

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ANDERSON DE HOLANDA JARDIM

AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE FLORESTA  
NATIVA E PLANTIO DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. NA AMAZÔNIA CENTRAL

ITACOATIARA – AM

2023

ANDERSON DE HOLANDA JARDIM

AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICO DO SOLO EM ÁREA DE FLORESTA  
NATIVA E PLANTIO DE *Bertholletia excelsa* Bonpl. NA AMAZÔNIA CENTRAL

Monografia apresentada ao Centro de  
Estudos Superiores de Itacoatiara da  
Universidade do Estado do Amazonas –  
UEA, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Dr. Luís Antônio Coutrim dos  
Santos  
Coorientador: Dr. Romário Pimenta Gomes

ITACOATIARA - AM

2023

ANDERSON DE HOLANDA JARDIM

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE FLORESTA NATIVA E PLANTIO DE *Bertholletia excelsa* BONPL. NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

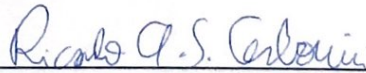
Aprovada em 30 de março de 2023

BANCA EXAMINADORA



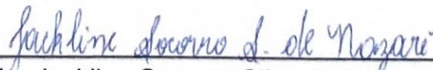
---

Dr. Luís Antônio Coutrim dos Santos  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA  
Orientador



---

Dr. Ricardo Augusto Serpa Cerboncini  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA



---

M<sup>te</sup>. Jackline Socorro Silva de Nazaré  
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Dedico a Deus

Aos meus Pais pela educação, apoio e incentivo.

“Tentar não significa conseguir, mas todos que conseguiram certamente um dia tentaram.”

*MORAIS, F. S.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, pela vida e pela saúde.

À minha família, principalmente aos meus pais, que mesmo distante sempre me apoiaram durante minha jornada acadêmica.

De modo especial à minha namorada, Kamilly da Silva Pereira pelo companheirismo e por sempre ter me apoiado nos momentos bons e ruins durante essa caminhada, obrigado por tudo, amo você.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luís Antônio Coutrim dos Santos pela orientação, paciência e apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

À empresa Agropecuária Aruanã S. A. pela área de estudo para que esse trabalho pudesse ser desenvolvido.

À família Castro por todo o apoio, em especial ao meu Amigo Julião

À família Neves, em especial, ao Lyviston, Layna e Vanice.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa do Museu de Solos da Amazônia, em especial à Noeme, Alexandre, Fredson, Jamile, Valeska e à todos que ajudaram nas realizações das análises laboratoriais.

Aos meus amigos da graduação, Emerson, David, Andriw, Gelson, Marco, Ézio, Fellip, Drielly, Jaylene, Tiana, Larissa, Lara e Lohanne.

Enfim, a todos aqueles de forma direta ou indireta colaboraram para a minha formação acadêmica.

## RESUMO

Na região Amazônica, a alteração da cobertura vegetal para fins de implantação de culturas, tem promovido o rompimento do equilíbrio natural do solo. Com isso, conhecer a qualidade física do solo em um determinado ecossistema, torna-se, importante para definir as práticas a serem adotadas de forma adequada, nesse contexto, a avaliação do impacto dos diferentes tipos de uso e coberturas vegetais pode auxiliar no direcionamento de técnicas relacionadas com o manejo florestal. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo, determinar os atributos físicos do solo sob áreas de floresta nativa e áreas de plantios de castanheiras (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) na Amazônia Central. O estudo foi realizado em três áreas da Fazenda Aruanã, uma área de floresta nativa (FN) e duas áreas sob plantio de *B. excelsa* Bonpl, uma área com idade de 3 anos (CA3) e outra com 25 anos (CA25). Para cada uma das áreas foram amostrados 64 pontos em três profundidades distintas, de 0,00-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, perfazendo um total de 192 amostras por área. Foram realizadas as análises de textura, densidade do solo, macro, micro e porosidade total, resistência do solo a penetração e estabilidade de agregados. As análises foram executadas no Laboratório de Química do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara (CESIT/UEA). Após a determinação das análises, os dados foram tabulados e posteriormente foi realizado as análises estatísticas univariada e multivariada. A partir dos resultados foi possível concluir que os maiores valores de macroporosidade (MaP), porosidade total (Pt), Diâmetro médio geométrico (DMG), Diâmetro médio ponderado(DMP), índice de estabilidade de agregado (IEA) e classe de agregados maiores que 2 mm e menores valores de densidade do solo (Ds) e resistência de solo a penetração (RSP) foram encontrados na área FN e CA25, mostrando que área CA25 com o tempo de estabelecimento do plantio, está caminhando para um novo equilíbrio, chegando próximo ou superior a floresta nativa em relação aos atributos avaliados. Na CA3 foram encontrados maiores valores de RSP, Ds e menor estabilidade de agregado foram encontradas, mostrando que as propriedades físicas do solo são alteradas com a conversão da área nativa para área cultivadas.

**Palavras chaves:** Solos amazônicos. Atributos físicos do solo. Qualidade do solo.

## ABSTRACT

In the Amazon region, the alteration of vegetation cover for the purpose of planting crops has promoted the disruption of the soil's natural balance. Thus, knowing the physical quality of the soil in a given ecosystem becomes important to define the practices to be adopted appropriately, in this context, the evaluation of the impact of different types of use and vegetation cover can help in the direction of techniques related to forest management. In view of the above, the present work aims to determine the physical attributes of the soil under native forest areas and areas of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) plantations in Central Amazon. The study was carried out in three areas of Fazenda Aruanã, one area of native forest (FN) and two areas under plantation of *B. excelsa* Bonpl, one area with 3 years of age (CA3) and another with 25 years (CA25). For each area, 64 points were sampled at three different depths, 0.00-0.20, 0.20-0.40 and 0.40-0.60 m, totaling 192 samples per area. Texture, soil density, macro, micro and total porosity, soil resistance to penetration and aggregate stability were analyzed. The analyses were performed in the Chemistry Laboratory of the Center for Higher Studies of Itacoatiara (CESIT/UEA). After the determination of the analyses, the data were tabulated and later the univariate and multivariate statistical analyses were performed. From the results it was possible to conclude that the highest values of macroporosity (MaP), total porosity (Pt), geometric mean diameter (GDM), weighted mean diameter (WD), aggregate stability index (AEI) and class of aggregates larger than 2 mm and the lowest values of soil density (SD) and soil resistance to penetration (SPR) were found in the area FN and CA25, showing that the CA25 area, with the time of establishment of the plantation, is moving towards a new balance, coming close to or superior to native forest in relation to the attributes evaluated. In CA3 higher values of RSP, Ds and lower aggregate stability were found, showing that the physical properties of the soil are altered with the conversion from native to cultivated areas.

**Keywords:** Amazonian soils. Physical attributes of the soil. Soil quality.

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Estatística Descritiva e teste de comparação de média dos atributos físicos na profundidade de 0 -20 cm para as áreas avaliadas no município de Itacoatiara - Am.....  | 27 |
| Tabela 2 - Estatística Descritiva e teste de comparação de média dos atributos físicos na profundidade de 20-40 cm para as áreas avaliadas no município de Itacoatiara - Am.....  | 28 |
| Tabela 3 - Estatística Descritiva e teste de comparação de média dos atributos físicos na profundidade de 40-60 cm para as áreas avaliadas no município de Itacoatiara - Am.....  | 29 |
| Tabela 4 - Correlação entre cada componente principal das variáveis analisadas dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob Floresta Nativa e Plantio de B. excelsa em Itacoatiara - AM..... | 34 |



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Localização das áreas de estudo.....   | 20 |
| Figura 2 - Gríde representativo de dimensões de 70 x 70 m.....  | 21 |
| Figura 3 - Profundidades de coleta em cada ponto amostral. (A) profundidades de 0,00-0,20 m; (B) profundidades de 0,20-0,40 m; (C) profundidades de 0,40-0,60 m .....                                     | 21 |
| Figura 4 - Coleta das amostras. (A) Amostra com estrutura deformadas; (B) Amostras com estrutura preservadas.....   | 22 |
| Figura 5 - Processo para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). (A) Secagem das amostras; (B) Destorroamento; (C) Peneiramento. ....   | 22 |
| Figura 6 - Separação de torrões para análise de estabilidade de agregado. (A) Torrões de 3 a 4 cm; (B) Passagem na peneira de 9,75 mm; (C) Torrões retidos na peneira de 4,55 mm. ....                    | 22 |
| Figura 7 - Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob Floresta Nativa e Plantio de B. excelsa em Itacoatiara - AM..... | 35 |
| Figura 8 - Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), para a CP na profundidade 0-20 cm .....   | 36 |
| Figura 9 - Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), para a CP na profundidade 20-40 cm .....  | 36 |
| Figura 10 - Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), para a CP na profundidade 40-60 cm .....   | 37 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>1.1. OBJETIVOS</b> .....   | <b>12</b> |
| 1.1.1. Geral.....   | 12        |
| 1.1.2. Específicos .....  | 12        |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                                 | <b>13</b> |
| <b>2.1. Solos Amazônicos</b> .....                                    | <b>13</b> |
| <b>2.2. Atributos físicos do solo</b> .....                           | <b>14</b> |
| <b>2.3. <i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.</b> .....                  | <b>16</b> |
| <b>2.4. Estatística multivariada aplicada a ciência do solo</b> ..... | <b>17</b> |
| <b>3. METODOLOGIA</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>3.1. Área de estudo</b> .....                                      | <b>19</b> |
| 3.1.1. Caracterização do meio físico .....                            | 19        |
| 3.1.2. Localização da área .....                                      | 19        |
| 3.1.3. Histórico da área de estudo .....                              | 19        |
| <b>3.2. Metodologia de Campo</b> .....                                | <b>20</b> |
| <b>3.3. Análises Laboratoriais</b> .....                              | <b>23</b> |
| <b>3.4. Análises Estatísticas</b> .....                               | <b>24</b> |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                | <b>26</b> |
| <b>4.1. Análise Univariada</b> .....                                  | <b>26</b> |
| <b>4.2. Análise Multivariada</b> .....                                | <b>32</b> |
| <b>5. CONCLUSÕES</b> .....  | <b>40</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....                            | <b>41</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um componente do ambiente natural que deve ser conhecido e preservado, em virtude da sua vital importância para a manutenção e regulação dos ecossistemas terrestres e sobrevivência dos organismos que dele dependem (FALCÃO; SOBRINHO, 2014). Para Pignataro Netto et al. (2009), o solo tem a capacidade de realizar vários papéis que exercem influência sobre os constituintes do ambiente na natureza, tais como, distribuição, infiltração, escoamento e armazenamento de água da chuva, ciclagem de nutrientes, entre outros.

Com isso, as diversas formas de uso e ocupação do solo causam preocupação (COSTA et al., 2008). Neste contexto, a ocupação da Amazônia vem ocasionando a substituição de áreas de florestas por lavouras, pastagens ou plantio florestais, o que, em muitas vezes, contribuem para a degradação desses solos. No ambiente amazônico, as alterações dos ecossistemas naturais, por meio da retirada da cobertura vegetal, promovem o rompimento do equilíbrio natural do ecossistema, ocorrendo modificações nos atributos físicos e químicos do solo (LIMA et al., 2009; CAMPOS et al., 2015).

Neste contexto, a qualidade física do solo é essencial para o desenvolvimento das diferentes espécies vegetais, além de promover condições ideais de aeração, infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas, bem como apresenta resistência aos processos erosivos (REICHERT et al., 2003). Todavia, a alteração na cobertura vegetal provoca redução nos processos de ciclagem de nutrientes e diminui a decomposição da matéria orgânica, modificando as características físicas como densidade do solo, estrutura, estabilidade de agregados e porosidade (CARNEIRO et al., 2009).

Estudos relacionados sobre os efeitos da dinâmica da qualidade física e química dos solos após a retirada da cobertura vegetal por plantio de espécies florestal nativa de valor econômico da região, são bem poucos, a maioria desses trabalhos está relacionado aos efeitos da introdução de pastagem (MORAES et al., 1996; MAIA et al., 2009). Com isso, a Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma espécie com grande potencial em algumas cadeias produtiva como madeira, castanha, artesanato e cosméticos, além disso, a espécie possui boas características silviculturais (FERREIRA; TONINI, 2009; NOGUEIRA et al., 2018), a qual está sendo

muito utilizada também em diferentes sistemas de plantios florestais (FERREIRA; TONINI, 2009; FERREIRA et al., 2012).

Os plantios da *B. excelsa* na Amazônia são geralmente estabelecidos em solos ácidos e de baixa fertilidade, em razão destas características edáficas serem predominantes na região (LIMA; SOUZA, 2014; COSTA et al., 2015). A espécie apresenta melhor desenvolvimento em solo com textura argilosa a muito argilosa do que em solos arenosos (LIMA et al., 2005).

Atualmente, *B. excelsa* é a segunda espécie nativa mais plantada na região amazônica, sendo superada apenas pelo Paricá (*Schizolobium amazonicum*), porém informações sobre os efeitos de práticas silviculturais, ecofisiologia e nutricionais da castanheira ainda precisam ser aprofundadas e mais abrangentes (LOPES, 2018). Neste contexto, para se entender mais da dinâmica dos atributos físicos do solo em plantio de castanheira, podemos utilizar técnicas de análises multivariadas, ao qual é muito importante no estudo das alterações de atributos do solo (MALUCHE-BARETTA et al., 2006; MEIRELES et al., 2012).

A análise multivariada, acrescenta informações relevantes à variação conjunta de variáveis-respostas, levando a se ter respostas mais precisas, pois ela considera a dependência entre as variáveis-respostas (covariância), em contrapartida na análise univariada não se faz isso (COIMBRA et al., 2007), contudo, uma análise serve de complemento a outra, proporcionando diferentes respostas. Em suma, este método é uma importante ferramenta nos estudos de indicadores de qualidade do solo, pois estabelecem relações entre os atributos químicos, físicos e os biológicos (MALUCHE-BARETTA et al., 2006).

Diante do exposto, para verificar se a área de floresta nativa e área de plantio de Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) apresentam diferença nos atributos físicos do solo, foi realizado o presente estudo, com o objetivo de determinar os atributos físicos do solo sob áreas de floresta nativa e áreas de plantio de Castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) na Amazônia Central.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Geral

Avaliar os atributos físicos do solo sob áreas de floresta nativa e em plantios de Castanheiras (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) no município de Itacoatiara-AM.

### 1.1.2. Específicos

- a) Determinar a textura, densidade do solo, macro, micro e porosidade total, estabilidade de agregados e resistência do solo à penetração sob cultivos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. e área de floresta nativa no município de Itacoatiara-AM;
- b) Avaliar as interações entre os atributos físicos do solo nas áreas de floresta nativa sob plantio de *Bertholletia excelsa* Bonpl.;
- c) Avaliar o efeito da conversão de floresta nativa em área de cultivo de *Bertholletia excelsa* Bonpl no município de Itacoatiara-AM.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Solos Amazônicos

A região Amazônica é constituída por uma diversidade de tipos de solos e paisagens (CAMPOS et al., 2012). De modo geral, se reconhece a predominância na Amazônia de duas ordens de paisagem inteiramente diferentes: as várzeas e as terras firmes (SCHAEFER, 2017). Independentemente do processo intenso de intemperismo na região, as características químicas e mineralógicas dos solos são ocasionadas pela natureza do material de origem (SCHAEFER, 2017). Enquanto nas várzeas predominam solos jovens, originado a partir de sedimentos quaternários, nas áreas de terras firmes os solos são bem mais evoluídos, formados a partir de sedimentos mais antigos ou de rochas cristalinas mais antigas (SCHAEFER, 2017).

Na área de terra firme, os principais tipos de solos encontrados são os Latossolos e os Argissolos, os quais tem uma maior predominância na região amazônica (TEIXEIRA et al., 2010; MAIA, 2010). Em contrapartida, as áreas de várzea, se encontram principalmente os Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos (MAIA, 2010).

Os solos de terra firme são solos de composição terciária, com boas propriedades físicas, mas baixa fertilidade natural (MOREIRA et al., 2005; CUNHA et al., 2007; WASTOWSKI et al., 2010), a sua alta acidez é decorrente da lixiviação de bases e da dominância de toxicidade de alumínio, o que torna uma limitação para a fertilidade desses solos (MOREIRA et al., 2005). De forma geral, os solos da terra firme, especialmente o Latossolo Amarelo, que se apresenta sob a floresta primária, possui boa drenagem, boa retenção de água, pobreza em nutrientes e capacidade de troca catiônica (FERREIRA, 2006).

Os solos de várzea se formam sobre sedimentos holocênicos, recentemente depositados, com o nível elevado do lençol freático e a inundação periódica a que estão sujeitos e limitam os processos pedogenéticos. Por isso, são solos jovens e, em alguns casos, apenas sedimentos em processo incipiente de pedogênese (LIMA, 2001). São solos que possuem teores elevados de silte e de areia fina, normalmente são eutróficos, com elevada capacidade de troca de cátions e elevados teores de cátions trocáveis, especialmente cálcio, magnésio e, em alguns casos sódio (LIMA, 2001).

## 2.2. Atributos físicos do solo

A qualidade dos atributos físicos do solo é de grande importância, uma vez que pode afetar diretamente na qualidade química e biológica dos solos, e ainda determinar a taxa de infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas (REICHERT et al., 2003; ARAÚJO et al., 2007). Dos atributos físicos do solo, destacam-se como importante para o manejo, a textura, a densidade do solo, a estrutura e a porosidade total do solo. A textura está relacionada a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao seu tamanho, a qual são avaliadas, partículas inferiores a 2 mm (REINERT; REICHERT, 2006).

A textura é um dos atributos mais estáveis, sendo alterado levemente pelo cultivo ou outras práticas que causam a mistura de diferentes profundidades. Com isso, após uma determinação inicial da textura, somente é feita outra análise num período de 2 a 5 anos, pois a alteração da mesma se verifica somente quando a erosão acelerada é o processo de degradação predominante (ARSHAD et al., 2002). Porém, a textura tem estreita relação com a retenção e o transporte de água, estrutura do solo, retenção de nutrientes e de matéria orgânica, além disso, pode influenciar fortemente os processos erosivos do solo (BARROS et al., 2009).

A importância do conhecimento das proporções de areia, silte e argila, levando-se em consideração outros atributos edáficos, poderá indicar-se a adubação mais adequada, destacando-se a possível necessidade de parcelamento de acordo com a classe textural do solo considerado (ZANON, 2013).

Outra propriedade importante é a densidade do solo ( $D_s$ ), que inclui os espaços dentro dos agregados e entre os agregados, ou seja, leva em consideração o espaço poroso do solo (FILHO et al., 2008). A  $D_s$  é um atributo que fornece indicação da conservação do solo, mostrando a influência na infiltração e retenção de água no solo, no desempenho das raízes, nos processos erosivos e também muito utilizada na avaliação da compactação dos solos (FUENTES-LLANILLO et al., 2006). Devido a isso, a  $D_s$  é o atributo mais sensível à instalação de sistemas produtivos, no entanto, existe uma relação complexa com outros atributos físicos do solo que impedem uma alteração drástica da mesma (CRUZ, 2012).

Uma das principais razões para a medição da  $D_s$  é o fato de que os valores medidos podem ser utilizados no cálculo da porosidade total do solo ( $P_t$ ) (BRADY; WEIL, 2013). A  $P_t$  é relacionada com o arranjo entre os componentes sólidos (física e

quimicamente diferentes, e com formas e tamanhos variados) determina as características geométricas dos poros, nos quais a água e o ar se movimentam ou são retidos (LIMA, 2001; FILHO et al., 2008).

A Pt é um indicador importante para o conhecimento das condições ambientais do solo no desenvolvimento e na produção vegetal, é um importante parâmetro de avaliação da estrutura; é útil nos estudos de mecânica do solo; influencia na infiltração e retenção de água, e na temperatura do solo (FILHO et al., 2008).

Quanto ao tamanho dos poros, ocorrem em uma ampla variedade de tamanhos e formas, as quais condicionam grande parte de suas funções (BRADY; WEIL, 2013). A Classificação dos principais poros do solo são os macroporos (maiores do que 0,08 mm), microporos (menores que 0,08mm) e mesoporos (0,03-0,08mm) (BRADY; WEIL, 2013).

Outra propriedade física do solo que se relaciona com a Ds é a resistência do solo a penetração (RSP), desta forma, quando a Ds é elevada pode-se esperar altos valores de RSP (BRADY; WEIL, 2013). A RSP junto com a Ds são atributos que apresentam relação direta com a velocidade de infiltração de água no solo, pois se um horizonte tem maior RSP e Ds, haverá redução no volume de poros, com isso, vai interferir na capacidade de retenção e infiltração de água no solo (CRUZ, 2012; BRADY; WEIL, 2013).

A RSP é uma propriedade que influencia muito no desenvolvimento radicular das plantas, as raízes penetram no solo, pressionando seu caminho por entre os poros, até certo ponto, a própria Ds restringe o crescimento radicular, à medida que a raiz encontra poros menores e em menor número, porém, a penetração das raízes é limitada pela RSP (BRADY; WEIL, 2013).

Outra propriedade física do solo que merece destaque é a estabilidade de agregados, a qual se refere à resistência à desagregação que os agregados apresentam quando submetidos a forças externas (ação de implementos agrícolas e impacto da gota de chuva) ou forças internas (compressão de ar e expansão/contração em agregados, com o umedecimento) que tentam rompê-los (REICHERT; REINERT, 2007).

Segundo Cruz (2012), a estabilidade de agregados é um indicador dos processos envolvidos na degradação do solo, pois influencia a infiltração, retenção de água, aeração e resistência à penetração de raízes e selamento superficial, erosão hídrica e eólica. As mudanças que ocorrem na estrutura do solo e o rompimento dos



agregados, decorrentes de atividades agrícola e/ou florestal, normalmente acarretam restrições ao crescimento radicular, reduzindo a exploração de água e nutrientes pelas culturas (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Deste modo, sistemas de manejo que proporcionem agregados mais resistentes tornam-se desejáveis, pois apresentam capacidade de manter a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos a forças externas, como pisoteio de animais e operações mecanizadas, e ainda maiores resistência a perdas por erosão (SALTON et al., 2008).

### **2.3. *Bertholletia excelsa* Bonpl.**

A *Bertholletia excelsa* Blonp., é uma espécie florestal de porte arbóreo pertencente à família Lecythidaceae (ALBUQUERQUE et al., 2015), nativa da região Amazônica (RIBEIRO et al., 1999; LIMA; SOUZA, 2014), sendo conhecida popularmente como castanha-do-pará, castanha, castanheira, castanheira-verdadeira, amendoeira-da-américa, castanha-mansa (LORENZI, 2002; LIMA; SOUZA, 2014). É uma espécie que produz sementes comestíveis, sendo um dos principais produtos florestais não madeireiros (PFNM) comercializados na região amazônica (ALBUQUERQUE et al., 2015).

A castanheira possui um alto valor no mercado, pois a espécie tem uso múltiplo, já que produz a madeira e o fruto (amêndoa). As amêndoas podem ser consumidas em doces, sobremesas e *in natura*, sendo esse os principais produtos apreciados no Brasil e no exterior (SOUZA et al., 2008). Todavia, a espécie também apresenta grande potencial na indústria madeireira, por apresentar boas características silviculturais e madeira de elevado padrão de qualidade (FERREIRA; TONINI, 2009).

A espécie tem ocorrência em toda a região Amazônica, incluindo-se os Estados de Roraima, Rondônia, Acre, Amazonas, Pará e a parte norte dos Estados de Goiás e Mato Grosso (ARAÚJO et al. 2007; LORENZI, 2002; TONINI, 2011). Além do Brasil, a espécie tem distribuição em outros países, Guiana, Peru, Bolívia, Equador, Suriname e sul da Venezuela (TONINI, 2011).

Segundo Souza et al. (2008), na Amazônia a espécie é encontrada em áreas de floresta de terra firme, com temperatura média anual variando entre 24 C e 27 °C, umidade relativa do ar superior a 80% e precipitação entre 1.400 mm e 2.800 mm. É de porte alto, podendo atingir alturas entre 30 m e 50 m, chegando até 60 m (YARED

et al., 1993; SOUZA et al., 2008). Possui um melhor desempenho em solos de textura argilosa a muito argilosa, e apresenta dificuldade em se desenvolver em solos arenosos, além disso, os principais fatores edáficos relacionados ao crescimento da *Bertholletia excelsa* Blonp. são os químicos (P, Zn, Na, Al e Mg) (LIMA et al., 2004).

#### **2.4. Estatística multivariada aplicada a ciência do solo**

A estatística multivariada refere-se ao conjunto de métodos estatísticos aplicados quando há múltiplas variáveis obtidas simultaneamente a partir de uma mesma unidade amostral ou observacional que, em geral, são correlacionadas entre si (BRANCAGLIONI, 2017). Esse método de estatística tem como objetivo simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno estudado e o seu desenvolvimento possibilitando o estudo mais preciso de fenômenos complexos (KHATTREE; NAIK, 2000; BAKKE et al., 2008).

A análise multivariada se diferencia da análise estatística univariada, por possibilitar avaliar mais de uma variável em conjunto, permitindo uma geração de respostas mais precisa (JÚNIOR, 2012). Já a univariada apresenta limitação, a característica estudada é interpretada isoladamente, não considerando a correlação com mais variáveis (JOSÉ et al., 2013). Com isso, a estatística univariada pode comprometer as interpretações e conclusões ao se determinar vários atributos em conjunto (FIDALSKI et al., 2007).

Para o estudo de alteração dos atributos do solo, a ferramenta de estatística multivariada vem sendo muito importante (MALUCHE-BARETTA et al., 2006), pois permite correlacionar os atributos do solo, o que forma os agrupamentos de populações com característica similares, permitindo a obtenção de um melhor entendimento das variações dos processos que ocorrem no solo (SENA et al., 2002). Além disso, o uso desta técnica facilita a interpretação do comportamento dos atributos do solo, para uma melhor tomada de decisão na prática de manejo, inclusive os manejos florestais (FREITAS et al., 2014).

Para realizar a análise multivariada deve-se utilizar técnicas estatísticas em cada uma das medições realizadas nas unidades amostrais (ESBENSEN, 2002). Quanto essas técnicas, temos: Análise de Componentes Principais (ACP); Análise Fatorial (AF); Análise de Correlação Canônica (ACC); Análise de Agrupamentos (AA);

Análise Discriminante (AD); Análise de Correspondência (AC); Testes de Hipóteses, Análise de Variância, de Covariância e de Regressão Multivariadas (MINGOTI, 2007).

Dentre essas técnicas, as que são mais utilizadas nos estudos da qualidade do solo, é a análise de componente principal - ACP e a análise de agrupamento - AG (MELÉM et al., 2008; SILVA et al., 2010). A ACP é um método estatístico multivariado que permite transformar um conjunto de variáveis correlacionadas entre si, em um novo conjunto de variáveis não-correlacionadas chamadas de componentes principais (MARQUES; MARQUES, 2005; REIS, 2001). Assim, os atributos do solo avaliados com a análise de componentes principais (ACP) é formado de acordo com suas semelhanças, que, por sua vez, são separadas por critérios de dissimilaridade, o que levará à formação de novos grupos (OLIVEIRA, 2013).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Área de estudo

##### 3.1.1. Caracterização do meio físico

A região do estudo está localizada no estado do Amazonas no município de Itacoatiara, que possui uma população de 102.701 habitantes, contando com uma área territorial de 8.891,906 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). O tipo climático da região de estudo é o Af clima tropical úmido, com precipitação anual superior a 2.000 mm e temperatura anual média de 27°C, com ocorrência de uma estação seca de curta duração, em função do elevado índice de precipitação pluviométrica (ALVARES et al., 2014).

O solo predominante da região é o Latossolo Amarelo Distrófico de textura argilosa (Silva, 2003; LIMA; LOPES, 2018), além disso, se faz presente as classes dos Argissolos Amarelos, Plintossolos Háplicos, Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos (SILVA, 2003).

##### 3.1.2. Localização da área

O estudo foi realizado na área da Empresa Agropecuária Aruanã S. A. (Fazendo Aruanã), localizada na rodovia AM-010, no km 57 (Itacoatiara- Manaus). A propriedade tem uma área de aproximadamente 14.310,34 hectares, na qual possui um total de 1.257.000 árvores de castanheira plantada. Além, da produção de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl) a empresa também tem plantios de pupunheira (*Bactris gasipaes*) para a produção de palmito.

##### 3.1.3. Histórico da área de estudo

Os primeiros plantios de castanheira realizado pela empresa foi no ano de 1981, utilizando-se espaçamento de 20 x 20 m (25 árvores por hectare). A partir do ano de 1985, os plantios receberam espaçamento menores de 10x10 m (100 árvores por hectare) e anos depois, visando a produção de madeira e principalmente a reposição florestal, a empresa adaptou um espaçamento mais adensado de 2,5 x 1,5 m (2.666 árvores por hectare), sem prática de adubação e calagem.

### 3.2. Metodologia de Campo

A pesquisa de campo foi realizada em três áreas, uma área de floresta nativa (FN) e duas áreas sob plantio de *B. excelsa* Bonpl, uma área com idade de 3 anos (CA3) e outra com 25 anos (CA25), com as respectivas coordenadas geográficas, 02°59'43,31" S e 58°48'43,830" W; 02°59'43,79" S e 58°48'47,90" W; 03°01'20,64" S e 58°49'55,23" W (Figura 1).

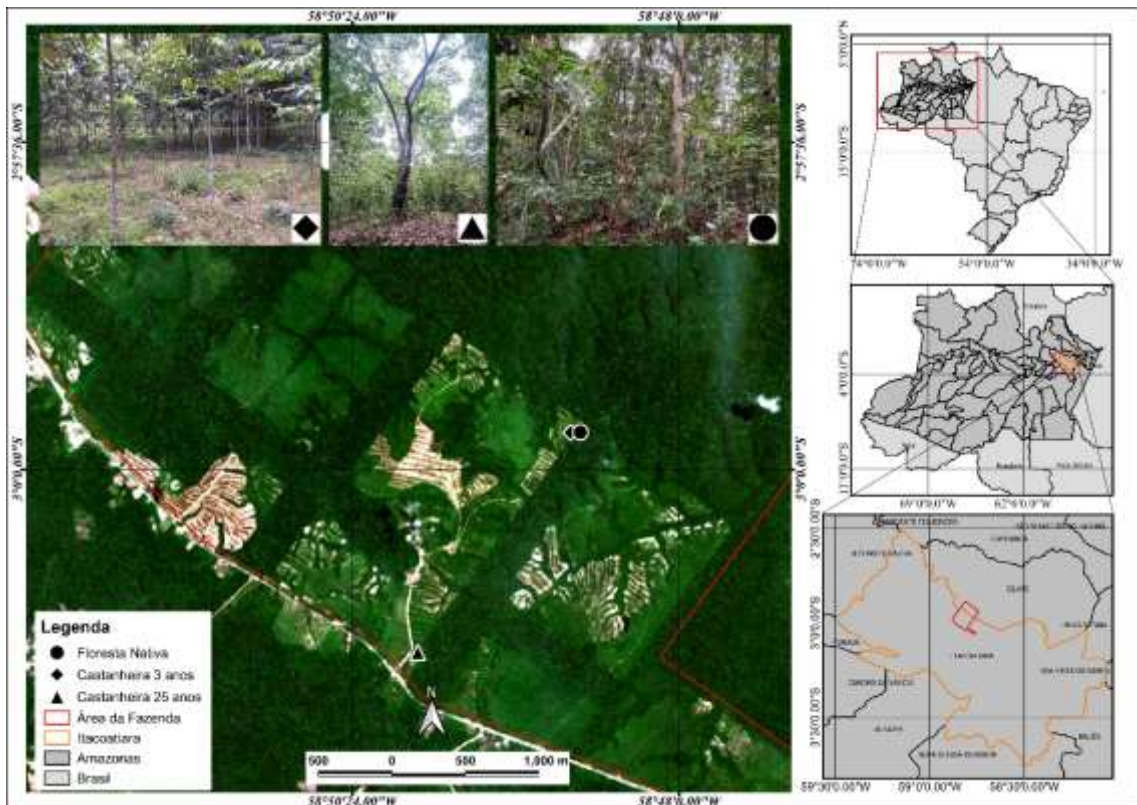


Figura 1 - Localização das áreas de estudo

Para cada uma das áreas selecionadas, foi montado um grid representativo de 70 x 70 m, com espaçamentos regulares de 10 x 10 m, sendo as amostras coletadas nos pontos de cruzamento da malha, perfazendo um total de 64 pontos amostrais por área (Figura 2). Em cada ponto, foram coletadas amostras de solos em três profundidades distintas, de 0,00-0,20 m, 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m (Figura 3), totalizando 192 amostras por área.

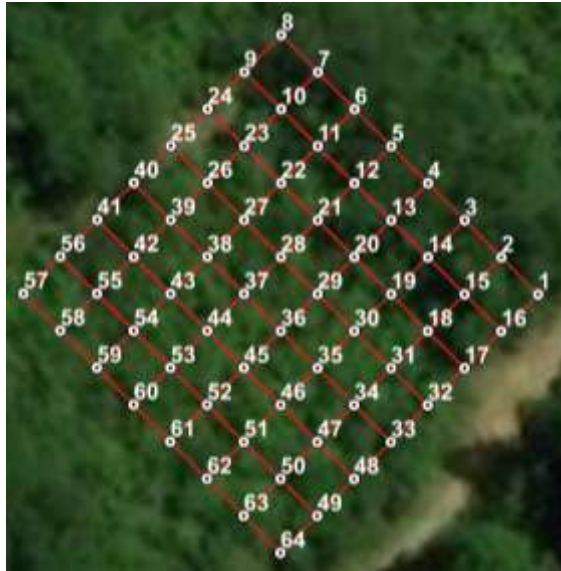


Figura 2 - Gride representativo de dimensões de 70 x 70 m.

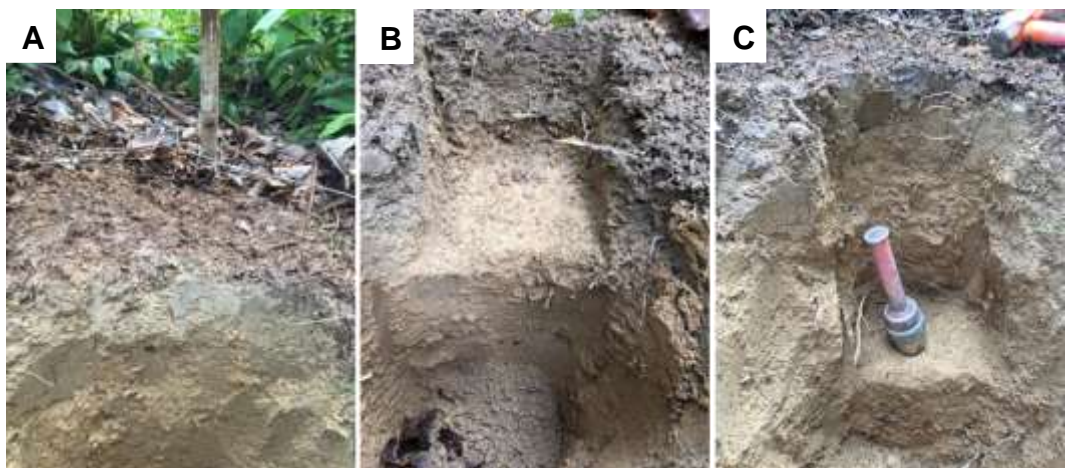


Figura 3 - Profundidades de coleta em cada ponto amostral. (A) profundidades de 0,00-0,20 m; (B) profundidades de 0,20-0,40 m; (C) profundidades de 0,40-0,60 m.

Nos pontos amostrais foram coletadas amostras com estrutura deformadas e amostras com estrutura preservada com auxílio dos anéis volumétricos de 5 cm de altura e 4 cm de diâmetro interno (Figura 4). As amostras com estruturas deformadas foram secas à sombra, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) (Figura 5). Antes da etapa de secagem das amostras, foram separados torrões com o tamanho de 3 a 4 cm, posteriormente, esses torrões foram passados em peneira de 9,45 mm de diâmetro de malha, separando o material redito na peneira de 4,75 mm para a determinação da análise de estabilidade de agregado (Figura 6).



Figura 4 - Coleta das amostras. (A) Amostra com estrutura deformadas; (B) Amostras com estrutura preservadas

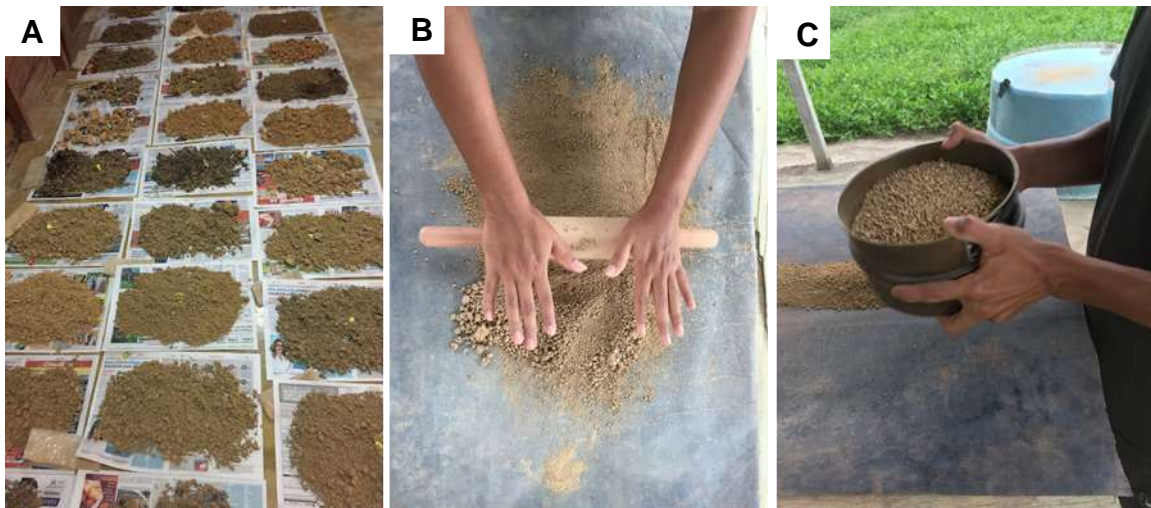


Figura 5 - Processo para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). (A) Secagem das amostras; (B) Destorroamento; (C) Peneiramento.

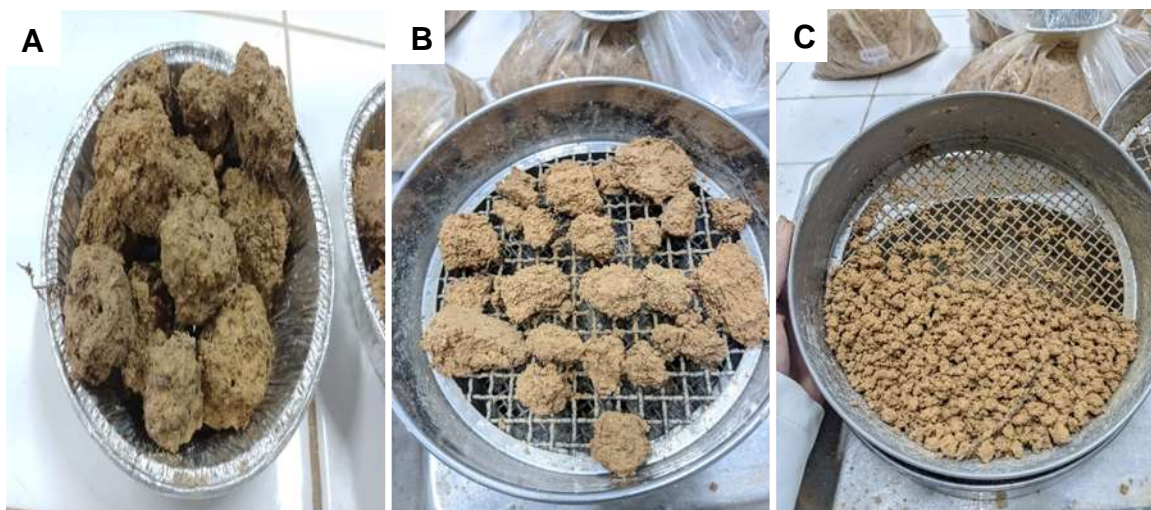


Figura 6 - Separação de torrões para análise de estabilidade de agregado. (A) Torrões de 3 a 4 cm; (B) Passagem na peneira de 9,75 mm; (C) Torrões retidos na peneira de 4,55 mm.

### 3.3. Análises Laboratoriais

As análises foram executadas no laboratório de Química do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas (UEA-CESIT).

A análise granulométrica foi obtida pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol. L<sup>-1</sup> como dispersante químico e agitação lenta no agitador tipo Wagner por 16 horas a 50 RPM, seguindo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado por diferença.

A análise de densidade do solo (Ds) foi realizado pelo método do anel volumétrico, seguindo a metodologia proposta em Texeira et al. (2017). Para a determinação da macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP) e porosidade total (Pt), as amostras dos anéis foram saturadas, elevando-se gradualmente a lâmina d'água em uma bandeja plástica até cerca de dois terços da altura do anel. Após a saturação as amostras foram levadas à mesa de tensão para determinação da MiP e Pt do solo, utilizando o método da mesa de tensão (limite entre macroporos e microporos em -6 kPa), segundo metodologia da Embrapa (1997). Pela diferença entre a Pt e a MiP, obteve-se a MaP.

Já a resistência do solo à penetração (RSP) foi determinada usando um penetrômetro estático de bancada, modelo MA-933 da Marconi, com velocidade constante de 0,1667 mm s<sup>-1</sup>, com ponteira de diâmetro da base de 4 mm, desenvolvido por Serafim et al. (2008). A haste de penetração foi introduzida no centro geométrico de cada amostra. Os resultados na parte superior (primeiro 1cm) e inferior (último 1cm) das amostras dos anéis de 5cm cada, foram desconsiderados, visando eliminar o efeito periférico da amostra. As frequências de leituras da RSP correspondem aos valores obtidos a cada 0,25 segundos, no intervalo considerado, resultando em várias leituras por amostra, sendo utilizado um valor médio das leituras para determinação da RSP.

Para a determinação de estabilidade de agregados do solo, foi realizado pelo método de peneiramento por via úmida, para isso, foram utilizados os agregados retidos na peneira de 4,76 mm. Após a obtenção dos agregados, as amostras foram colocadas em um conjunto de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,500; 0,250 e 0,106 mm, submetendo-os a oscilações verticais por 15 min a uma frequência de 32 oscilações por minuto. A massa do material retido em cada peneira foi passada para



um Becker de 100 mL e seco em estufa a 105°C até peso constante. As porcentagens de agregados > 2,00, 2-1 e < 1,00 mm, diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP), foram adotados como índices de estabilidade, seguindo a metodologia de Kemper e Rosenau (1986), de acordo com as equações:

$$DMP = \sum_{i=1}^N niDi / \sum_{i=1}^N ni$$

$$DMG = 10 \sum_{i=1}^N ni \log Di / \sum_{i=1}^N ni$$

em que:

$ni$  é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira,  $Di$  é o diâmetro médio de uma determinada peneira e  $N$  é o número de classes de peneiras.

$$IEA = (MS - wp_{1,00\text{-areia}} / MS\text{-areia}) \times 100$$

em que:

$MS$  – massa seca da amostra, g,e;  $wp_{1,00}$  – massa dos agregados da classe <1,00 mm, g.

### 3.4. Análises Estatísticas

Após a obtenção dos dados dos atributos físicos, estes foram submetidos à análise de estatística descritiva onde foram calculados os valores de média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose. Para isso, primeiramente foram detectados pontos fora da cursoa e, no caso de pontos considerados provenientes de erros laboratoriais, foi feita a remoção do mesmo

Posteriormente foram realizadas a análise de estatística univariada e multivariada. Foi utilizada a ANOVA para verificar possível diferença entre as áreas, confirmada a diferença entre as áreas, foi utilizado o teste de comparação de médias Tukey a 5 % de probabilidade. As hipóteses de normalidade dos dados dentro de cada ambiente foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS).

O coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como:  $CV < 12\%$ ,  $12 < CV < 60\%$ , e  $CV > 60\%$  para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Para as análises de componentes principais, os dados foram separados por profundidades e o conjunto de atributos do solo com propriedades específicas foram padronizados previamente à realização da análise. Os números dos componentes

principais selecionados para a interpretação incluíram aquelas que representaram uma variância acumulada maior ou igual a 70% (VINCE, 2005).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise Univariada

A análise descritiva e o teste de comparação de médias dos atributos físicos avaliados em área de FN, CA3 e CA25 são apresentados nas tabelas 1, 2 e 3, para as respectivas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. A partir dos resultados foi possível observar que os valores de média e mediana foram próximas para a maioria das variáveis, nas diferentes profundidades avaliadas, exceto para as variáveis argila e silte nas áreas de FN e CA25, em que na área de FN as exceções ocorreram nas profundidades de 20-40 cm e 40-60 cm para as respectivas variáveis (Tabela 2 e 3), e na área CA25 na profundidade de 40-60 cm para a fração silte e para fração argila nas profundidades de 20-40 cm e 40-60 cm (Tabela 2 e 3).

Os resultados de assimetria e curtose das variáveis estudadas apresentaram valores próximos de zero, com exceção das variáveis MiP e Pt na área CA3 na profundidade 0-20 cm e MaP, MiP e Pt na profundidade 20-40 cm (Tabela 1 e 2). Na área CA25, essas exceções ocorreram nas variáveis Map e Pt na profundidade 0-20 cm e nas variáveis argila e silte na profundidade 40-60 cm (Tabela 1 e 3). Estudos apontam que os valores de assimetria e curtose são indicadores da distribuição dos dados, os quais são sensíveis a valores diferentes entre média e mediana, se tais valores ficarem próximos a zero indicam maior normalidade dos dados (CORTEZ et al., 2011; KAMIMURA et al., 2013).

Conforme, os valores de coeficiente de variação (CV%), de acordo com classificação de Warrick e Nielsen (1980), foi possível afirmar que todos os atributos analisados apresentaram de baixa a média variação para todas as áreas e profundidades, estando de acordo com resultados encontrados por Cunha et al. (2015) e Souza. (2018), onde ambos estudaram os atributos físicos do solo na região amazônica, onde encontraram CV% de baixa a média variação. Todas as variáveis e profundidades avaliadas apresentaram normalidade dos dados pelo teste Kolmogorov Smirnov (K-S), o qual é justificado pelos valores de média e mediana encontrados anteriormente.

Tabela 1 - Estatística Descritiva e teste de comparação de média dos atributos físicos na profundidade de 0 -20 cm para as áreas avaliadas no município de Itacoatiara - Am.

| Estatística         | Areia                         | Silte    | Argila   | Ds                 | MaP                                      | MiP    | Pt     | RSP    | DMG          | DMP    | IEA         | >2.00 mm | 2-1 mm | <1.00 mm |
|---------------------|-------------------------------|----------|----------|--------------------|--|--------|--------|--------|--------------|--------|-------------|----------|--------|----------|
| Descritiva          | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |          |          | g cm <sup>-3</sup> | -----m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ----- |        |        | Mpa    | -----mm----- |        | -----%----- |          |        |          |
| Floresta Nativa     |                               |          |          |                    |  |        |        |        |              |        |             |          |        |          |
| Média               | 69,61 a                       | 214,08 a | 716,31 a | 1,16 b             | 0,14 a                                   | 0,46 c | 0,60 a | 1,48 b | 2,09 b       | 2,84 b | 90,55 b     | 80,72 b  | 3,96 a | 15,33 a  |
| Mediana             | 69,11                         | 216,99   | 711,9    | 1,16               | 0,13                                     | 0,46   | 0,60   | 1,19   | 2,06         | 2,87   | 94          | 80,7     | 3,54   | 14,66    |
| DP                  | 12,03                         | 55,64    | 52,34    | 0,11               | 0,04                                     | 0,03   | 0,03   | 0,84   | 0,56         | 0,24   | 7,7         | 7,75     | 2,59   | 7,22     |
| CV %                | 17,28                         | 25,99    | 7,31     | 9,32               | 29,48                                    | 7,58   | 5,77   | 57,07  | 26,9         | 8,34   | 8,51        | 9,61     | 65,53  | 47,08    |
| assimetria          | 0,15                          | 0,19     | -0,11    | -0,24              | 0,74                                     | -0,42  | -0,05  | 1,9    | -0,17        | -0,75  | -0,82       | -0,73    | 1,2    | 0,77     |
| Curtose             | -0,22                         | 0,17     | 0,14     | -0,56              | 0,29                                     | -0,08  | 2,82   | 4,6    | -0,71        | 1,25   | -0,29       | 1,66     | 2,08   | 1,27     |
| K-S                 | 0,80*                         | 0,98*    | 0,70*    | 0,92*              | 0,28*                                    | 0,78*  | 0,40*  | 0,09*  | 0,74*        | 0,92*  | 0,03        | 0,98*    | 0,62*  | 0,87*    |
| Castanheira 3 anos  |                               |          |          |                    |  |        |        |        |              |        |             |          |        |          |
| Média               | 74,73 b                       | 233,84 a | 691,44 b | 1,32 a             | 0,08 b                                   | 0,47 b | 0,56 c | 2,43 a | 2,21 b       | 2,89 b | 91,63 b     | 82,34 b  | 4,17 a | 13,49 a  |
| Mediana             | 76,3                          | 231,27   | 689,98   | 1,33               | 0,08                                     | 0,48   | 0,56   | 2,41   | 2,20         | 2,95   | 91,96       | 83,49    | 4,15   | 11,85    |
| DP                  | 8,62                          | 25,96    | 27,42    | 0,08               | 0,03                                     | 0,03   | 0,04   | 1,01   | 0,59         | 0,24   | 6,94        | 8,2      | 2,32   | 7,08     |
| CV %                | 11,54                         | 11,1     | 3,97     | 6,27               | 30,26                                    | 5,92   | 6,73   | 41,39  | 26,94        | 8,46   | 7,57        | 9,96     | 55,79  | 52,45    |
| assimetria          | -0,34                         | -0,11    | 0,51     | -0,53              | 1,07                                     | 1,71   | 1,2    | 0,37   | 0,1          | -0,52  | -0,55       | -0,6     | 0,72   | 0,53     |
| Curtose             | 0,28                          | 0,06     | 0,46     | 0,42               | 1,29                                     | 8,32   | 4,79   | -0,5   | -0,53        | -0,13  | 0,12        | 0,27     | 0,79   | -0,24    |
| K-S                 | 0,57*                         | 0,82*    | 0,97*    | 0,48*              | 0,34*                                    | 0,25*  | 0,15*  | 0,87*  | 0,74*        | 0,44*  | 0,69*       | 0,49*    | 0,86*  | 0,48*    |
| Castanheira 25 anos |                               |          |          |                    |  |        |        |        |              |        |             |          |        |          |
| Média               | 90,99 c                       | 231,18 a | 677,83 b | 1,10 c             | 0,09 b                                   | 0,49 a | 0,58 b | 1,69 b | 2,66 a       | 3,11 a | 95,94 a     | 90,3 a   | 2,25 b | 7,44 b   |
| Mediana             | 90,71                         | 237,94   | 673,83   | 1,10               | 0,08                                     | 0,49   | 0,58   | 1,72   | 2,68         | 3,12   | 96,36       | 90,91    | 2,02   | 7,1      |
| DP                  | 11,12                         | 52,19    | 49,7     | 0,05               | 0,04                                     | 0,03   | 0,04   | 0,37   | 0,24         | 0,08   | 2,46        | 3,14     | 1,00   | 2,57     |
| CV %                | 12,22                         | 22,57    | 7,33     | 4,57               | 50,18                                    | 6,67   | 7,62   | 21,67  | 8,94         | 2,73   | 2,57        | 3,48     | 44,42  | 34,49    |
| assimetria          | -0,33                         | -0,46    | 0,32     | -0,4               | 4,22                                     | -0,32  | 3,14   | -0,42  | -0,53        | -1,57  | -1,1        | -1,79    | 1,61   | 1,9      |
| Curtose             | -0,11                         | -0,21    | 0,09     | -0,49              | 23,15                                    | -0,21  | 16,83  | 0,31   | 4,09         | 5,29   | 6,29        | 5,33     | 3,15   | 6,66     |
| K-S                 | 0,96*                         | 0,52*    | 0,86*    | 0,59*              | 0,04                                     | 0,99*  | 0,07*  | 0,85*  | 0,36*        | 0,45*  | 0,23*       | 0,41*    | 0,14*  | 0,28*    |

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. \* Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; DMG: diâmetro médio geométrico; RSP: resistência do solo à penetração; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2 - Estatística Descritiva e teste de comparação de média dos atributos físicos na profundidade de 20-40 cm para as áreas avaliadas no município de Itacoatiara - Am.

| Estatística Descritiva | Areia              | Silte           | Argila          | Ds                 | MaP                            | MiP            | Pt            | RSP           |
|------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|                        | g kg <sup>-1</sup> |                 |                 | g cm <sup>-3</sup> | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> |                |               | Mpa           |
| Floresta Nativa        |                    |                 |                 |                    |                                |                |               |               |
| Média                  | 57,19 <b>c</b>     | 175,15 <b>b</b> | 767,66 <b>a</b> | 1,26 <b>b</b>      | 0,11 <b>a</b>                  | 0,46 <b>b</b>  | 0,58 <b>a</b> | 1,97 <b>a</b> |
| Mediana                | 56,31              | 168,78          | 775,4           | 1,27               | 0,11                           | 0,46           | 0,58          | 1,82          |
| DP                     | 6,29               | 48,99           | 47,74           | 0,08               | 0,04                           | 0,03           | 0,03          | 0,78          |
| CV %                   | 10,99              | 27,97           | 6,22            | 6,43               | 31,43                          | 6,29           | 5,64          | 39,54         |
| assimetria             | 0,47               | 0,22            | -0,16           | -0,92              | 0,79                           | -0,72          | -0,06         | 0,85          |
| Curtose                | 0,34               | -0,91           | -0,84           | 1,45               | 1,07                           | 1,67           | 0,81          | 1,24          |
| K-S                    | 0,64*              | 0,87*           | 0,74*           | 0,32*              | 0,75*                          | 0,51*          | 0,83*         | 0,59*         |
| Castanheira 3 anos     |                    |                 |                 |                    |                                |                |               |               |
| Média                  | 51,85 <b>b</b>     | 225,24 <b>a</b> | 722,91 <b>b</b> | 1,32 <b>a</b>      | 0,08 <b>b</b>                  | 0,47 <b>ab</b> | 0,56 <b>b</b> | 2,10 <b>a</b> |
| Mediana                | 51,22              | 222,12          | 720,4           | 1,33               | 0,08                           | 0,47           | 0,55          | 1,95          |
| DP                     | 5,19               | 37,78           | 37,74           | 0,08               | 0,03                           | 0,04           | 0,04          | 0,92          |
| CV %                   | 10,01              | 16,78           | 5,22            | 6,25               | 31,41                          | 8,81           | 7,33          | 44,09         |
| assimetria             | 0,3                | 1,07            | -1,32           | -0,91              | 1,39                           | 2,93           | 3,91          | 1,65          |
| Curtose                | 0,76               | 3,72            | 4,90            | 0,97               | 4,33                           | 17,2           | 22,76         | 4,17          |
| K-S                    | 0,21*              | 0,88*           | 0,69*           | 0,67*              | 0,83*                          | 0,04           | 0,06*         | 0,16*         |
| Castanheira 25 anos    |                    |                 |                 |                    |                                |                |               |               |
| Média                  | 65,22 <b>a</b>     | 195,72 <b>c</b> | 739,06 <b>b</b> | 1,21 <b>c</b>      | 0,07 <b>c</b>                  | 0,48 <b>a</b>  | 0,55 <b>b</b> | 1,98 <b>a</b> |
| Mediana                | 64,44              | 206,52          | 730,8           | 1,22               | 0,07                           | 0,48           | 0,55          | 1,93          |
| DP                     | 7,83               | 54,61           | 51,83           | 0,05               | 0,02                           | 0,02           | 0,03          | 0,39          |
| CV %                   | 12,01              | 27,9            | 7,01            | 4,31               | 36,16                          | 4,84           | 4,78          | 19,72         |
| assimetria             | 0,37               | -0,22           | 0,26            | -0,67              | 2,12                           | -0,35          | -0,21         | 0,26          |
| Curtose                | 0,09               | -0,80           | -0,80           | 0,52               | 6,63                           | 0,07           | 0,45          | -0,21         |
| K-S                    | 0,87*              | 0,41*           | 0,60*           | 0,42*              | 0,06*                          | 0,54*          | 0,95*         | 0,95*         |

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. \* Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; RSP: resistência do solo à penetração. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 3 - Estatística Descritiva e teste de comparação de média dos atributos físicos na profundidade de 40-60 cm para as áreas avaliadas no município de Itacoatiara - Am.

| Estatística Descritiva | Areia                         | Silte           | Argila          | Ds                 | MaP                                      | MiP           | Pt             | RSP            |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|--|---------------|----------------|----------------|
|                        | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |                 |                 | g cm <sup>-3</sup> | -----m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ----- |               |                | Mpa            |
| Floresta Nativa        |                               |                 |                 |                    |  |               |                |                |
| Média                  | 54,47 <b>a</b>                | 121,88 <b>a</b> | 823,65 <b>a</b> | 1,21 <b>b</b>      | 0,12 <b>a</b>                            | 0,46 <b>b</b> | 0,58 <b>a</b>  | 1,54 <b>b</b>  |
| Mediana                | 53,51                         | 115,87          | 831,60          | 1,21               | 0,11                                     | 0,47          | 0,58           | 1,49           |
| DP                     | 7,55                          | 47,40           | 45,00           | 0,10               | 0,04                                     | 0,04          | 0,04           | 0,78           |
| CV %                   | 13,87                         | 38,89           | 5,46            | 8,34               | 33,63                                    | 8,03          | 6,38           | 50,88          |
| assimetria             | 0,25                          | 0,81            | -0,89           | -0,01              | 1,16                                     | 0,07          | -0,61          | 1,73           |
| Curtose                | -0,36                         | 0,15            | 0,55            | -0,64              | 1,11                                     | 0,65          | 1,75           | 5,43           |
| K-S                    | 0,84*                         | 0,34*           | 0,39*           | 0,99*              | 0,14*                                    | 0,41*         | 0,47*          | 0,21*          |
| Castanheira 3 anos     |                               |                 |                 |                    |  |               |                |                |
| Média                  | 49,78 <b>c</b>                | 159,00 <b>b</b> | 791,21 <b>b</b> | 1,26 <b>a</b>      | 0,10 <b>b</b>                            | 0,46 <b>b</b> | 0,56 <b>b</b>  | 1,85 <b>a</b>  |
| Mediana                | 48,32                         | 160,14          | 796,60          | 1,26               | 0,09                                     | 0,46          | 0,57           | 1,64           |
| DP                     | 7,27                          | 47,87           | 47,31           | 0,09               | 0,03                                     | 0,03          | 0,03           | 0,77           |
| CV %                   | 14,61                         | 30,10           | 5,98            | 7,29               | 34,78                                    | 6,16          | 4,92           | 41,81          |
| assimetria             | 2,29                          | 0,30            | -0,27           | -0,07              | 0,42                                     | -0,31         | -0,58          | 0,99           |
| Curtose                | 6,57                          | 0,56            | 0,60            | -0,37              | -0,73                                    | -0,17         | 0,77           | 0,57           |
| K-S                    | 0,05                          | 0,97*           | 0,90*           | 0,85*              | 0,44*                                    | 0,94*         | 0,64*          | 0,21*          |
| Castanheira 25 anos    |                               |                 |                 |                    |  |               |                |                |
| Média                  | 58,67 <b>a</b>                | 115,44 <b>a</b> | 825,89 <b>a</b> | 1,20 <b>b</b>      | 0,09 <b>b</b>                            | 0,48 <b>a</b> | 0,57 <b>ab</b> | 1,79 <b>ab</b> |
| Mediana                | 58,82                         | 101,42          | 837,50          | 1,19               | 0,09                                     | 0,48          | 0,57           | 1,78           |
| DP                     | 8,14                          | 75,93           | 75,43           | 0,05               | 0,03                                     | 0,02          | 0,03           | 0,40           |
| CV %                   | 13,87                         | 65,77           | 9,13            | 4,41               | 31,67                                    | 4,38          | 5,52           | 22,41          |
| assimetria             | 0,00                          | 4,06            | -4,07           | 0,40               | 0,37                                     | -0,30         | 0,04           | 1,79           |
| Curtose                | 0,82                          | 21,94           | 22,15           | -0,38              | -0,30                                    | -0,55         | 0,36           | 6,41           |
| K-S                    | 0,65*                         | 0,03            | 0,02            | 0,80*              | 0,99*                                    | 0,88*         | 0,68*          | 0,47*          |

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. \* Significativo a 5% de probabilidade; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; RSP: resistência do solo à penetração. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Analisando os valores da análise granulométrica, observamos que a fração argila foi dominante em todos os solos e profundidades analisadas, os quais são classificados com textura muito argilosa. O teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), mostrou que a área da FN apresentou os maiores valores de argila em todas as profundidades (Tabela 1, 2 e 3). Todavia, é importante mencionar que apesar de diferentes, os valores médios são extremamente próximos, desta forma, a variação textural entre as áreas é pequena. Resultados esses estão semelhantes aos encontrados por Souza et al. (2022) e Lima et al. (2005), onde encontraram altos teores de argilas em áreas de plantios de *B. excelsa* na Amazônia central.

A dominância da fração argila pode ser explicado também pela natureza da formação dos solos e pelo intenso processo de intemperismo que contribuem para a maior formação de argila nos solos, o que segundo Toledo et al. (2009) afirmam que a alta porcentagem de argila no solo indica um intenso intemperismo do material, uma vez que os minerais formados pelas reações do intemperismo químico estão, principalmente, nesta fração granulométrica.

Analisando os valores da densidade do solo ( $D_s$ ), constatou-se que os maiores valores são os observados para área CA3 em comparação com as demais áreas em todas as profundidades avaliadas e os menores valores de  $D_s$  são encontrados na área CA25 para todas as profundidades, se igualando estatisticamente a área de FN na profundidade 40-60 cm (Figura 1, 2 e 3). Os valores de  $D_s$  mais altos encontrado, na área CA3 possivelmente, está associado, ao grau de compactação da área, que anteriormente era uma área de pastagem. Resultados corroboram com Souza. (2018) e Freitas et al. (2018), os quais observaram maiores valores de  $D_s$  em áreas antropizadas em comparação com floresta nativa.

Quanto aos valores de MaP, MiP e Pt, observou-se que na área FN ocorreram os maiores valores para as variáveis MaP e Pt e menores valores para a MiP para todas as profundidades estudadas (Figura 1, 2 e 3). A relação da variáveis MaP e MiP foi inversamente proporcional, quanto maior a MaP menor a MiP. Resultados semelhantes foram encontrados por Enck. (2020), o qual ao avaliar área de floresta com 4 tipos de plantios, encontrou maiores valores de MaP em área de floresta e inversamente a esse fato, as demais áreas apresentaram os menores valores de MiP.

Os maiores valores de Pt e MaP apresentam relação inversa com os valores de Ds do solo, desta forma, quanto maior o valor da Ds, menor será o volume de poros dos solos. Assim foi possível observar, de forma geral, os maiores valores de MaP e Pt e os menores valores de Ds para a FN, fato que é justificado pelo equilíbrio natural da área. Por sua vez, a CA3 que apresenta o manejo e implantação do cultivo de castanheira mais recente, apresenta valores inversos. Mostrando assim a influência do manejo no solo na Pt, MaP e Ds, fato que também foi constatado por Araújo et al. (2004), que observaram maiores valores de Ds em área cultivada, em comparação com a área sob mata nativa, ainda para os autores a solo sob cultivo apresentou também menores valores de porosidade total e de macroporosidade comparado com o solo sob mata nativa.

Para a estabilidade de agregados foi avaliado apenas a profundidade de 0-20 cm, na qual os valores das variáveis DMG, DMP, IEA e classe de agregados maiores que 2 mm foram maiores na área de CA25, sendo apresentado menores valores para as áreas de FN e CA3 (Tabela 1, 2 e 3). Os resultados mostram que apesar da CA25 ser uma área cultivada, a mesma, apresenta melhor resultado de agregação do solo.

Os maiores valores de agregados no solo na área de CA25 podem estar associados com o aporte de serrapilheira na área, segundo Silva et al. (2000), afirmam que o maior aporte de material vegetal, proporciona aumento do teor de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, aumento da agregação do solo. Estudos realizado por Lopes. (2018) avaliando o aporte de serrapilheira em plantio de *B. excelsa* com idade de 10 anos, encontrou uma produção anual de serapilheira foliar em torno de 5,1 Mg ha<sup>-1</sup>. Ainda de acordo com a autora, os valores são semelhantes aos observados em florestas de platô na Amazônia Central. Desta forma, a área de CA25 pode fornecer uma quantidade de serapilheira igual ao da FN.

Os resultados de agregação, podem ainda ser justificado pelo manejo adotado na área de CA25, pois além do plantio de castanheira há 25 anos, recentemente (aproximadamente 4 anos) a área recebeu um novo plantio mais adensado de castanheira (sob as copas das castanheiras mais antigas), com o objetivo de produção de madeira para barris. Desta forma, o maior adensamento e maior geração de serapilheira podem contribuir para a



agregação do solo. Resultado que foi encontrado por Silveira et al. (2014) avaliados o aporte de serrapilheira com espécie florestal em diferentes espaçamentos, observou-se um maior aporte de serrapilheira em plantios mais adensados.

Quanto a RSP, foi observado que os maiores valores foram para a área de CA3 para todas as profundidades analisadas (Tabela 1, 2 e 3), os quais justificam os maiores valores de Ds para essa área, uma vez, que a Ds e RSP possuem uma relação direta. Esses valores são justificados pela remoção da cobertura vegetal e pela baixa intensidade de preparo do solo. Desta forma, não ocorre a descompactação do solo para o plantio, corroborando com Vogel e Fey (2016) e Souza (2018), que atribuíram os maiores valores de Ds e RSP a baixa intensidade de preparo do solo.

Os valores de RSP estão próximos dos limites restritivos para o crescimento do sistema radicular. Na literatura encontramos diversos valores sugeridos como críticos para o crescimento das raízes. Nesmith (1987), estabeleceu os valores de RSP de 1,5 MPa, Cavalieri et al. (2006) sugeriram os valores de 2,5 MPa e Merotto Junior e Mundstock (1999) sugeriram valores de 3,5 MPa como crítico para o crescimento radicular.

Os valores de RSP variam principalmente em função da classe textural de cada solo, para Sene et al. (1985), consideram críticos os valores que variam de 6,0 a 7,0 MPa para solos arenosos e em torno de 2,5 MPa para solos argilosos.

#### **4.2. Análise Multivariada**

Os dados da análise de componentes principais (ACP) das áreas de FN, CA3 e CA25 são apresentados na Tabela 4 e Figuras 7, 8, 9 e 10. Na análise de componente principal (ACP), para a profundidade 0-20 cm foram extraídos quatro componentes principais (PC) que de maneira são responsáveis por explicar a variabilidade de ao menos 70% dos dados. Segundo Ribas e Vieira (2011), o objetivo da ACP é alcançado quando um número relativamente pequeno de componentes extraídos possuem a capacidade de explicar a maior parte da variabilidade nos dados originais.

De maneira detalhada na ACP foi possível observar que na profundidade de 0-20 cm, obteve-se uma variância explicada total de 78,6 %, sendo que o

CP1 explicou 36,6 % dos dados, com um conjunto de variáveis ligadas a estabilidade de agregados do solo sendo elas DMG, DMP, IEA e as classes de agregados > 2,00 mm, com correlação negativa para a classe <1,00 mm (Tabela 4 e Figura 7).

Para a CPI na profundidade 0-20 cm, mostrou que essas variáveis estão associadas a área CA25, ao observar ANOVA mostrou diferença significativa comparada com as demais áreas (Figura 8), resultados que confirmam os observados na estatística descritiva (Tabela 1). Esses valores de agregados podem estar associados a matéria orgânica que segundo Silva et al. (2000), a matéria orgânica do solo apresenta maior grau de elasticidade do que as partículas minerais do solo e proporciona uma maior agregação, pela formação e estabilização de agregados.

No CP2 as variáveis apresentaram um percentual de explicação de 18,1 % da variância dos dados, voltados para atributos de Ds, MaP, Pt e RSP, onde Ds e RSP se correlacionam de maneira positiva e MaP e Pt de forma negativa (Tabela 4 e Figura 7). O que mostra que as variáveis MaP e Pt se correlacionam de forma inversa com as variáveis RSP e Ds e, em que quanto menores o volume de macroporos e Pt no solo, maiores serão os valores de RSP e Ds.

Para essa componente principal foi encontrado diferença estatística para todas áreas avaliadas na profundidade 0-20 cm (Figura 8). Resultados semelhante de correlação entre os atributos foram encontrados por Melo (2018) e Souza (2018), em que na CP2 as variáveis de porosidades do solo apresentaram correlação inversa a RSP e Ds, ainda de acordo com Melo (2018), essa alteração pode ser explicada pela aproximação das partículas do solo provocada por causas naturais como o fenômeno da reconsolidação ou por pressões exercidas pelo tráfego de máquinas e implementos sobre o solo.

O CP3 foi responsável por explicar 13,7 % do total da variância dos dados, este apresenta correlação com as características granulométricas do solo: Argila e silte, as quais apresentam correlação inversa entre si, em que quanto maior o teor de argila, menores serão os valores de silte (Tabela 4 e Figura 7). Para a CP3 não houve diferença estatística entre as áreas em relação as variáveis mais correlacionadas (Figura 8).

Tabela 4 - Correlação entre cada componente principal das variáveis analisadas dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob Floresta Nativa e Plantio de *B. excelsa* em Itacoatiara - AM.

| <b>Profundidade 0-20 cm</b>  |         |        |        |        |
|------------------------------|---------|--------|--------|--------|
| Atributos                    | Fatores |        |        |        |
|                              | PC1     | PC2    | PC3    | PC4    |
| Areia                        | 0,37    | -0,01  | 0,09   | -0,69* |
| Argila                       | -0,24   | -0,15  | 0,94*  | 0,11   |
| Silte                        | 0,13    | 0,15   | -0,97* | 0,09   |
| Ds                           | -0,24   | 0,79*  | 0,15   | 0,23   |
| MaP                          | -0,27   | -0,82* | -0,11  | 0,36   |
| MiP                          | 0,28    | 0,19   | 0,03   | -0,71* |
| Pt                           | -0,05   | -0,74* | -0,09  | -0,20  |
| RSP                          | 0,03    | 0,76*  | 0,01   | 0,12   |
| DMG                          | 0,96*   | -0,03  | 0,07   | 0,18   |
| DMP                          | 0,99*   | -0,04  | 0,07   | 0,12   |
| IEA                          | 0,88*   | 0,01   | 0,08   | 0,24   |
| > 2.00 mm                    | 0,96*   | -0,06  | 0,05   | 0,06   |
| 2-1 mm                       | -0,40   | 0,13   | 0,01   | 0,21   |
| <1.00 mm                     | -0,98*  | 0,03   | -0,06  | -0,13  |
| Variância Explicada (%)      | 36,60   | 18,10  | 13,70  | 10,20  |
| <b>Profundidade 20-40 cm</b> |         |        |        |        |
|                              | Fatores |        |        |        |
|                              | PC1     | PC2    | PC3    |        |
| Areia                        | 0,35    | -0,12  | -0,52* |        |
| Argila                       | 0,78*   | -0,48  | -0,20  |        |
| Silte                        | -0,80*  | 0,48   | 0,28   |        |
| Ds                           | -0,49   | -0,56* | 0,17   |        |
| MaP                          | 0,60*   | 0,53*  | 0,42   |        |
| MiP                          | -0,06   | -0,70  | 0,45   |        |
| Pt                           | 0,52    | -0,12  | 0,81*  |        |
| RSP                          | -0,38   | -0,60  | 0,01   |        |
| Variância Explicada (%)      | 30,00   | 24,30  | 18,10  |        |
| <b>Profundidade 40-60 cm</b> |         |        |        |        |
|                              | Fatores |        |        |        |
|                              | PC1     | PC2    | PC3    |        |
| Areia                        | -0,29   | 0,29   | -0,07  |        |
| Argila                       | -0,51   | 0,81*  | -0,16  |        |
| Silte                        | 0,53    | -0,82* | 0,17   |        |
| Ds                           | 0,77*   | 0,32   | 0,02   |        |
| MaP                          | -0,81*  | -0,39  | 0,06   |        |
| MiP                          | 0,38    | 0,43   | 0,77*  |        |
| Pt                           | -0,56*  | -0,04  | 0,79*  |        |
| RSP                          | 0,65*   | 0,27   | -0,01  |        |
| Variância Explicada (%)      | 34,60   | 24,10  | 16,10  |        |

Ds: densidade; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; RPS: resistência do solo à penetração; \* Variáveis com maiores correlações com o PC.

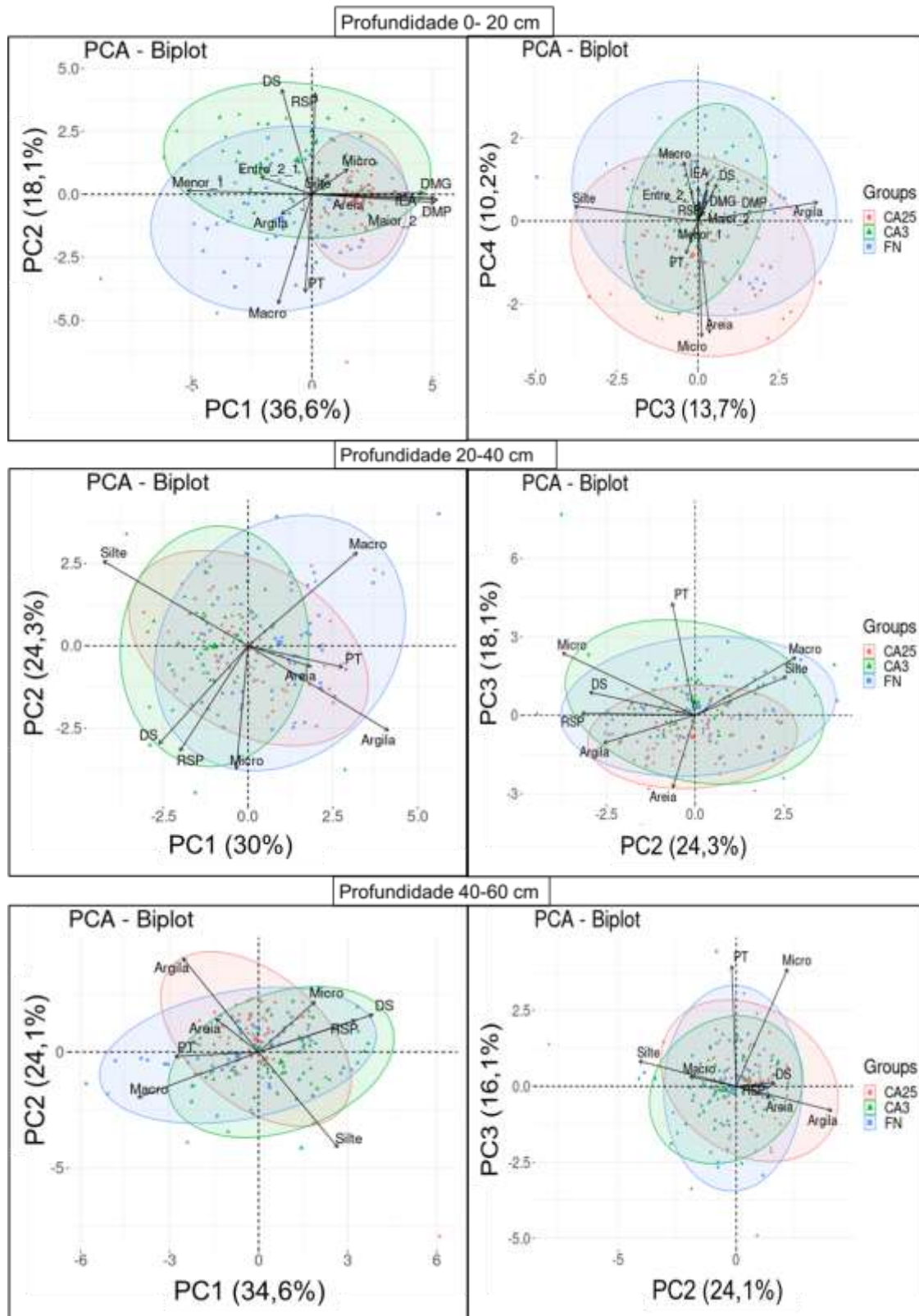


Figura 7 - Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob Floresta Nativa e Plantio de *B. excelsa* em Itacoatiara - AM.

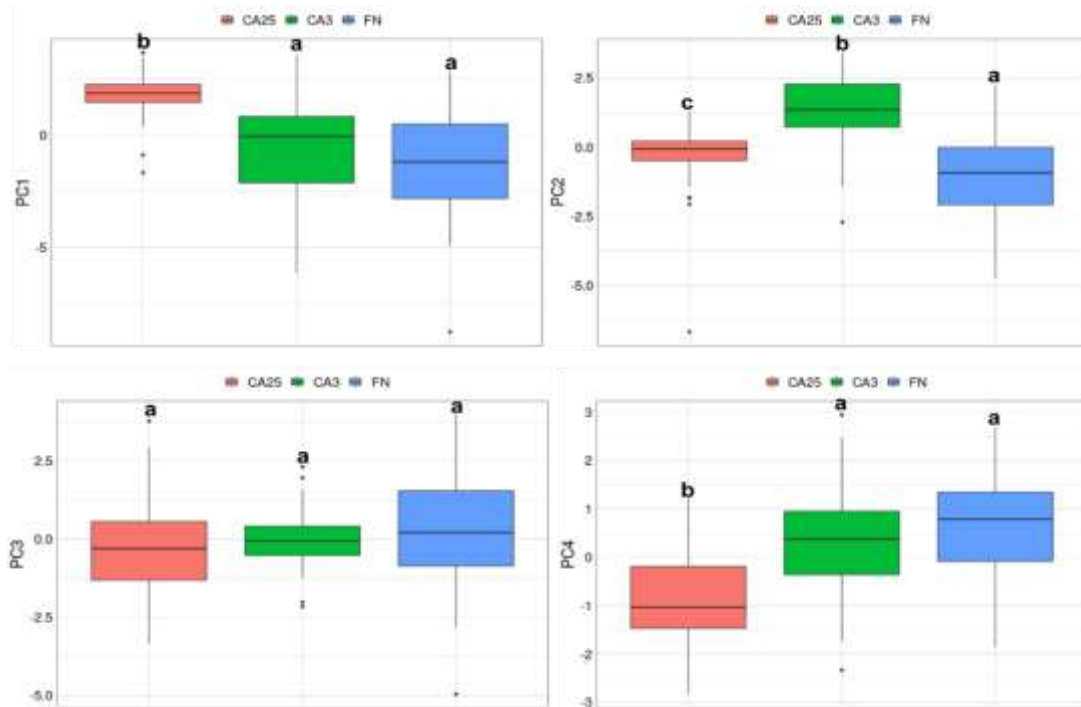


Figura 8 – Boxplot das CP na profundidade 0-20 cm.

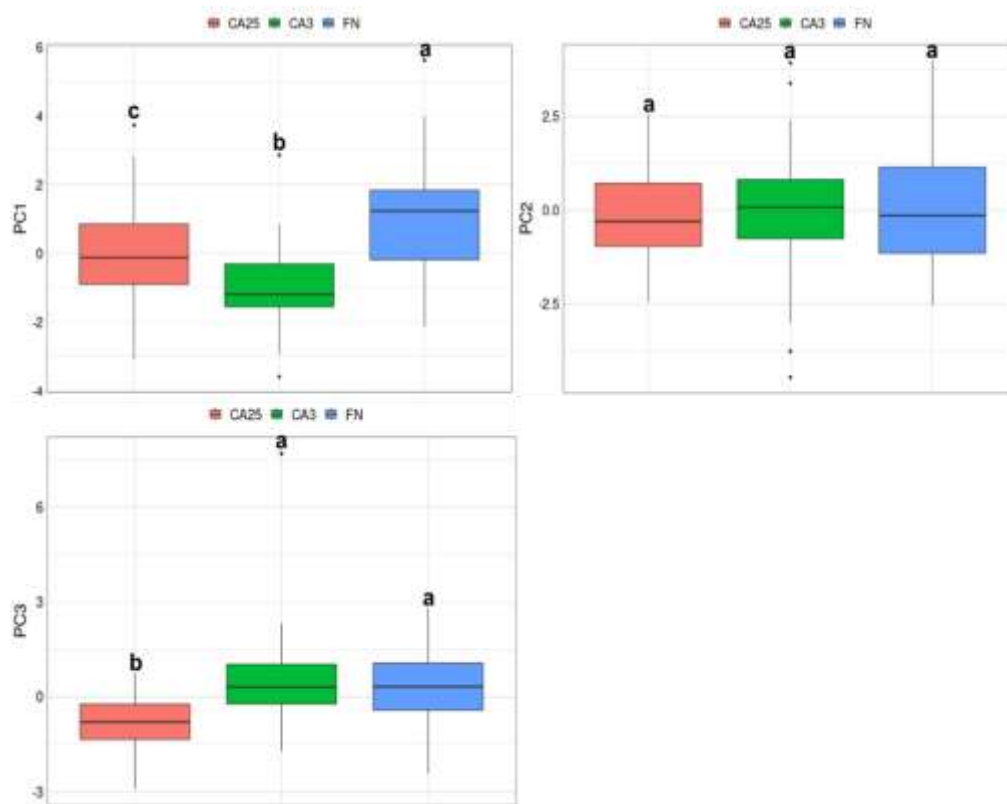


Figura 9 - Boxplot das CP na profundidade 20-40 cm

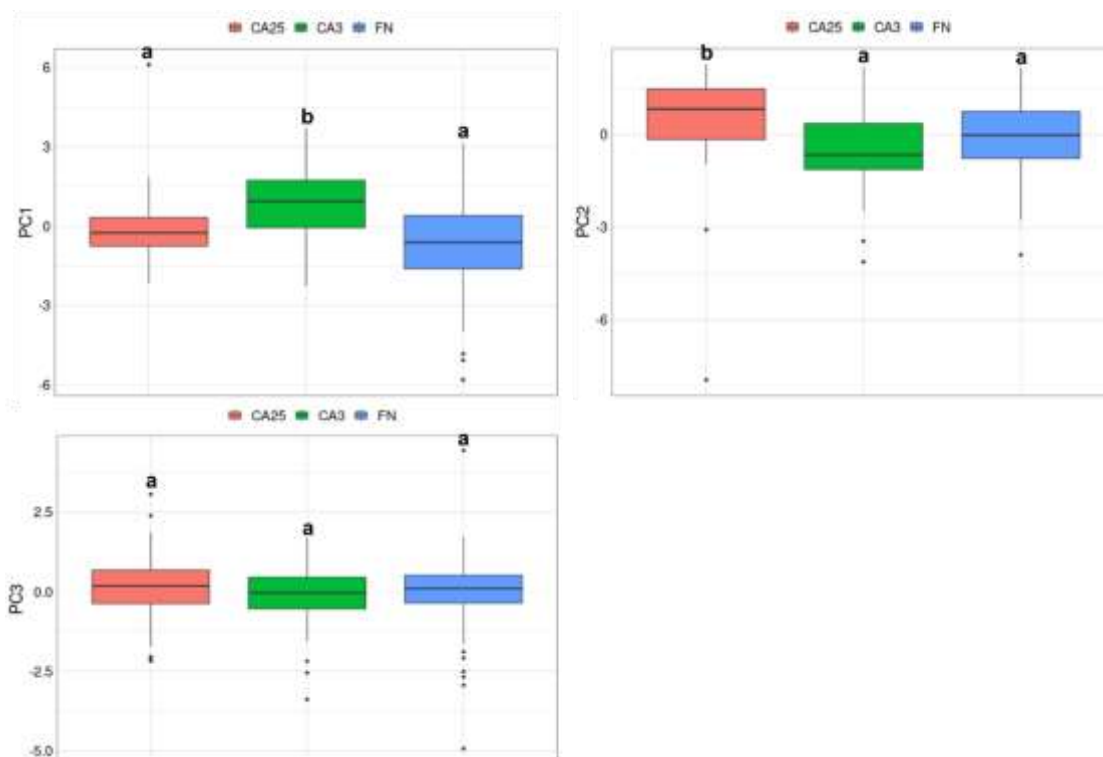


Figura 10 – Boxplot das CP na profundidade 40-60 cm

Para a CP4 apresentou-se um percentual de explicação de 10,2 % da variância dos dados, com correlação negativa para as variáveis de areia e MiP, que quanto menores valores de areia, menores serão os valores de MiP (Tabela 4 e Figura 7). Para essa componente a área CA25 apresentou diferença estatística em relação as áreas de FN e CA3 (Figura 8). Essa correlação entre as variáveis foi encontrada também no trabalho de Ribeiro et al. (2007), onde maiores valores de microporosidade foram associados com os menores valores de partículas de areia.

Quanto a ACP referente a profundidade 20-40 cm, apresentou uma variância explicada total de 72,4 %, em que a CP1 explicou 30 % da variância dos dados, onde as variáveis de maior correlação foram as variáveis argila, silte, Ds e Pt (Tabela 4 e Figura 7), dentre os quais, a Ds e Silte apresentaram correlação negativa e as variáveis argila, MaP e Pt correlação positiva.

Ao fazer comparação das áreas pelo grau de correção das variáveis da CP1 na profundidade de 20-40 cm, observou-se diferença estatística para todas

as áreas, porém a área de FN apresentou maiores valores (Figura 9). Resultados que podem ser explicados em virtude da área de floresta nativa, na estatística descritiva apresentar média das variáveis argila; MaP e Pt na profundidade 20-40 cm (Tabela 2).

O segundo componente tem explicação de 24,3 % da variância dos dados, o qual apresentou correlação inversa entre as variáveis Ds e MaP, em que, quanto menores valores de Ds, maiores serão os valores de MaP (Tabela 4 e Figura 7). O PC2 não apresentou diferença estatística entre as áreas avaliadas.

Para o CP3 o percentual da variância explicado dos dados foi de 18,1%, e apresentou correlação inversa para as variáveis areia e Pt (Tabela 4 e Figura 7). Para essa componente a área CA25 apresentou diferença estatística em relação as áreas de FN e CA3 (Figura 9). Tal correlação de areia e Pt segundo Ribeiro (2007), a porosidade é determinada pela forma como se arranjam suas partículas sólidas, destacando que se elas se arranjam em íntimo contato, ocorre predominância de sólidos na amostra de solo e a porosidade total é baixa; e se ao contrário, as partículas se arranjam em agregados, há a predominância de vazios na amostra de solo a porosidade é alta

Em relação a ACP na profundidade 40-60 cm, mostrou uma variância explicada total de 74,8 %, em que a CP1 explicou 34,6 % da variância dos dados, em que as variáveis que mais se correlacionaram foram Ds, MaP, Pt, e RSP, em que as variáveis Ds e RSP correlaciona de maneira positiva e MaP e Pt, correlaciona de forma negativa (Tabela 4 e Figura 7), em que quanto, maiores os valores de Ds e RSP, menores serão os valores de MaP e Pt. Trabalhos destacam que isso pode ocorrer em razão do processo de aproximação das partículas do solo provocada por causas naturais, como o fenômeno da reconsolidação (MELO, 2018; OLIVEIRA et al., 2013).

Para a CP1 de 40-60 cm apresentou diferença significativa nas áreas CA3 em relação as demais áreas avaliadas (Figura 10), mostrando que essa área apresenta maiores valores de Ds e RSP, o que foi encontrado essa diferença anteriormente na estatística descritiva (Tabela 3).

Em relação a PC2, essa apresentou variância explicada dos dados de 24,1 % e as variáveis que mais se correlacionaram com ela foram as frações de argila e silte, apresentado correlação inversa, em que quanto, maior os

valores de argila, menores serão os valores de silte (Tabela 4 e Figura 7). Quanto a diferença entre as áreas na PC2 em relação as variáveis argila e silte que se correlacionaram mais na componente, pode se observar que as áreas FN e CA25 foram iguais, se diferindo da área CA3, a qual apresentou menores valores da fração argila e maiores valores de silte, inversamente proporcional as áreas FN e CA25 (Tabela 4 e figura 7).

Em relação a PC3, observou-se um percentual de 16,1 % de explicação da variância dos dados, e uma correlação positiva entre as variáveis de MiP e Pt, em que quanto maior for os valores de microporoso maior será a porosidade total. Para a PC3 não houve diferença estatística entre as áreas avaliada na profundidade 40-60 cm.



## 5. CONCLUSÕES

Os maiores valores de MaP, Pt,, DMG, DMP, IEA e classe de agregados maiores que 2 mm e menores valores de Ds e RSP foram encontrados na área FN e CA25 para a maioria das profundidades, o que evidencia que os atributos do solo possui melhores propriedades físicas em decorrência da não remoção da cobertura vegetal em área de floresta nativa e para a área de castanheira com 25 anos, pode ser concluir que com maior tempo de estabelecimento do plantio sistema está caminhando para um novo equilíbrio, chegando próximo ou superior a floresta nativa.

Para a áreas CA3 foram encontrados maiores valores de RSP, Ds para todos as profundidades estudadas e menor estabilidade de agregado para a profundidade de 0-20 cm. Mostrando que essa mudança ocorreu devido que a área anteriormente era usada como pastagem, além disso, com o tempo a área com o plantio de castanheira tende a melhorar as propriedades física do solo

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, AP da. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de Calcário e Fósforo e Estabilidade da Estrutura de um Solo Ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 799-806, 2003.

ALBUQUERQUE, T. C. S. de.; EVANGELISTA, T. C.; NETO, A. A. R. de. A. Níveis de sombreamento no crescimento de mudas de castanheira do Brasil. **Revista Agro@ambiente on-line-line**, v. 9, n. 4, p. 440-445, 2015.

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, 2014.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1099-1108, 2007.

ARSHAD, M. A.; MARTINS, S. Identifying Critical Limits for Soil Quality Indicators in Agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v 88, n 2, p 153 – 160, 2002.

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. 04, n. 04: p. 01-14, 2008.

BARROS, L. S.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. R.; MOURÃO, M. Perdas de Solo e Água em Plantio de Acacia mangium Wild em Savana de Roraima, Norte da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p. 235 – 475, 2009.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.

BRANCAGLIONI, V. A. **Análise multivariada exploratória da emissão de CO<sub>2</sub> do solo em áreas agrícolas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu - Botucatu, 2017.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; JÚNIOR, V. S. de S.; FILHO, M. R. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Revista Acta Amazônica**, vol. 42, n. 3, p. 387 - 398, 2012.

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

CAMPOS, M. C. C. et al. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. de S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.631-637, 2009.

CARNEIRO, M. A. C.; Souza E. D.; Reis E. F.; Pereira H. S.; Azevedo W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2009; 33:147-57.

CORTEZ, J. W. et al. Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1207-1216, 2011.

COSTA, K.; FERREIRA M.J.; LINHARES A, G. A. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste em plantio de *Bertholletia excelsa* Bonpl. **Scientia Forestalis**, 43, 107: 591–600. 2015.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:323-332, 2008.

CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A. & COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, 30:137-147, 2006.

COIMBRA, J. L. M. et al. Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. **Revista Ceres**. 54: 270-276. 2007.

CRUZ, D. L. de. S. **Atributos físicos de Argissolo Amarelo sob floresta e savana naturais e cultivados com pastagem em Roraima**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de PósGraduação em Agronomia. Boa Vista, 2012.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v. 37, p. 91-98, 2007.

CUNHA, J. M. et al. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 263-281, 2017.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Manual de métodos de análise de solo. 212p. 1997.

ENCK, B. F. et al. **Matéria orgânica e sua relação com os atributos do solo em áreas sob conversão de floresta em cultivo no sul do Amazonas**. 2020.

ESBENSEN, K. H. **Multivariate data analysis: in practice**, 5th.ed. Oslo: Camo, 2002. 598 p.

FALCÃO, C. I. C.; SOBRINHO, J. F. A utilização de recursos didáticos como auxiliares no processo de aprendizagem do solo. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral - CE, V. 16, n. 1, p. 19 - 28, 2014.

FERREIRA, L.; TONINI, H. Comportamento da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e da cupiúba (*Goupia glabra*) em sistema agrosilvicultural na região da Confiança, Cantá - Roraima. **Revista Acta Amazônica**, 39(1): 835–842 (2009).

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-Amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Revista Ciência Florestal**, 22(2): 393–401. 2012.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MELLO-IVO, W.; ROSS, S. M.; BIOT, Y. Propriedades físicas do solo após extração seletiva de madeira na Amazônia central. **Revista Acta Amazonia**, 2002, 32, 449.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; MIRANDA, S. A.; SILVA, M. S. R. da.; VITAL, A.R.T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia central submetida à extração seletiva de madeira. **Revista Acta Amazônica**, 36: 59-68. 2006.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; ROSS, S. M.; BIOT, Y.; MELLO-IVO, W.M.P. Soil water storage in an upland forest after selective logging in Central Amazonia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 2004, 28, 59 p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 9-19, 2007.

FILHO, J. A.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza. Imprensa Universitária, 2008. 290 p.

FUENTES-LLANILLO, R.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função

dos sistemas de manejo em culturas anuais. Semina: **Revista Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.205-220, 2006.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; CAMPOS, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 224-233, jul./set. 2014.

HAIR, J. R.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Bookman, 211 p. 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em:<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/itacoatiara.html>. Acesso em: 21 de agosto de 2022.

Instituto Nacional de Meteorologia – **INMET**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/> Acesso em: 18.09.2022.

JOSÉ, J. V. et al. Análise multivariada e geoestatística de variáveis físico-hídricas de diferentes solos. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.3, p.121-129, 2013.

JÚNIOR, A. J. Aplicações da análise multivariada em solos que podem ser utilizadas em melhorias de processos produtivos agrícolas. In: SEPRONE, 7, 2012, Mossoró. **Anais** “A Engenharia de Produção frente ao novo contexto de desenvolvimento sustentável do Nordeste: coadjuvante ou protagonista?” Mossoró-RN, UFERSA, 2012.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika** 23(3):187-200. 1958.

KAMIMURA, K. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 877-888, 2013.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. Methods of soil analysis. (ed.). 2nd ed, **American Society of Agronomy**, Kimberly, Idaho, USA. 1986. p. 425-441.

KÖPPEN W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Económica México**. p. 479, 1948.

KHATTREE, R.; NAIK, D. N. **Multivariate Data Reduction and Discrimination with SAS Software**. SAS Institute, Cary, NC, 2000.

LIMA, H. N. Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. 2001.

LIMA, J. S. S.; SATTler, M. A; PASSOS, R. R; OLIVEIRA, P. C; SOUZA, G. S. de. Variabilidade Espacial De Atributos Físicos De Um Argissolo Vermelho-Amarelo Sob Pastagem E Vegetação Secundária Em Regeneração Natural. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.185-195, abr./jun. 2009.

LIMA, R. M. B.; SOUZA, C. R. de. **Recomendação de Espaçamento para produção de madeira de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. et Bonpl) para plantio em áreas alteradas no Amazonas**. Manaus, Am. Dezembro, 2014.

LIMA, R. M. B.; SOUZA, C. R. **Recomendação de Espaçamento para produção de madeira de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. et Bonpl) para plantio em áreas alteradas no Amazonas**. Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 2p (Embrapa Amazônia Ocidental. Comunicado técnico, 110).

LIMA, R. M. B.; HIGA, A. R.; SOUZA, C. R.; **Influência dos fatores edáficos no crescimento da *Bertholletia excelsa* H.B.K. na Amazônia**. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais V, Curitiba, p.319-321, 2004.

LIMA, V.C. **Fundamentos de pedologia**. Fundamentos de pedologia Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2001. 343p.

Lima RMB, Higa, A. R; Souza, C. R. Influência dos fatores edáficos no crescimento da *Bertholletia excelsa* HBK na Amazônia. **5º Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais**. Colombo. Embrapa, Curitiba, pp 319–321, (2005).

LOPES, J. S. **Ciclagem de nutrientes, características funcionais e crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl.** cultivadas sob plantio puro cultivadas à calagem. 2020.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4 ed. **Nova Odessa**, SP, Instituto Plantarum, 2002. vol. 1. 384 p.

MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. P. 73-77.

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v.149, p.84-91, 2009.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T.; FILHO, O. K. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa agropecuária**. Brasília, v.41, n.10, p.1531-1539, 2006.

MARQUES, J. M.; MARQUES, M. A. M. As componentes principais no descarte de variáveis em um modelo de regressão múltipla. **Revista da Fae**, v. 8, n. 1, p. 93-101, jun./2005.

MELÉM, J. N. J.; FONSECA, I. C. B.; BRITO, O. R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M. M.; MATOS, M. F. A.; GUEDES, M. C.; QUEIROZ, J. A. L.; BARROSO, K. O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. Semina: **Revista Ciências Agrárias**, v. 29, p. 499-506, 2008.

MELO, N. C. **Atributos físicos do solo, crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em solos submetidos à escarificação**. 2018. 70p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2018.

MEIRELES, H. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; PEREIRA, G. T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa agropecuária tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012.

MEROTTO JUNIOR., A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.197-202, 1999.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 295p.

MORAES, J. F. L. de; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon Forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, v.70, p.63-81, 1996.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; ALFAIA, S. S.; MALAVOLTA, E. **Fertilidade dos solos da Amazônia**. In: Palestra apresentada no XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife, PE. p. 1 – 27. 2005.

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soyabean on Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, p. 183-186, 1987.

NOGUEIRA, I.; LAHR, F.; GIACON, V. **Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas aglomeradas utilizando o resíduo do ouriço da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e resina poliuretana derivada do óleo da mamona**. ISSN 1517- 7076 artigo e-11985. 2018.

OLIVEIRA, I. A. **Caracterização de solos sob diferentes ambientes na região Sul do Amazonas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013

PIGNATARO NETTO, L. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, 33:1441-1448, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. **Propriedades físicas do solo**. In: **REICHERT, José Miguel et al. Fundamentos da Ciência do Solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. p. 143-155.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 26, p. 26-48, 2003.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, 2006.

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

REIS, M. S et al. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 52, n. 1, p. 37-47, 2009.

RIBEIRO, K. D. et al. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

RIBEIRO, J. E. L. S. et al. **Flora da reserva ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA, 1999.

RIBEIRO, Kátia Daniela et al. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

SCHAEFER, C. E. G. et al. **Solos da Região Amazônica**. In: CURI, N, KER, J.C. Novais RF, Vidal-Torrado P, Schaefer CEGR, editores. *Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2017.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.11-21, 2008.

SENA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J.; TOKESHI, H.; POPPI, R. J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: A multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, v.67, p.171-181, 2002.

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C. & DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 49:422-427, 1985.



SERAFIM, M. E.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, C. M. A.; PRADO, E. D.; VENTURIN, J. C.; YAMAMOTO, N. T. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. **Revista Científica e Técnica Agropecuária**. 17:61-65, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, p. 795-801, 2000.

SILVA, J.M. L. **Levantamento de Reconhecimento de Alta Intensidade dos Solos do Município de Itacoatiara - Estado do Amazonas**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PARA - Agosto, 2003.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; CÂNDIDO, A.; TEICEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

SILVEIRA, Edson Roberto. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunni* na região sudoeste do Paraná. **Revista Técnico-Científica**, n. 2, 2014.

SOUZA, C.R. et al. **Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2008. 2p (Embrapa Amazônia Ocidental. Comunicado técnico, 63).

SOUZA, F. G. et al. **Atributos do solo, estoque de carbono e erodibilidade em áreas sob diferentes usos no assentamento São Francisco**, Canutama, Amazonas. 2018.

SOUZA, A. S et al. Understanding the effects of topoedaphic characteristics on site quality in a *Bertholletia excelsa* Bonpl. plantation in Amazonas. **New Forests**, p. 1-27, 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 3ª ed. **Revista e ampliada**. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 573 p.

TEIXEIRA, W.G.; ARRUDA, W.; SHINZATO, E.; MACEDO, R.S.; MARTINS, G.C.; LIMA, H.N. & RODRIGUES, T.E. **Solos do Estado do Amazonas**. In: MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L., Eds. Geodiversidade do Estado do Amazonas. Manaus, CPRM, 2010. p.71-86.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B. ; MELFI, A. J. . Da rocha ao solo: **Intemperismo e Pedogênese**. In: Teixeira; Fairchild; Toledo; Taioli. (Org.). Decifrando a Terra. 2ed.São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009, v. , p. 210-239.

TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-brasil (*bertholletia excelsa* humb. & bonpl., 123 lecythidaceae) no sul do estado de roraima. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 123-131, 2011.

VOGEL, Gabriel Felipe; FEY, Rubens. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 1, p. 21-26, 2016.

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

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Sapatial variability of soil physical properties in the field. In: HilleL, D., ed. **Application of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p.319- 344.

WASTOWSKI, A. D.; ROSA, G. M.; CHERUBIN, M. R.; RIGON, J. P. G. Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva (edxf). **Revista Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1449-1452, 2010.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. de; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n.1, p. 256-265, 2012.

YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; VIANA, L. M.; CASTRO, T. C. A.; PANTOJA, J. R. de S. Comportamento silvicultural da castanheira (H. B. K.), em diversos locais da Amazônia. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS, v. 2, p. 366, 1993.

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**, v. 51, p. 1061-1068, 2016.

ZANON, C. A. F. **Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes coberturas vegetais no sul do estado do espírito santo**. Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal. Agosto de 2013.