.

CLEMENTE, E.; OLIVEIRA, F.; MACHADO, M.; SCHAEFER, C. Fracionamento da Matéria Orgânica dos Solos da Ilha da Trindade. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 48-62, 20 dez. 2018.

CRAVO, M. S.; XAVIER, J. J. B. N.; DIAS, M. C.; BARRETO, J. F. Características, uso agrícola atual e potencial das várzeas no estado do Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 32, n. 2, p. 351-365, 2002.

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, p. 197-214, 1995.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A; FLORES, C. A; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

CUNHA, T. J. F.; et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.

DOBBS, L. B.; RUMJANECK, V. M.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; CANELLAS, L. P. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p. 51-63. 2009.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madisson: ASA/SSSA, p. 3-21, 1994.

DUDA, G. P. **Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solo**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (Tese Doutorado), p.158, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Avaliação da aptidão agrícola de áreas de cerrados em municípios do estado do Amazonas**. Brasília, Relatório Técnico, p. 91. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, p. 353, 2013.

FABRI, E. G. Urucum: fonte de corantes naturais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 33, n.1, 2015.

FACCIN, F. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 51, p. 2000-2009. 2016.

FERREIRA, R. de P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J. B. **Toxidez de alumínio em culturas anuais**. São Carlos. Embrapa Pecuária Sudeste (Documentos, n. 63). p. 35, 2006.

FONTANA, A.; BENITES, V. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2073-2080, 2008.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.4, p. 1241-1257. 2010.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.847-853, 2006.

FONTES, M. P. F., CAMARGO, O. A. & SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; SOUZA JUNIOR, P. R.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 8, n. 2, p. 155-164, 2014.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 617-631, 2015.

GILLMAN, G. P. Influence of organic matter and phosphate content on the point of zero charge of variable charge components in oxidic soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 23, n. 4, p. 643 – 646, 1985.

GOMES, R. P.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; CUNHA, J. M.; FRANCISCON, U.; SILVA, L. S.; OLIVEIRA, I. A.; BRITO, W. B. M. Variabilidade espacial de agregados e carbono orgânico sob três diferentes usos de Terra Preta de Índio no sul do Amazonas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 6, p. 1513-1522, 2017.

GUERRA, J. G. M. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 291-299, 1996.

HURTIENNE, T. Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 8, n. 1, p. 19-71, 2005.

IBM Corp. Released. **IBM SPSS Statistics for Windows**, Version 21.0. Armonk, NY:IBM Corp. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Prodes - **Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite**. 2019.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3 ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregates**. In: BLACK, C. A., EVANS, D. D., WHITE, J. L., ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. **American Society of Agronomy**. Madison, p. 499-510, 1965.

KONONOVA, M. M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona: Oikos-tau, p. 364. 1982.

KRZIC, M.; BUHNER, C. E.; TESTE, F.; DOMPTER, L.; RAHMAN, S. Soil properties influencing compactability of forest soils in British Columbia. **Canadian Journal Soil Science**, v. 84, p. 219-236, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LAL, R.; PIRCE, F. J. **The vanishing resource**. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Eds.) Soil management for sustainability. Ankeny: Soil and water conservation society, p. 1-5, 1991.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J.; UEDES, I. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D, C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.51, n.4, p.378-387. 2016.

LONGO, R. M. **Modificações em parâmetros físicos e químicos de Latossolos argilosos decorrentes da substituição da Floresta Amazônica e do Cerrado por pastagens.** Campinas, Universidade Federal de Campinas - UNICAMP, (Tese Doutorado), p. 102, 1999.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BERNINI, T. A.; ZATORRE, N. P.; WADT, P. G. S. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 1, p. 01-10, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 43-54, 2014.

MACHADO, M. R.; CAMARA, R.; SAMPAIO, P. T. B.; PEREIRA, M. G.; FERRAZ, J. B. Land cover changes affect soil chemical attributes in the Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 39, n. 3, p. 385-391, 2017.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MADARI, B.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Eds.). **As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, v. 358, p. 41-52, 2010.

MANFIOLLI, M. H. **Análise técnica e econômica da atividade agropecuária do urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) no município de Paranacity.** EMATER, Paranacity, 2004.

MARIANI, L.; CHANG, S. X.; KABZEMS, R. Effects of tree harvesting, forest floor removal, and compaction on soil microbial biomass, microbial respiration, and N availability in a boreal aspen forest in British Columbia. **Soil Biology Biochemical**, v. 38, p.1734-1744, 2006.

MARTINEZ, L. L.; FIEDLER, N. C.; LUCATELLI, G. J. Análise das relações entre desflorestamentos e focos de calor: estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no Estado do Pará. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 695- 702, 2007.

MARTINS, E. de L.; CORINGA, J. do E. S.; WEBER, O. L. dos S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico-LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p. 655-660, 2009. .

MARTINS, P. F. da S.; CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F.; CHAUVEL, A. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. **Forest Ecology and Management**, Amsterdã, v. 38, p. 273-282, 1991.

MASCARENHAS, A. R.; SCCOTI, M. S.; MELO, R. R.; CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, E. F. M.; ANDRADE, R. A.; BERGAMIN, A. C.; MULLER, M. W. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. *Pesquisa Florestal Brasileira*. Colombo, v. 37, n. 89, p. 19-27. 2017.

MATIAS, S. S. R.; CORREIA, M. A. R.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T.; CENTURION, J. F.; NÓBREA, J. C. C. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 7, n. 3, p. 414-420, 2012.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: SANTOS, G. A. et al. (Eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*, p.1-5, 2008.

MOLINE, E. F. V.; COUTINHO, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Occidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 58, n. 1, p. 14-20, 2015.

MONI, C.; DERRIEN, D.; HATTON, P. J.; ZELLER, B.; KLEBER, M. Density fractions versus size separates: does physical fractionation isolate functional soil compartments. **Biogeosci Disc**. 2012.

MONTOVANI, N. C.; GRANDO, M. F.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. avaliação de genótipos de urucum (*Bixa orellana* L.) por meio da caracterização morfológica de frutos, produtividade de sementes e teor de bixina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 355-362, 2013.

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.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1103-1110, 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. Ed. Lavras: Editora UFLA. p. 729, 2006.

MORENO, J. L. **La materia orgánica en los agrosistemas**. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 174 p. 1996.

MUÑOZ, A.; LÓPEZ, P. A.; RAMÍREZ, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. **Soil & Tillage Research**, 2007.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, . F.; BARRETA, P. G. V.; OLIVEIRA, T. P.; SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 1, 2019.

NASCIMENTO, J. S.; SANTOS JÚNIR, C. S.; MONTEIRO, M. F. G.; LOPES, P. V. N.; SILVA, Y. P. Monitoramento ambiental Impactos ambientais movidos pelo desmatamento sucessivo da amazônia legal. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 5, n. 12, p. 33157-33167. 2019.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. S.; ZOFFOLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 339-348, 2010.

NASCIMENTO, W. B.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SANTOS, L. A. C.; CUNHA, J. M.; LOURENÇO, I. H.; OLIVEIRA, F. P. Physical and chemical properties of soils in different physiographic environments in the southern Amazonas region. **Agricultural Sciences**. Uberlândia, MG, v. 35, n. 4, p. 1099-1109. 2019.

NEVES, C. M. N. das; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. de. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 45-53, 2007.

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Santa Maria: UFSM. p. 150. 2005.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, Boston, v. 4, n.10, p. 957-988, 1991.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1007, 2007.

NORONHA, M. C. **Arranjos produtivos locais no estado do Amazonas: uma análise dos esforços do setor público na sua implementação**. Manaus, Universidade Federal do Amazonas – UFAM (Dissertação Mestrado), p. 151, 2009.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v. 76, p. 319-337, 1984.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; FREITAS, L.; SOARES, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2015.

PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; MAIA, C. M. B. de F. **Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais**. In: Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: Embrapa, p. 71-83. 2015.

PEREIRA, A. L. Atributos do solo sob pastagem em sistema destema de sequeiro e irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 377-384, 2009.

PEREIRA, G. E. S. **Implicações da retirada da vegetação original e sua substituição por diferentes tipos de cobertura vegetal sobre aspectos físicos e de fertilidade do solo na região de Ariquemes, RO**. Porto velho, Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR (Dissertação Mestrado), p. 91, 2017.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. **Soil Science**, v. 166, p. 810-832, 2001.

PINHEIRO, G. L.; SILVA, C. A.; LIMA, J. M.; COSTA, A. L.; & SACZK, A. A. Ácidos orgânicos de baixa massa molar em solos e materiais orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 413-418, 2013.

PINO, F. A. A questão da não normalidade: uma revisão. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 61, n. 2, p. 17-33. 2014.

PLEGER, P.; CASSOL, P. C.; MAFRA, A. L. Substâncias húmicas em Cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 807-817. 2017.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais. **Revista Biociência**. Taubaté, v.9, n.3, p. 7-16. 2003.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, O da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**. Aracajú, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

REBOUÇAS, T. N. H.; SÃO JOSÉ, A. R. **A cultura do urucum: práticas de cultivo e comercialização**. Vitória da Conquista, p. 42, 1996.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; & ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REIS, C. E. S. dos; DICK, D. P.; CALDAS, J. da S.; BAYER, C. Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, p. 292-301, 2014.

REIS, E. **Estatística multivariada aplicada**. 2ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, p. 343, 2001.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2003.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A., & RIBEIRO, M. R. Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores do P-disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

RODRIGUES, M.; RABÊLO, F. H. S.; CASTRO, H. A.; ROBODERO, D.; CARVALHO, M. A. C.; ROQUE, C. R. Cultivo mínimo é o sistema recomendado para introdução da *Brachiaria brizantha* em Latossolo na Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 61, p. 1-7. 2018.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, R. C. **Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade**. In.: Amazônia: agricultura sustentável. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 215-221, 1997.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento Físico do Solo em Estudos da Matéria Orgânica**. 1ª ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

ROSOLEM, C. A.; PIVETTA, L. A. Mechanical and biological approaches to alleviate soil compaction in tropical soils: assessed by root growth and activity (Rb uptake) of soybean and maize grown in rotation with cover crops. **Soil and Use Management**, v. 33, n. 1, p. 141-152, 2017.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, bn. 9, p. 1529-1538, 2016.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.622-630, 2011.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciências Agrônômicas**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, jan-mar, 2012.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; MOURA, O. V. T.; ALMEIDA, A. P. C. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p.1677-1685, 2016.

SAID, M. M. **Aspectos culturais e potencial de uso do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (willd. ex spreng. schum.) no estado do Amazonas**. Manaus, Universidade Federal do Amazonas - UFAM (Dissertação Mestrado), p. 136. 2011.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.1. p.01-15. 2018.

SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SOLVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUZA, C. A. Atributos químicos, físicos e estoque de cálcio, magnésio, potássio e fósforo em solos de campos de murundus no Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 45, n. 2, 2015.

SCHALLER, F. W.; STOCKINGER, K. R. A comparison of five methods for expressing aggregation data. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 17, p. 310-313, 1953.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S. B., eds. Minerals in soil environments. 2. ed. Madison, **Soil Science Society of America**, p.380-427, 1989.

SCHIAVO, J. A.; CANELLAS, L. C.; MARTINS, M. A. Revegetação de cava de extração de argila com *Acacia mangium*. I - Atributos químicos do solo, ácidos fúlvicos e húmicos. R **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1153-1162, 2007.

SILVA, F. C. P. da.; FRANCO, C. F. O. **Avaliação de cultivares de urucum na Paraíba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORANTES NATURAIS, p. 4, 2000.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 329-337, 2006.

SILVA, M. B. da; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, R. R.; WERTH, D.; AVISSAR, R. Regional Impacts of Future Land-Cover Changes on the Amazon Basin Wet-Season Climate. **Journal of Climate**, v. 21, p. 1153-1170, 2008.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

SLOBODA, E. **Influência do tamanho molecular aparente das substâncias húmicas aquáticas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio e cloreto férrico**. São Carlos, Universidade Estadual Paulista – UNESP (Dissertação Mestrado), p. 108, 2007.

SOARES, D. O. P. **Período de interferência das plantas daninhas na cultura do guaranazeiro**. Manaus, Universidade Federal do Amazonas - UFAM (Dissertação Mestrado), p. 41, 2017.

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

SOBRAL, L. F; BARRETTO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, (Documentos, n. 206) 13p. 2015.

SOUSA, E. M. P.; FARIA, L. J. G. Extração e estabilidade do corante de urucum (*Bixa orellana* L.) em base cosmética. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.16, n. 2, p. 195-204, 2014.

SOUZA, A. G. C.; SILVA, S. E. L.; TAVARES, A. M.; RODRIGUES, M. R. L. **A cultura do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum)**. Manaus: EMBRAPA (circular técnica 2), p. 39. 1999.

SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; LIMA, C. V. S. de; ANGHINOMI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. de F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1113-1122, 2003.

SOUZA, Z. M.; LEITE, J. A.; BEUTLER, A. N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 654-662, 2004.

SPACCINI, R.; MBAGWU, J. S. C.; CONTE, P.; PICCOLO, A. Changes of humic substances characteristics from forested to cultivated soils in Ethiopia. **Geoderma**, v. 132, p. 9-19. 2005.

SPARKS, D. L. Elucidating the fundamental chemistry of soils: Past and recent achievements and future frontiers. **Geoderma**, v. 100, p. 303-319, 2001.

SPSS Inc. **Statistical Analysis Using SPSS**. Chicago. 2001.

STATSOFT. **Statistica 7.0**. Tulsa: StatSoft, p. 250, 2004

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, p. 496, 1994.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: Sparks, D. L.; Page, A. L.; Helmke, P. A.; Loeppert, R. H.; Soltanpour, P. N.; Tabatabai, M. A.; Johnston, C. T.; Sumner, M. E. (Eds.) **Methods of soil analysis: chemical methods**. Soil Science Society of America; **American Society of Agronomy**, Madison, v. 3, p. 1011-1020, 1996.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, p. 362, 1993.

TAVARES, A. M.; ATROCH, A. L.; NASCIMENTO FILHO, F. J.; PEREIRA, J. C. R.; ARAÚJO, J. C. A.; MOARES, L. A. C.; SANTOS, L. P.; GARCIA, M. V. B.; ARRUDA, M. R.; SOUSA, N. R.; ANGELO, P. C. S. **Cultura do guaranazeiro no Amazonas**. 4. ed. Manaus, p. 40, 2005.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; ADEMIR, F.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. – 3. ed., rev. e ampl. – Brasília: Embrapa, p. 573. 2017.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1173-1184, 2007.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Dordrechster, v. 33, p. 141-163, 1982.

TOGNON, A. A.; DEMATTÊ, J. L. I.; DEMATTÊ, J. A. M. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil Central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, p. 343-354, 1998.

VASCONCELOS, A. I. T.; GARCIA, E. A. R.; FURTADO, C. F. C.; CABRAL, J. E. O. As dimensões da sustentabilidade dos Sistemas Agroflorestais: SAFs: um estudo no Projeto de Reflorestamento Consorciado e Adensado – RECA, Ponta do Abunã – RO. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 36, p. 73-93, 2016.

VASCONCELOS, R. F. B. de; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.309-316, 2010.

VASCONCELOS, R. F. B. de; SOUZA, E. R. de; CANTALICE, J. R. B. & SILVA, L. S. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 381-386, 2014.

VAZ, D., O. **Estudo das interações de íons metálicos divalentes com ácidos fúlvicos extraídos das águas do Rio Suweanee**. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina. 2006.

VIEIRA, I. C.; TOLEDO, P. M.; HIGUCHI, H. A Amazônia no Antropoceno. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 70, n. 1, 2018.

VINCE, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, 215 p, 2005.

WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37(1):29-38. 1934.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ, E. de. NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

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

ZANINETTI, R. A.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Amarelo na conversão de floresta primária para seringais na Amazônia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1061-1068, 2016.