

The background of the cover is a photograph of a soil profile. A vertical ruler is placed on the left side of the soil, showing measurements in centimeters from 0 to 140. The soil is a reddish-brown color and appears to be a clayey soil. The ruler is marked every 10 centimeters, with smaller markings in between. The text is overlaid on this image.

# SOLOS AMAZÔNICOS:

---

Qualidade estrutural, físico, químico  
e suas correlações geoespacial  
no Sul do Amazonas

José Maurício da Cunha  
Milton César Costa Campos  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Renato Francisco da Silva Souza  
(Organizadores)



# SOLOS AMAZÔNICOS:

---

Qualidade estrutural, físico, químico  
e suas correlações geoespacial  
no Sul do Amazonas

José Maurício da Cunha  
Milton César Costa Campos  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Renato Francisco da Silva Souza  
(Organizadores)

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

José Maurício da Cunha

Milton César Costa Campos

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso



Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



# Solos Amazônicos: atributos físicos, químicos, erodibilidade e suscetibilidade magnética

**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** José Maurício da Cunha  
Milton César Costa Campos  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Renato Francisco da Silva Souza

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S689 Solos Amazônicos: atributos físicos, químicos, erodibilidade e suscetibilidade magnética / Organizadores José Maurício da Cunha, Milton César Costa Campos, Douglas Marcelo Pinheiro da Silva, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Outro organizador  
Renato Francisco da Silva Souza

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-258-0247-3  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.473221905>

1. Solo - Uso - Amazônia. I. José Maurício da Cunha (Organizador). II. Milton César Costa Campos (Organizador). III. Douglas Marcelo Pinheiro da Silva (Organizador). IV. Título.

CDD 333.75130981

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

Os estudos sobre solos da Amazônia, especialmente no Sul-sudeste do Amazonas iniciaram-se com a criação do Grupo de Pesquisa “Solos e Ambiente Amazônico” em 2009 com a implantação do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas em Humaitá, naquela ocasião conseguiu-se congregiar um pequeno grupo de estudantes e professores com trabalhos voltados para estudar as relações entre Solos e Ambiente.

O grupo Solos e Ambiente Amazônico foi crescendo e se consolidando à medida que os Projetos foram sendo aprovados (FAPEAM e CNPq), aqui destaca-se que o projeto intitulado “Impactos no solo da conversão floresta-uso agropecuário na região Sul do Amazonas” aprovado junto ao Edital - FAPESP/FAPEAM em 2009, possibilitou a criação de infraestrutura necessária a pesquisa. Em 2013 duas Dissertações de Mestrado foram defendidas junto ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical, a saber: i) Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em Cambissolo e Argissolo na região de Humaitá, AM (Leandro Coutinho Alho); ii) Atributos do solo e emissão de CO<sub>2</sub> em uma área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau na região de Apuí, AM (Douglas Marcelo Pinheiro da Silva) com total suporte da infraestrutura adquirida.

Os projetos de pesquisa aprovados auxiliaram/auxiliam o Grupo de Pesquisa a prover de equipamentos o Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas e o Laboratório de Fitotecnia, o que possibilitou a realização de diversas análises vinculados a Projetos de Iniciação Científica, Trabalhos de Conclusão de Curso de Graduação, Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado favorecendo a geração de conhecimento e formação de recursos humanos altamente qualificadas no interior da Amazônia. Além disso, o grupo de pesquisa também realizou Eventos Científicos e de Popularização da Ciência e publicação de Livros.

Atualmente o grupo de pesquisa coordena diversos Projetos de Pesquisa e de Popularização da Ciência, bem como orientação de trabalhos em nível de Graduação e Mestrado. Dessa forma é possível apresentar esta **Coletânea de Trabalhos em Solos e Ambiente Amazônico** oriundo de várias Dissertações de Mestrado e Tese de Doutorado. Além disso, foi possível fazer parcerias e trazer para este material iniciativas em outras regiões e instituições para colaborar com este trabalho.

O material apresentado está relacionado a duas áreas da Ciência do Solo, a primeira referente aos estudos de Solo no Tempo e no Espaço e a segunda relacionada a Processos e Propriedades do Solo. Importante destacar que no primeiro caso há investigações nos diferentes tipos de material de origem, relevo e suas influencias nos distintos tipos de solos existentes na Amazônia. E no segundo caso estudou-se as interferências das mudanças da



cobertura vegetal (usos e manejos) nos atributos físicos e químicos do solo.

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) que apoiou a realização do **III Simpósio de Ciência do Solo da Amazônia Ocidental**, sendo possível apresentar o material intitulado: **"Solos Amazônicos: atributos físicos, químicos, erodibilidade e suscetibilidade magnética"**.

Milton César Costa Campos.

José Maurício do Lencó

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL ERODIBILITY IN PASTURES AND FOREST AREAS IN THE MUNICIPALITY OF PORTO VELHO, RONDÔNIA


Lucivânia Izidoro da Silva  
Milton César Costa Campos  
Wildson Benedito Mendes Brito  
José Maurício da Cunha  
Alan Ferreira Leite de Lima  
Abdul Luís Hassane

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4732219051>

### **CAPÍTULO 2..... 31**

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS NA REGIÃO DE HUMAITÁ-AM


Half Weinberg Corrêa Jordão  
Milton César Costa Campos  
José César Frozzi  
Bruno Campos Mantovanelli  
José Maurício da Cunha  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4732219052>

### **CAPÍTULO 3..... 69**

SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DE ARGISSOLOS SOB FLORESTA E CULTIVADOS NO SUL DO AMAZONAS


Wildson Benedito Mendes Brito  
Milton César Costa Campos  
Fernando Gomes de Souza  
Alan Ferreira Leite de Lima  
Thalita Silva Martins  
José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4732219053>

### **CAPÍTULO 4..... 102**

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREAS SOB CONVERSÃO FLORESTA/PASTAGEM NO NORTE DE RONDÔNIA, BRASIL

Alan Ferreira Leite de Lima  
Milton César Costa Campos  
Bruna Firmino Enck  
Wener da Silva Simões  
Raquel Manhuary de Araújo  
José Maurício da Cunha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4732219054>

**CAPÍTULO 5..... 142**

**INFLUÊNCIA DO MANEJO E RELEVO NOS ATRIBUTOS DO SOLO E ACÚMULO DE BIOMASSA EM ÁREAS CONVERTIDAS EM PASTAGENS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**


Alan Ferreira Leite de Lima  
Milton César Costa Campos  
Thalita Silva Martins  
Wildson Benedito de Mendes Brito  
Lucivânia Izidoro da Silva  
Erika Micheilla Brasil de Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4732219055>

**CAPÍTULO 6..... 164**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA AMAZÔNICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL**


Fernando Gomes de Souza  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Elilson Gomes de Brito Filho  
Elyenayra Nogueira Pinheiro  
Wildson Benedito de Mendes Brito  
Alan Ferreira Leite de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4732219056>

**CAPÍTULO 7..... 188**

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS E ESTOQUE DE CARBONO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL**

Fernando Gomes de Souza  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Thalita Silva Martins  
Alan Ferreira Leite de Lima  
Wildson Benedito de Mendes Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4732219057>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 213**

## ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB CONVERSÃO DE FLORESTA AMAZÔNICA PARA DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO SUL DO AMAZONAS, BRASIL

*Data de aceite: 01/04/2022*

*Data de submissão: 03/03/2022*

### **Fernando Gomes de Souza**

Doutor em Agronomia Tropical - Universidade Federal de Roraima

### **Milton César Costa Campos**

Doutor em Ciência do Solo – Universidade Federal da Paraíba

### **José Maurício da Cunha**

Doutor em Física Ambiental - Universidade Federal do Amazonas

### **Eliilson Gomes de Brito Filho**

Graduando em Agronomia - Universidade Federal da Paraíba

### **Elyenayra Nogueira Pinheiro**

Mestre em Ciências Ambientais - Universidade Federal do Amazonas

### **Wildson Benedito de Mendes Brito**

Mestre em Agronomia Tropical - Universidade Federal do Amazonas

### **Alan Ferreira Leite de Lima**

Mestre em Agronomia Tropical – Universidade Federal do Amazonas

**RESUMO:** A conversão de áreas florestadas em sistemas de cultivo modifica os atributos físicos do solo e afetam a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola. O presente trabalho teve como objetivo avaliar alterações nos atributos físicos do solo em áreas sob cultivos

de guaraná, cupuaçu e urucum, em comparação com a área de floresta. Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo, nas áreas de floresta e guaraná estabeleceu-se malhas de 90 x 70 m e espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m e espaçamento de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. Após delimitadas as malhas foram coletadas amostras nos pontos de cruzamento das malhas, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, totalizando 240 amostras por área. Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras com estrutura preservada em forma de torrão nas três profundidades avaliadas para determinação dos atributos físicos e textura do solo, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. O processo de conversão de florestas em áreas cultivadas sem manejo adequado causou mudanças negativas nos atributos físicos do solo. As áreas cultivadas com guaraná e urucum, apresentaram estágio mais avançado de degradação das propriedades físicas do solo; os atributos que mais sofreram alterações na conversão de floresta em ambientes cultivados foram: Ds, MaP, MiP, Pt, RSP e IEA; através da análise multivariada foi possível aferir que as maiores alterações dos atributos físicos para as áreas estudadas ocorreram nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m.

**PALAVRAS-CHAVE:** Degradação do solo, análise multivariada, atributos do solo.

## PHYSICAL SOIL ATTRIBUTES UNDER CONVERSION FROM AMAZON FOREST TO DIFFERENT CULTIVATION SYSTEMS IN SOUTHERN AMAZON, BRAZIL

**ABSTRACT:** The conversion of forested areas into cropping systems modifies the physical attributes of the soil and affects the environmental and economic sustainability of agricultural activity. The present work had as objective to evaluate alterations in the physical attributes of the soil in areas under guaraná, cupuaçu and urucum crops, compared to the forest area. Were established meshes according to the dimensions of cultivation, in the areas of forest and guaraná were established meshes of 90 x 70 m and regular spacing between the sample points of 10 x 10 m, in the area of annatto the established mesh was of 90 x 56 m and spacing of 10 x 8 m, already for area of cupuaçu the mesh had dimensions of 54 x 42 m, with spacing between the sample points of 6 x 6 m. After delimiting the meshes samples were collected at the crossing points of the meshes, at depths of 0,00-0,05; 0,05-0,10; and 0,10-0,20 m, with 80 sampling points in each area, totaling 240 samples per area. At each sampling point, were collected samples with a structure preserved clod-shaped were collected in the depths evaluated, to determine the physical attributes and soil texture, making a total of 960 samples in the four evaluated areas. The process of conversion of forests into cultivated areas without proper management caused negative changes in the physical attributes of the soil. The areas cultivated with guaraná and urucum presented more advanced stage of degradation of soil physical properties; the attributes that suffered the most changes at conversion of forest in cultivated environments were: Ds, MaP, MiP, Pt, RSP and IEA; through the multivariate analysis it was possible to verify that the greatest alterations of the physical attributes for the studied areas occurred in the depths 0.00-

**KEYWORDS:** Soil degradation, multivariate analysis, soil attributes.

### 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a conversão de ambientes naturais em sistemas agropecuários, especialmente sistemas de monocultivo, tem provocado conseqüentes alterações no solo (SILVA et al., 2007; FREITAS et al., 2015). O uso e manejo inadequado do solo, além de contribuir para degradação do meio ambiente, ainda traz inúmeros problemas relacionados à sua sustentabilidade em razão da degradação da matéria orgânica do solo, alterando negativamente os atributos físicos do solo, bem como sua biodiversidade (COSTA et al., 2015).

Atualmente têm-se utilizado com frequência, indicadores físicos como densidade do solo, porosidade e estabilidade de agregados, para avaliação da qualidade dos solos. Tais indicadores estão relacionados à organização das partículas e do espaço poroso do solo, refletindo em limitações ao crescimento radicular, emergência das plântulas, à infiltração e percolação da água no perfil do solo (CUNHA NETO et al., 2018).

Estudos recentes ainda destacam que os atributos físicos do solo são bons indicadores de qualidade e permitem o monitoramento de áreas que sofreram algum tipo de interferência (AQUINO et al., 2014; FREITAS et al., 2018). Dessa forma, à medida que

esses solos sofrem intervenções, ocorrem modificações nos seus atributos físicos como o aumento da densidade do solo, diminuição da porosidade total, distribuição do diâmetro dos poros, alteração na agregação e no teor de matéria orgânica (SOUZA et al., 2014), entre outros problemas que podem contribuir para o aumento da degradação do solo.

Para a interpretação das variações nos atributos dos solos é necessário a utilização dos métodos estatísticos. Os métodos univariados apresentam limitações, já que o comportamento dos atributos é interpretado isoladamente, não levando em conta interação com os demais atributos presentes, e desta maneira, uma opção de análise para facilitar o trabalho com dados que apresentam grande número de variáveis é pelo uso de análise multivariada (SILVA et al., 2010). Através da técnica de análise multivariada é possível explicar o máximo de intercorrelação entre as variáveis e descobrir quais delas contribuem mais para a caracterização e/ou, alteração do solo, além de ser uma ferramenta eficiente, quanto se pretende realizar análise simultânea de muitas variáveis (OLIVEIRA et al., 2015; AQUINO et al., 2016).

Portanto, o objetivo neste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo em áreas sob cultivos de guaraná, cupuaçu e urucum, em comparação com a área de floresta.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em duas propriedades rurais que fazem parte do Assentamento São Francisco localizado no município de Canutama, Amazonas, Brasil sob as coordenadas geográficas de referência (8° 13' 23" S; 64° 00' 50" W) e (8° 13' 25" S; 64° 00' 23" W), em ambas as propriedades. Foram selecionadas quatro áreas, sendo três áreas sob diferentes usos: cultivo de Urucum (*Bixa orellana* L.); cultivo de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng) Schum) e cultivo de Guaraná (*Paullinia cupana* (Mart.) Ducke) e mais área de floresta (Figura 1).

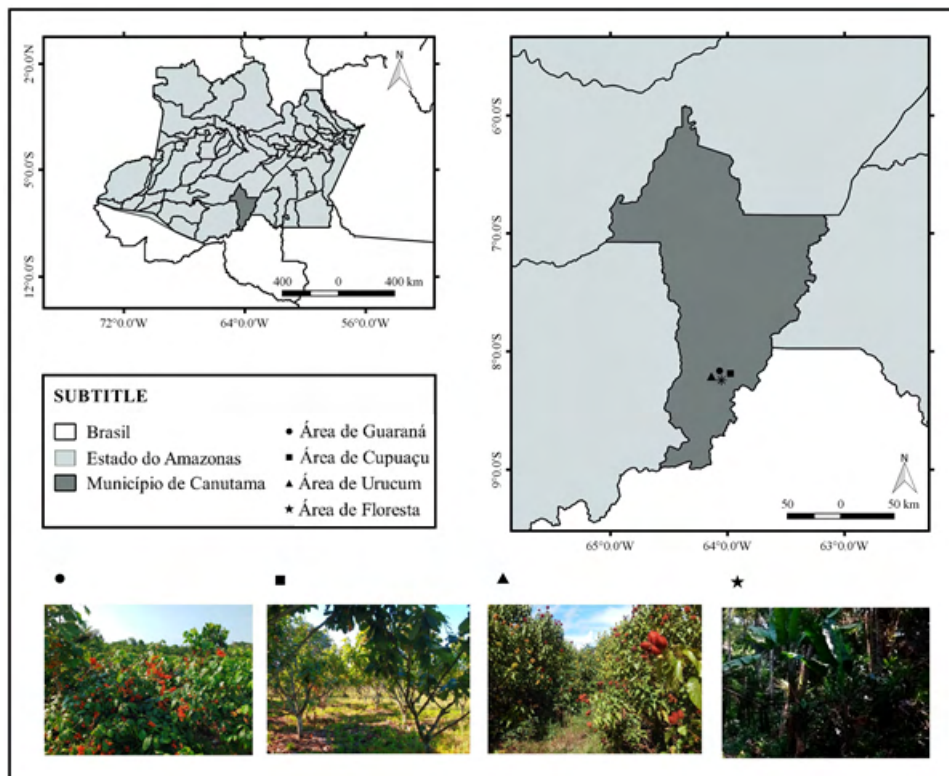


Figura 1. Localização e modelo de elevação digital das áreas com guaraná, cupuaçu, urucum e floresta, no município de Canutama, região sul do Amazonas - AM.

O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo localizados na Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais antigos, (terraços superiores do prestoceno) do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talwegues de aprofundamento muito fraco, declives muito suaves e a drenagem natural é deficiente (EMBRAPA, 2013). No que se refere à caracterização climática, o clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média varia entre 2250 e 2750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27° C e a umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Quanto ao histórico de uso e manejo das áreas selecionadas para o estudo, foi possível levantar informações importantes e relevantes. Entre as quais, que as áreas cultivadas com guaraná e cupuaçu possuem 7 anos de efetivo cultivo, já a área de urucum apresenta somente 3 anos. Importante destacar que as respectivas áreas são oriundas de derrubada e queima da floresta, com conseqüente realização de destoca manual para

limpeza da área no primeiro ano de cultivo. Nunca foi realizado nenhum tipo de adubação e calagem nas áreas cultivadas, em ambas apenas é realizado controle das plantas daninhas com utilização de roçadeira motorizada, além de pulverização com herbicida glifosato para controle do sapé (*Imperata brasiliensis*). As áreas de guaraná e urucum apresentam declividade média em torno de 3%. Já a área de cupuaçu está localizada em área mais plana, sendo possível observa-se acumulação efetiva de biomassa da cultura em grande quantidade. A área de floresta selecionada para fins de comparação no processo floresta/ áreas cultivadas é caracterizada como floresta tropical Ombrófila densa, cujo a vegetação é perenifólia, constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura.

## 2.2 Metodologia de campo

Foram estabelecidas malhas de acordo com as dimensões do cultivo. Nas áreas de guaraná e floresta foram estabelecidas malhas 90 x 70 m com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 10 x 10 m, na área de urucum a malha estabelecida foi de 90 x 56 m com espaçamento entre os pontos amostrais de 10 x 8 m, já para área de cupuaçu a malha apresentou dimensões de 54 x 42 m, com espaçamento regular entre os pontos amostrais de 6 x 6 m. As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento das malhas, especificamente na projeção da copa nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, com 80 pontos amostrais em cada área, e totalizando 240 amostras por área. Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin modelo Etrex (*Datum South American 69*).

Em cada ponto amostral, foram coletados anéis volumétricos de 4,0 cm de altura e 5,1 cm de diâmetro interno e amostras com estrutura preservada em forma de torrão nas três camadas avaliadas para determinação dos atributos físicos, textura e mecânica do solo, perfazendo um total de 960 amostras nas quatro áreas avaliadas. As amostras foram secas à sombra e levemente destorroadas, de forma manual, passado as mesmas em peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha, separando-se o material retido na peneira de 4,76 mm para as análises relativas à estabilidade de agregados. Já as amostras retidas na peneira de 2,00 mm foram utilizadas para análise de textura do solo.

## 2.3 Determinações e análises em laboratório

A determinação da estabilidade dos agregados do solo foi realizada pelo método de peneiramento úmido. A separação e estabilidade dos agregados foi determinado segundo Kemper & Chepil (1965), com modificações nas seguintes classes de diâmetro: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm.

Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,0 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (modelo SOLOTEST) por 15 min e com 32 oscilações por minuto. O material retido



em cada classe das peneiras foi colocado em estufa a 105 °C, em seguida mensurada as respectivas massas em balança digital. Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras para > 2 mm, 2-1 mm e < 1 mm, e posteriormente foram calculados os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) da classe < 0,25 mm, ambos por meio da fórmula proposta por CASTRO FILHO et al. (1998), o diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado segundo SCHALLER & STOCKINGER (1953), citados por ALVARENGA et al. (1986), de acordo com as equações:

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

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

em que:

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

$$IEA = \left( \frac{MS-wp0,25-areia}{MS-areia} \right) 100 \quad (3)$$

em que:

MS – massa seca da amostra, g,e; wp0,25 – massa dos agregados da classe < 0,25 mm, g.

Para as determinações da densidade do solo ( $D_s$ ), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), volume total de poros (VTP) e umidade gravimétrica ( $U_g$ ), as amostras coletadas em anéis volumétricos foram saturadas por meio da elevação gradual, até dois terços da altura do anel, de uma lâmina de água numa bandeja plástica. Após a saturação, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão para determinação da MiP do solo, sendo submetidas a uma tensão de -0,006 MPa. Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de -0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas e, em seguida, realizadas feitas as medidas da resistência do solo à penetração (RSP), utilizando-se um penetrógrafo eletrônico de bancada (MA-933, Marconi, SP, BR). Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C para a determinação da  $U_g$ ,  $D_s$  e VTP, pelo método do anel volumétrico, já a MaP será determinada pela diferença entre VTP e MiP (EMBRAPA, 2011).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, utilizando solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 min, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (2011). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado pela diferença. A correlação

de Pearson foi utilizada para avaliar a força e direção da correlação dos mapas do padrão de distribuição dessas variáveis.

## 2.4 Análises estatística

Após a obtenção dos dados dos atributos físicos, foram realizadas as análises de estatística descritiva onde foram calculados a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. 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.

Posteriormente foram feitas análise estatística univariada e multivariada. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para verificar se existe diferença entre as áreas estudadas, para saber qual área é diferente da outra e comparar as médias dos atributos, utilizando o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, por meio do software SPSS 21 (SPSS Inc., 2001). Em seguida foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), de modo que nas tabelas da multivariada, foi apresentado apenas os atributos que apresentaram correção entre os fatores através da análise fatorial, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com referência ao ambiente sob floresta, obtendo como resposta atributos que sofrem maior influência sobre o uso do solo.

A adequação da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Barlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi feita pelas componentes principais, incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco. A escolha do número de fatores a ser utilizados foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superior a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (*Varimax*) dos fatores e representada em um plano fatorial das duas componentes. A correlação de Pearson foi utilizada para avaliar a força e direção da correlação dos mapas do padrão de distribuição dessas variáveis.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva, assim como análise de variância dos atributos físicos avaliados em áreas cultivadas com guaraná, urucum e cupuaçu em comparação com a área de floresta estão apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3, para as respectivas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Com base, nestes resultados foi possível observar que nas diferentes profundidades avaliadas, os valores de média e mediana para a maioria

dos atributos foram muito próximos, com exceção dos atributos MaP, Pt e Ug nas áreas de cupuaçu e guaraná, sendo que na área de cupuaçu as exceções para os respectivos atributos ocorreram nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m (Tabela 1 e 3), e na área de guaraná nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 2 e 3).

Os coeficientes de assimetria e curtose dos atributos avaliados apresentaram valores próximos à zero para quase todos os atributos analisados, com exceção apenas de alguns atributos que apresentaram valores de curtose mais distantes de zero, como foi o caso dos atributos DMG e IEA na área sob cultivo de guaraná para a profundidade 0,00-0,05 m, e RSP na profundidade 0,10-0,20 m. A outra exceção ocorreu na área cultivada com urucum para o atributo RSP nas profundidades 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m (Tabela 1 e 3). Trabalhos destacam que a assimetria e curtose são indicadores da distribuição dos dados, contudo, são mais sensíveis a valores extremos que a média e mediana, sendo que tais valores próximos a zero indicam maior normalidade dos dados (KAMIMURA et al., 2013; ALHO et al., 2016).

Quanto aos resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov os mesmos indicaram normalidade para todos os atributos avaliados em todas as profundidades estudadas, tais resultados só justificam os valores de média e mediana encontrados anteriormente, a qual já demonstravam a possível distribuição normal dos dados, em virtude da proximidade dos valores centrais encontrados.

Estatística Descritiva	Ds	MaP	MiP	Pt	DMG	DMP	IEA	Ug	RSP	Areia	Silte	Argila
	g cm <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	mm	mm	%	%	MPa	MPa	MPa	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Guaraná												
Média	1,10 a	9,00 b	36,67 a	46,00 a	2,79 a	3,19 a	93,92 b	34,00 bc	0,89 a	390,03 a	392,99 c	216,98 a
Mediana	1,11	9,00	37,018	46,00	2,81	3,19	94,54	34,00	0,90	389,92	391,99	216,00
DP	0,10	3,00	4,473	4,00	0,24	0,07	3,09	6,00	0,29	47,98	40,63	32,04
CV (%)	9,51	31,95	12,2	8,87	8,74	2,12	3,29	17,8	32,20	12,30	10,36	14,87
Assimetria	-0,19	0,89	0,05	0,44	-1,30	-0,56	-1,64	0,32	-0,26	0,08	0,22	-0,45
Curtose	-0,22	1,14	-0,19	0,36	2,32	0,09	3,90	0,57	-0,79	-0,53	-0,30	-0,05
K-S	0,05*	0,10*	0,07*	0,063*	0,11*	0,11*	0,12*	0,05*	0,18*	0,06*	0,09*	0,13*
Urucum												
Média	0,99 b	15,36 a	34,85 b	47,90 a	2,76 a	3,18 a	92,87 b	35,26 b	0,62 b	378,10 a	445,29 b	176,61 b
Mediana	1,00	14,03	34,698	47,50	2,80	3,20	93,71	34,85	0,59	375,10	442,29	175,61
DP	0,14	5,39	3,398	4,43	0,27	0,09	4,17	5,64	0,28	51,94	56,11	40,27
CV (%)	14,44	35,07	9,75	9,24	9,89	2,88	4,49	16,00	45,97	13,85	12,69	22,93
Assimetria	0,03	0,85	0,19	0,07	-0,84	-1,52	-1,09	0,02	1,45	0,57	0,25	-0,11
Curtose	0,81	0,17	1,03	0,22	0,01	2,84	0,60	1,48	4,50	-0,43	0,04	-1,04
K-S	0,06*	0,12*	0,09*	0,06*	0,16*	0,17*	0,15*	0,09*	0,05*	0,10*	0,10*	0,12*

Cupuçu												
Média	0,92 c	15,43 a	27,31 c	40,39 b	2,53 b	3,08 a	91,12 c	30,52 c	0,40 c	263,77 b	519,49 a	216,74 a
Mediana	0,92	4,09	27,165	4,43	2,53	3,08	91,58	6,20	0,35	265,50	519,64	209,20
DP	0,10	26,50	4,253	10,97	0,25	0,10	3,96	20,33	0,18	34,15	43,03	33,42
CV (%)	10,84	15,96	15,57	40,05	9,90	3,41	4,34	29,90	45,76	13,00	8,28	15,52
Assimetria	-0,25	0,08	-0,07	0,32	-0,16	-0,31	-0,94	0,93	0,61	0,24	0,13	-0,01
Curtose	-0,11	-0,33	-0,54	-0,16	-0,88	-0,80	0,55	1,49	-0,44	-0,83	-0,38	-0,33
K-S	0,06*	0,06*	0,05*	0,08*	0,08*	0,10*	0,09*	0,13*	0,08*	0,09*	0,04*	0,14*

Floresta												
Média	0,87 d	15,34 a	34,38 b	47,65 a	2,82 a	3,20 a	95,64 a	40,93 a	0,43 c	252,19 b	530,44 a	217,37 a
Mediana	0,87	15,29	34,664	47,87	2,85	3,20	95,80	40,32	0,39	252,00	529,01	215,37
DP	0,13	5,48	4,694	6,40	0,23	0,07	2,05	11,68	0,20	26,12	37,53	31,96
CV (%)	15,14	35,69	13,65	13,43	8,26	2,17	2,14	28,54	47,37	10,48	7,09	14,84
Assimetria	0,14	0,25	-0,19	-0,60	-0,58	-0,28	-0,74	0,45	0,76	0,03	-0,02	-0,59
Curtose	0,16	-0,55	-0,69	0,14	0,05	-0,71	0,52	1,45	-0,25	0,13	0,83	0,98
K-S	0,07*	0,07*	0,08*	0,08*	0,07*	0,07*	0,08*	0,08*	0,43*	0,07*	0,07*	0,15*

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; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: 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 1. Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,00-0,05 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds	MaP	MiP	Pt	DMG	DMP	IEA	Ug	RSP	Areia	Silte	Argila
	g cm <sup>-3</sup>	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	----- mm -----	----- % -----	MPa	----- g kg <sup>-1</sup> -----						
Guaraná												
Média	1,12 a	9,77 d	35,89 a	45,58 b	2,44 c	2,96 bc	91,12 b	32,28 b	1,01 a	363,61 b	410,86 b	225,53 c
Mediana	1,11	3,36	36,000	5,15	2,51	3,01	92,49	5,27	0,99	357,30	407,16	228,65
DP	0,07	34,34	3,465	11,29	0,43	0,24	5,07	16,33	0,40	41,52	39,93	52,07
CV (%)	5,95	9,39	9,66	45,39	17,42	8,00	5,56	32,51	39,72	11,42	9,68	23,09
Assimetria	0,60	0,76	-0,39	-0,19	-0,97	-1,32	-1,74	-0,51	0,74	0,47	0,05	-0,20
Curtose	-0,17	0,51	0,13	0,67	0,75	1,79	3,37	0,64	-0,02	-0,33	1,53	0,48
K-S	0,13*	0,08*	0,08	0,08*	0,13*	0,14*	0,16*	0,07*	0,10*	0,08*	0,10*	0,10*
Urucum												
Média	1,05 b	14,87 b	33,64 c	46,67 b	2,81 a	3,16 a	94,64 a	32,37 b	1,01 a	383,86 a	320,14 c	296,00ab
Mediana	1,06	14,50	33,643	46,36	2,85	3,19	94,86	32,14	0,99	385,90	320,73	296,00
DP	0,09	20,36	2,706	3,81	0,24	0,11	2,33	3,53	0,40	51,56	34,42	48,64
CV (%)	8,14	3,03	8,04	8,17	8,63	3,45	2,46	10,92	39,72	13,32	10,65	16,43
Assimetria	-0,70	0,62	-0,39	0,12	-0,83	-1,20	-0,66	0,89	0,74	0,45	0,01	-0,15
Curtose	0,53	1,14	1,01	1,80	0,33	1,30	0,20	1,99	-0,02	-0,51	-0,34	-0,83

K-S	0,07*	0,07*	0,04	0,08*	0,09*	0,12*	0,09*	0,10*	0,07*	0,12*	0,09*	0,11*
Cupuaçu												
Média	1,14 a	13,39 c	23,24 d	34,75 c	2,59 b	3,04 b	93,74 a	20,72 c	0,50 c	284,69 c	418,06 b	297,25 a
Mediana	1,14	12,82	23,165	33,86	2,60	3,05	94,05	20,05	0,48	286,70	415,20	303,20
DP	0,10	2,43	3,396	3,46	0,26	0,16	2,45	4,24	0,19	29,96	59,37	43,52
CV (%)	8,97	18,11	14,61	9,96	9,87	5,20	2,61	20,48	38,67	10,53	14,20	14,64
Assimetria	-0,12	0,62	0,20	0,68	-0,68	-1,13	-0,76	0,53	0,34	-0,20	0,98	-0,74
Curtose	-0,60	0,18	-0,16	-0,02	0,85	1,02	0,79	-0,29	-0,79	0,31	1,29	0,22
K-S	0,08*	0,12*	0,06	0,11*	0,10*	0,15*	0,08*	0,091*	0,43*	0,06*	0,09*	0,10*
Floresta												
Média	0,96 c	17,78 a	34,72 b	50,38 a	2,52 bc	2,94 c	93,67 a	36,53 a	0,62 b	238,88 a	483,25 a	277,87 b
Mediana	0,97	17,01	34,731	49,74	2,52	2,96	94,09	35,67	0,61	238,00	483,40	276,94
DP	0,09	4,14	3,458	3,39	0,31	0,26	2,66	5,73	0,24	24,09	45,85	39,81
CV (%)	9,60	23,28	9,96	6,74	12,33	8,91	2,83	15,7	39,08	10,08	9,54	14,33
Assimetria	0,01	-0,11	-0,01	0,25	0,00	-0,91	-0,63	-0,03	0,43	0,21	-0,17	0,21
Curtose	0,19	1,38	-0,41	-0,55	-0,56	0,47	-0,12	-0,28	-0,34	0,13	-0,35	0,00
K-S	0,07*	0,09*	0,08*	0,15*	0,15*	0,11*	0,11*	0,08*	0,71*	0,06*	0,08*	0,10*

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; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: 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 2. Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,05-010 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds	MaP	MiP	Pt	DMG	DMP	IEA	Ug	RSP	Areia	Silte	Argila
	g cm <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			mm		%		MPa	g kg <sup>-1</sup>		
Guaraná												
Média	1,13 b	11,31 b	36,88 a	45,77 a	2,09 b	2,72 bc	89,47 c	33,14 a	0,69 b	361,48 b	434,92 b	203,60 c
Mediana	1,12	3,85	36,958	6,95	2,05	2,72	90,31	6,13	0,68	360,10	435,40	204,00
DP	0,06	34,04	3,993	15,19	0,43	0,27	5,38	18,50	0,30	40,65	23,63	39,11
CV (%)	5,66	11,09	10,83	46,86	20,62	9,87	6,02	32,14	43,42	11,18	5,43	19,19
Assimetria	0,28	0,18	-0,62	-1,03	-0,15	-0,38	-1,08	-0,21	1,60	0,76	0,19	-0,36
Curtose	-0,33	0,24	0,95	1,90	-0,50	-0,29	0,84	1,97	7,36	0,03	0,56	-0,65
K-S	0,09*	0,06*	0,10*	0,10*	0,06*	0,06*	0,14*	0,08*	0,09*	0,10*	0,08*	0,10*
Urucum												
Média	1,06 c	12,61 b	32,52 c	43,41 b	2,62 a	3,03 a	92,83 a	31,22 b	0,69 b	380,31 a	405,28 c	214,41 b
Mediana	1,06	12,43	32,521	43,48	2,67	3,09	93,80	31,11	0,68	380,30	409,14	211,20
DP	0,09	3,33	2,349	3,89	0,27	0,18	3,48	2,77	0,30	53,63	54,32	48,07
CV (%)	8,90	26,42	7,22	8,96	10,46	5,79	3,75	8,88	43,42	14,10	13,40	21,76
Assimetria	0,01	0,14	-0,09	0,09	-0,69	-1,16	-1,04	0,70	1,60	0,29	-0,01	0,03

Curtose	0,00	-0,25	-0,21	1,72	0,75	0,90	0,64	1,55	7,36	-0,43	-0,42	-0,43
K-S	0,05*	0,06*	0,04	0,09*	0,11*	0,16*	0,15*	0,09*	0,19*	0,07*	0,08*	0,12*
Cupuaçu												
Média	1,16 a				2,07 b	2,62 c	90,92			279,30	418,40	302,30
		12,64 b	10,58 d	46,18 a			bc	31,01 b	0,77 a	c	bc	a
Mediana	1,18	3,23	10,511	3,99	2,07	2,66	91,83	3,53	0,75	278,40	419,50	295,20
DP	0,10	25,53	3,142	8,63	0,39	0,35	3,69	11,39	0,29	26,62	44,49	35,74
CV (%)	8,63	12,49	29,71	45,77	18,67	13,34	4,06	30,59	37,97	9,53	10,63	11,82
Assimetria	-0,22	0,48	0,57	-0,06	-0,28	-0,67	-1,21	0,49	0,04	0,40	0,06	0,31
Curtose	1,11	-0,20	-0,17	-0,13	-0,70	-0,28	1,30	0,35	-0,66	-0,10	0,50	-0,05
K-S	0,12*	0,13*	0,14*	0,09*	0,09*	0,10*	0,13*	0,09*	0,07*	0,06*	0,07*	0,10*
Floresta												
Média	1,02 c	16,47 a	33,36 b	47,64 a	2,15 b	2,75 b	91,86	32,63		241,16	467,04	291,80
							ab	ab	0,65 b	d	a	a
Mediana	1,03	16,34	33,398	47,40	2,15	2,75	92,65	32,76	0,65	240,98	466,22	292,00
DP	0,09	4,28	2,741	4,75	0,46	0,33	3,93	2,04	0,25	27,20	39,42	32,46
CV (%)	9,26	25,97	8,21	9,98	21,59	11,90	4,28	6,24	38,01	11,28	8,44	11,22
Assimetria	-0,09	0,67	-0,33	-0,27	-0,07	-0,42	-0,65	0,50	-0,21	0,42	0,25	-0,80
Curtose	0,83	0,69	1,48	0,89	-0,86	-0,61	-0,14	0,49	-0,97	0,15	0,53	1,24
K-S	0,06*	0,13*	0,08*	0,09*	0,07*	0,09*	0,09*	0,11*	0,05*	0,09*	0,06*	0,15*

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; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: 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. Teste de média e estatística descritiva dos atributos físicos na profundidade de 0,10-0,20 m para as áreas com diferentes usos no sul do Amazonas.

Adotando-se os critérios propostos por Warrick e Nielsen (1980), que consideram os valores do coeficiente de variação abaixo 12% como baixa, entre 12% e 60% como média e valores acima 60% como alta variação. Foi possível afirmar com base nos valores de (CV%) encontrados, que os atributos estudados apresentaram de baixa à média variação para todas as áreas e profundidades estudadas, corroborando com resultados encontrados por Aquino et al. (2015) e Cunha et al. (2017), a qual ambos estudaram os atributos físicos do solo na região amazônica.

Quando analisados os resultados da análise de variância dos atributos físicos nas profundidades 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabelas 1, 2 e 3), por meio do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), verificou-se que os maiores valores do atributo densidade (Ds) na profundidade 0,00-0,05 m, seguiu a sequência de guaraná > urucum > cupuaçu > floresta, de modo que as respectivas áreas apresentaram entre-si diferenças significativas (Tabelas 1). Resultados similares foram encontrados por Freitas et al. (2018), os mesmos observaram maiores valores de Ds em áreas antropizadas em comparação com floresta

mata nativa. Valores de Ds mais altos encontrado na área de guaraná, possivelmente estar associado ao tempo de 7 (sete) anos que a referida cultura se encontra sob intensa exploração agrícola, além do uso do fogo para a limpeza da área, uma vez que as principais alterações que podem ocorrer com a queima são evidenciadas pela diminuição do volume de macroporos, diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis e pelo aumento da densidade do solo, principalmente na profundidade superficial do solo (REDIN et al., 2011).

Segundo Viana et al. (2011), o aumento da densidade do solo em área cultivada também pode ser explicado pela redução nos teores de matéria orgânica na superfície do solo, em comparação com o solo sob floresta nativa. Os presentes resultados corroboram com os trabalhos de Reis et al. (2009), onde os mesmos observaram que quando as áreas de florestas são substituídas por culturas agrícolas ou pastagens ocorrem alterações nos atributos dos solos, como aumento da densidade do solo (Ds). Ao se analisar os valores da Ds na profundidade 0,05-0,10 m, verificou-se que as áreas cultivadas com guaraná com valor de (1,12 g cm<sup>-3</sup>) e cupuaçu (1,14 g cm<sup>-3</sup>) não apresentaram diferenças significativas entre si, porém as mesmas foram estatisticamente diferentes quando comparadas a área cultivada com urucum e floresta, sendo a floresta com menor valor de Ds (0,96 g cm<sup>-3</sup>) (Tabela 1).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, foi possível observar incremento no valor de densidade na área sob cultivo de cupuaçu com valor em torno de (1,16 g cm<sup>-3</sup>), de modo que a presente área apresentou diferença significativa, quando comparada as áreas de guaraná, urucum e floresta, esse comportamento era esperado, pois áreas que não sofrem revolvimento do solo, tende a ocorrer elevada deposição de material orgânico na superfície do solo, proporcionado pelo acúmulo de resíduos vegetais da própria cultura (HERNANI e SALTON, 2009; GUARESCHI et al., 2012; TORRES et al., 2015). No geral observou-se que todas as áreas estudadas apresentaram aumento da Ds em profundidade, fato que pode ser atribuído a condição menos estruturante das partículas do solo nas profundidades subsuperficiais.

Ao analisar os resultados dos atributos MaP, MiP e Pt na profundidade 0,00-0,05 m, foi possível observar que para o atributo MaP, as áreas de urucum, cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa, ambas apenas diferiram significativamente da área cultivada com guaraná, de modo que a mesma apresentou menor valor de MaP em superfície. Este resultado pode ser explicado em virtude da maior densidade do solo encontrada na área de guaraná, uma vez que a mesma ocasiona redução na macroporosidade, conforme Chioderoli et al. (2012) e Cardoso et al. (2013). Importante ressaltar ainda em relação a variável MaP, que ambas as áreas avaliadas apresentaram condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, devido a todos os valores de MaP se apresentarem acima de 10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, o qual é definido como limitante ao crescimento radicular, (DEXTER, 1988). A única exceção se deu apenas para área cultivada com guaraná na profundidade 0,00-

0,05 e 0,05-0,10 m, onde se observou valores abaixo do padrão utilizado como referência. Diante de tal resultado, a redução dos macroporos abaixo de  $10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  pode restringir a transmissão de água e nutrientes através da zona radicular (BEVAN, 1980). Neste sentido, os presentes valores críticos de MaP encontrados na área de guaraná podem comprometer a drenagem e a difusão de oxigênio, limitando a respiração radicular e gerando menor exploração do solo pelas raízes das plantas (DREWRY et al., 1999).

Em relação a microporosidade (MiP) e porosidade total (Pt) ainda na profundidade 0,00-0,05 m, foi possível aferir que os maiores valores de microporos foram encontrados na área de guaraná, fato que também se atribui ao aumento da densidade do solo na respectiva profundidade avaliada. Quanto aos valores de Pt observou-se que os maiores valores ocorreram nas áreas cultivadas com guaraná, urucum e floresta, ambas não apresentando diferença estatística entre si.

Ao se analisar os mesmos atributos MaP, MiP e Pt, porém desta vez nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, observou-se que os respectivos atributos apresentaram diferenças significativas, de modo que os maiores valores de MaP e Pt foram observados na área floresta para ambas profundidades. Vale ressaltar que a MaP e Pt é inversamente proporcional à densidade (CHIODEROLI et al., 2012) e que, desta forma, os valores de Pt maiores em proximidade à superfície do solo, geralmente são encontrados em áreas sob floresta nativa (LUCIANO et al., 2010 e MARTINKOSKI et al., 2017). Em relação a variável MiP foi possível observar que os maiores valores ocorreram na área sob cultivo de guaraná, em razão do manejo adotado para o solo nesta área.

Com base nas tabelas 1, 2 e 3, também foi possível observar que o atributo RSP, apresentou diferenças significativas, razão pela qual verificou-se que os maiores valores de RSP foram encontradas nas áreas cultivadas com guaraná e urucum respectivamente na profundidade 0,05-0,10 m, já os menores valores ocorreram nas áreas de floresta e cupuaçu na profundidade 0,00-0,05 m. É possível atribuir os maiores valores de RSP encontrados para as áreas de guaraná e urucum devido à baixa ação efetiva de preparo inicial do solo. Tais resultados corroboram com Vogel e Fei (2016), aos quais também atribuíram aos maiores valores obtidos de DS e RSP nas profundidades superficiais a baixa intensidade de preparo do solo. Ao adotar a classificação de Couto et al. (2016), a qual classifica valores ideais de resistência do solo a penetração, pode-se afirmar que as áreas estudadas em todas as profundidades apresentam RSP menores que 2 MPa, fato que caracteriza solos sem restrição ao crescimento radicular das plantas. No geral é viável se dar uma maior atenção as áreas de guaraná e urucum tendo em vista ambas terem apresentado valores de RSP mais elevados em comparação com as áreas de floresta e cupuaçu, em torno de 1,01 MPa.

Quando analisados os atributos relacionados a estrutura do solo DMG, DMP e IEA na profundidade de 0,00-0,05 m, observou-se que os maiores valores dos respectivos



atributos foram encontrados em áreas sob floresta, tal fato evidencia alto grau de agregação das partículas do solo. Os respectivos resultados corroboram com o trabalho realizado por Luciano et al. (2010), onde observaram melhor agregação do solo em mata natural, sugerindo que tal resultado pode ter sido influenciada pela maior atividade biológica. Os menores valores de DMG, DMP e IEA encontraram-se na área de cupuaçu (Tabela 1), isso indica que provavelmente o uso contínuo da área por longos 7 anos, sem adoção de nenhuma prática de manejo conservacionista ocasionou a desagregação das partículas do solo, aceleração na decomposição do carbono orgânico e os menores índices de estabilidade de agregados em relação as demais áreas estudadas. Quando analisados os mesmos atributos nas profundidades 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m respectivamente, observou-se menores valores dos atributos DMG, DMP e IEA nas áreas cultivadas guaraná, com exceção pontual para o atributo DMP na profundidade 0,05-0,10 m, onde as áreas de guaraná e floresta não apresentaram diferença significativa pelo teste Tukey. A outra exceção para a mesma variável se deu na profundidade 0,10-0,20 m onde observou-se que as áreas de guaraná e cupuaçu também não evidenciaram entre si diferenças significativas. Através dos resultados é possível aferir que a área sob cultivo do guaraná apresentou intensa ação de desagregação do solo em profundidade, fato que pode estar relacionado tanto ao tempo de uso da área para cultivo e/ou topografia do terreno.

Quando analisados os resultados das frações granulométrica observou-se predominância da fração silte em todas as áreas, assim como para todas as profundidades estudadas, com valores que variaram de 483,5 a 530,44 g kg<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram obtidos por BRITO et al., (2018) estudando a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em áreas sob usos com café, cacau e pastagem na região Sul do Amazonas.

Foi possível aferir ainda que para o atributo areia na profundidade 0,00-0,05 mm as áreas de guaraná e urucum não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey (Tabela 1). Já nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m a área de urucum apresentou diferença significativa em relação as áreas de guaraná, cupuaçu e floresta (Tabela 2 e 3). Quando se avaliou os valores de argila, observou que as áreas de guaraná, cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si, no entanto as respectivas áreas diferiram da área de urucum na profundidade 0,00-0,05 mm. Já na profundidade 0,05-0,10 m as áreas de urucum e cupuaçu apresentaram maiores valores quando comparadas às áreas de guaraná e floresta, em seguida ao analisar os resultados na profundidade 0,10-0,20 m, as áreas de cupuaçu e floresta não apresentaram diferença significativa entre si pelo teste Tukey a nível de 0,05 probabilidade. Após análise geral dos resultados foi possível caracterizar os teores de areia, silte e argila como de textura média para todas as profundidades avaliadas.

Na Tabela 4 estão apresentados os valores da correlação de Pearson ao nível de 0,05 e 0,01 de significância, para os atributos físicos do solo de todas as áreas estudadas.

Foi possível observar que o atributo Ds apresentou correlação positiva com MiP ( $r = 0,16$ ), Areia ( $r = 0,48$ ) e RSP ( $r = 0,59$ ). Em contrapartida os resultados indicaram que a Ds é afetada pelos atributos MaP ( $r = -0,56$ ), Pt ( $r = -0,22$ ), Ug ( $r = -0,48$ ), IEA ( $r = -0,13$ ) e Silte ( $r = -0,51$ ), ambos apresentando correlação negativa (Tabela 4). Essas correlações evidenciaram que à medida que a Ds aumentou, simultaneamente ocorreu a elevação da MiP e RSP, tal fato indica que o processo de conversão floresta em áreas cultivadas está promovendo modificações na estrutura do solo, principalmente no aumento do índice de compactação, algo que pode comprovar tal indicativo é a ocorrência de correlação positiva da Ds com a areia, uma vez que solos arenosos são mais suscetíveis a compactação (DONAGEMMA et al., 2016), tais resultados também corroboram com os encontrados por Torres et al. (2015). Quanto a correlação negativa entre Ds com MaP, Pt, Ug, IEA e silte evidenciou efetivamente a diminuição da capacidade de aeração do solo em profundidade, influenciando a infiltração da água, conforme também observado por Hickmann et al. (2012).

Atributos	Ds	MaP	MiP	Pt	Ug	DMG	DMP	IEA	Areia	Silte	Argila	RSP
Ds	1,00	-0,56**	0,16**	-0,22**	-0,48**	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,13*	0,48**	-0,51**	-0,06 <sup>ns</sup>	0,59**
Macro		1,00	-0,41**	0,20**	0,09 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,42**	0,45**	0,08 <sup>ns</sup>	-0,57**
Micro			1,00	0,70**	0,66**	0,22**	0,19**	0,22**	0,32**	-0,32**	-0,12*	0,45**
Pt				1,00	0,71**	0,23**	0,20**	0,23**	0,13*	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,14*
Ug					1,00	0,21**	0,15**	0,30**	-0,13*	0,12*	-0,004 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>
DMG						1,00	0,82**	0,81**	0,10 <sup>ns</sup>	-0,11*	0,012 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
DMP							1,00	0,62**	0,18**	-0,18**	-0,05 <sup>ns</sup>	0,13*
IEA								1,00	-0,16**	0,10 <sup>ns</sup>	0,21**	-0,01 <sup>ns</sup>
Areia									1,00	-0,87**	-0,50**	0,60**
Silte										1,00	0,11*	-0,59**
Argila											1,00	-0,18**
RSP												1,00

\* = significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 4. Correlação de Pearson dos atributos físicos do solo em áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas.

Ao analisar a correlação de Pearson para o atributo MaP, observou-se que o presente atributo apresentou correlação positiva com Pt e Silte, porém obteve correlação negativa com os atributos MiP, Areia e RSP. Por outro lado, com base nos resultados foi possível aferir que o atributo MiP, apresentou correlação positiva para quase todos os atributos estudados, entre os quais Pt, Ug, DMG, DMP, IEA, Areia e RSP com exceção apenas dos atributos silte e argila a qual para ambos apresentou correlação negativa (Tabela 4). Importante ressaltar que correlação positiva causa efeito direto nos atributos, onde o

aumento do MiP irá proporcionar um aumento dos atributos correlacionados positivamente, tal aumento do atributo MiP causou evidentes modificações nos atributos físicos do solo, principalmente no estado de agregação, resultados semelhantes foram observados por Torres et al. (2015) e Cunha et al. (2017). Outro estudo destaca a importância em se avaliar os valores de MaP e MiP no solo, uma vez que a microporosidade, possui a função de retenção e armazenamento de água no solo, e a macroporosidade, cuja função é a de arejar e infiltrar a água no solo (NAGAHAMA et al., 2016).

Quando se analisou a correlação para o atributo Pt, verificou-se que o presente atributo seguiu a mesma tendência de correlação positiva da MiP, com exceção dos atributos silte e argila, a qual nesta condição o atributo Pt apresentou correlação não significativa com silte e argila, fato este que não ocorreu com o atributo MiP (Tabela 4).

A partir dos dados apresentados na Tabela 4, ainda foi possível aferir que o atributo Ug, apresentou correlação positiva com DMG ( $r = 0,21$ ), DMP ( $r = 0,15$ ), IEA ( $r = 0,30$ ) e Silte ( $r = 0,12$ ), em contrapartida demonstrou correlação negativa com Areia ( $r = -0,13$ ) (Tabela 4). Ao analisar a correlação do atributo DMG e DMP é possível constatar que ambos apresentaram correlação negativa para silte e correlação positiva mais voltado para atributos ligados ao estado de agregação e condições de estruturação do solo. Quanto ao atributo IEA observou-se que o mesmo apresentou correlação positiva para argila ( $r = 0,21$ ) e correlação negativa para areia ( $r = -0,16$ ), no mesmo sentido foi possível observar correlação positiva do atributo areia com o atributo RSP e correlação negativa com silte e argila. Finalizando as análises da correlação diagnosticou-se ainda que os atributos silte e argila apresentaram correlação positiva entre si e correlação negativa com o atributo RSP.

Na análise multivariada, observou-se os atributos físicos do solo que sofreram maior alteração após o processo de conversão floresta para áreas cultivadas com espécies amazônicas. A adequação da análise fatorial mostrou-se significativo na profundidade 0,00-0,05 m com (KMO igual a 0,73), 0,05-0,10 m (KMO igual a 0,68) e na profundidade 0,10-0,20 m (KMO igual a 0,64), além de  $p < 0,05$  para o teste de esfericidade de Barlett, o presente teste sugere que os dados dos atributos avaliados são adequados à análise fatorial (Tabela 5). O índice de KMO, também conhecido como índice de adequação da amostra, é um teste estatístico que sugere a proporção de variância dos itens que pode estar sendo explicada por uma variável latente (LORENZO-SEVA et al., 2011). Tal índice indica a quão adequada é a aplicação da Análises Fatoriais Exploratórias para o conjunto de dados (HAIR et al., 2005).

Na análise de componentes principais (ACP), com as variáveis de maiores escores, foram extraídos dois componentes principais que de forma geral explicaram a variabilidade total dos dados para as três profundidades estudadas: 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20. O número de fatores extraídos foi estabelecido de forma a explicar acima de 70% da variância total dos dados (Tabela 5 e Figura 2). Segundo Ribas e Vieira (2011), objetivo da ACP é

atingido quando um número relativamente pequeno de componentes extraídos possuírem a capacidade de explicar a maior parte da variabilidade nos dados originais.

De acordo com Manly (2008), foram consideradas somente as variáveis com autovalores acima de 1, pois são aquelas que geram componentes com quantidade relevante de informação das variáveis originais. Com base nisso, a profundidade 0,00-0,05 m apresentou autovalores da matriz de covariância de 3,05 na CP1 e 2,59 na CP2, na profundidade 0,05-0,10 m os autovalores da matriz foram de 3,01 na CP1 e 2,64 na CP2, já na profundidade mais subsuperficial de 0,10-0,20 m os autovalores da matriz de covariâncias foram de 2,59 na CP1 e 2,16 na CP2 (Tabela 5).

<b>Profundidade 0,00-0,05 m</b>			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
Ds	0,44	0,78*	-0,02
MaP	0,30	-0,60*	-0,12
DMG	0,82	0,09	0,95*
DMP	0,72	0,15	0,90*
IEA	0,71	-0,04	0,91*
RSP	0,47	0,79*	0,11
Areia	0,73	0,83*	0,01
Silte	0,74	-0,86*	-0,04
Autovalor		3,05	2,59
Variância explicada (%)		40,68	29,79
<b>Profundidade 0,05-0,10 m</b>			
Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
Ds	0,65	-0,71*	-0,21
MiP	0,80	0,84*	-0,11
Pt	0,75	0,92*	-0,06
DMG	0,79	0,02	0,95*
DMP	0,72	-0,02	0,91*
IEA	0,69	0,03	0,92*
Ug	0,91	0,98*	-0,003
Autovalor		3,01	2,64
Variância explicada (%)		42,98	37,66
<b>Profundidade 0,10-0,20 m</b>			

Atributos	Variância comum	Fatores	
		PC1	PC2
MaP	0,42	-0,06	0,80*
Pt	0,34	-0,11	0,67*
DMG	0,90	0,96*	-0,15
DMP	0,87	0,93*	-0,13
IEA	0,67	0,89*	0,10
Areia	0,45	0,04	-0,75*
Silte	0,27	0,02	0,67*
	Autovalor	2,59	2,16
	Variância explicada (%)	59,17	20,65

Ds: densidade; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; Pt: porosidade total; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; IEA: Índice de Estabilidade de Agregados; Ug: unidade gravimétrica; RPS: resistência do solo à penetração;

Tabela 5. Correlação entre cada componente principal das variáveis analisadas dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas - AM.

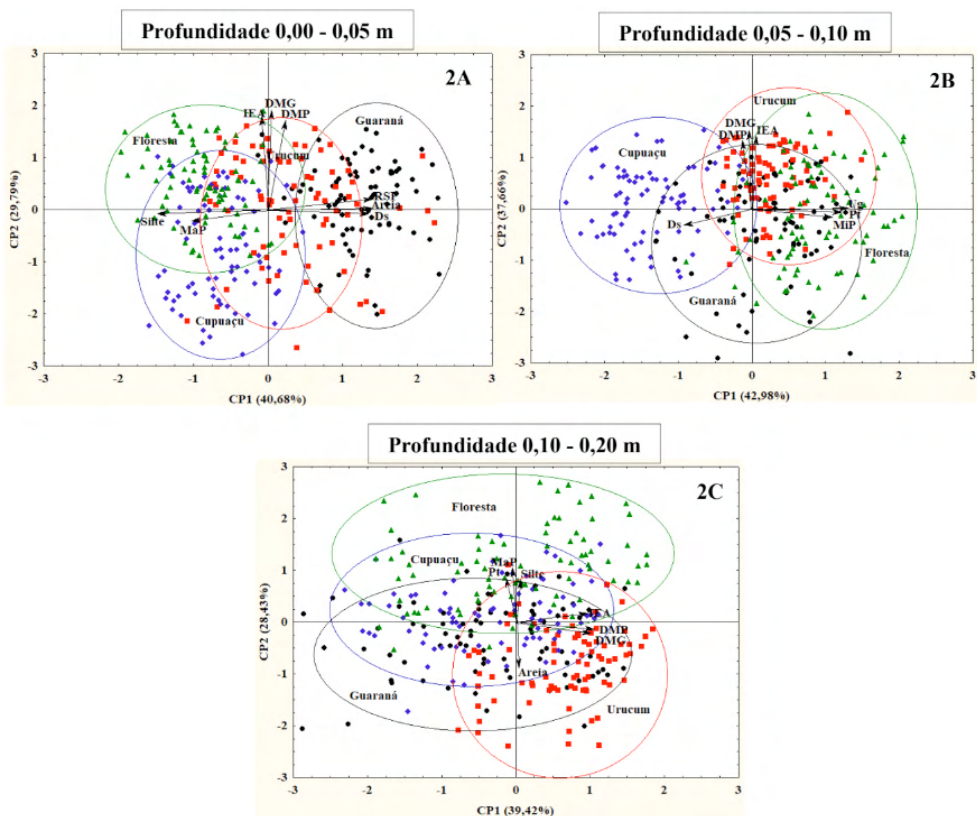


Figura 2. Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo nas três profundidades estudadas correspondentes as áreas sob conversão de floresta em áreas cultivadas no Sul do Amazonas.

De forma detalhada o primeiro componente referente a profundidade 0,00-0,05 m explicou 40,68 % da variabilidade total dos dados, tal componente apresentou percentual de explicação para atributos mais voltados as características estruturais, mecânica e granulométrica do solo como: Ds, MaP, RSP, Areia e Silte, onde apenas a Ds, RSP e Areia se correlacionaram de maneira positiva (Tabela 5). A correlação inversa do atributo MaP com RP e Ds indica, que quanto maior for o volume de macroporos no solo, menores serão os valores de RP e Ds. De acordo com Melo (2018), essas alterações estão relacionadas as modificações sobre a relação massa volume do solo. Trabalhos também destacam que isso pode ocorrer em razão do processo de aproximação das partículas do solo provocada por causas naturais, como o fenômeno da reconsolidação (OLIVEIRA et al., 2013; VISCHI FILHO et al., 2017). O segundo componente principal teve percentual de explicação de 29,79 % da variabilidade dos dados, com características mais relacionada a condição de estabilidade dos agregados do solo como: DMG, DMP e IEA, sendo que ambos os atributos apresentaram correlação positiva (Tabela 5), resultados similares foram observados por Arcoverde et al. (2015). No geral os dois componentes principais na profundidade 0,00-0,05 m reteram um percentual da variância explicada de 70,47% (Tabela 5 e Figura 2).

Ao detalhar os componentes referente a profundidade 0,05-0,10 m, observou-se que os mesmos se comportara de maneira similar a profundidade anterior, de modo que o primeiro componente apresentou percentual de explicação para atributos mais voltados as características estruturais e granulométrica do solo, explicando 42,98 % da variabilidade total dos dados, entre eles a Ds, MiP, Pt e Ug, dentre estes apenas a Ds correlacionou-se de maneira negativa, já os demais atributos tiveram correlação positiva. O presente resultado indica que possivelmente o manejo inadequado está proporcionando consequência negativa sobre o solo. Estudos atuais afirmam que tais consequências levam ao declínio de sua estrutura, com alterações dos atributos físicos do solo, como porosidade total e macroporosidade (LANA et., 2017), microporosidade e densidade do solo (VISCHI FILHO et al., 2017), e resistência do solo à penetração das raízes (LIMA et al., 2017). O segundo componente teve percentual de explicação de 37,66 % da variabilidade dos dados, assim como a profundidade anterior apresentou tendência igualitária com características mais relacionada a condição de estabilidade dos agregados do solo como os atributos DMG, DMP e IEA, ambos apresentando correlação positiva. Os dois componentes principais nesta profundidade tiveram um percentual de variância explicada em torno de 80,64% (Tabela 5 e Figura 2).

Ao realizar análise dos componentes na profundidade 0,10-0,20 m, foi possível observar que diferente das profundidades anteriores o comportamento nas componentes CP1 e CP2 foi inverso, de modo que o primeiro componente explicou os atributos voltados a condição de estabilidade dos agregados do solo com percentual de 39,42 % da variabilidade dos dados. Já o segundo componente teve percentual de explicação de 28,66

%, porém com características mais direcionadas estruturais e granulométricas, onde nessa profundidade os atributos MaP, Pt e Silte se correlacionaram positivamente e o atributo Areia de forma negativa. No geral, ambos componentes principais nesta profundidade apresentaram percentual de variância explicada de 67,85% (Tabela 5 e Figura 2).

Na Figura 2, estão representados a análise de componentes principais, através da distribuição dos escores das diferentes áreas estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos físicos do solo formado pelos CP1 e CP2. Com base nos resultados, ao se analisar a profundidade 0,00-0,05 m, foi possível observar maior adensamento dos escores das áreas de guaraná e urucum no primeiro e quarto quadrante, o que discrimina que ambas as áreas obtiveram valores dos atributos RSP, Ds, areia, DMG, DMP e IEA, acima da média (Figura 2A). Por outro lado, as áreas cultivadas com cupuaçu e floresta ficaram mais distribuída no segundo e terceiro quadrante, com os atributos MaP e Silte valores abaixo da média (Figura 2A). Através dos resultados já é possível aferir uma intensa alteração nas propriedades físicas na profundidade superficial do solo para áreas guaraná e urucum, fato que não ocorre diretamente nas áreas de floresta e cupuaçu. Os resultados nas áreas de guaraná e urucum pode ser atribuído, principalmente, à predominância de áreas com solos de textura superficial arenosa, implicando, dessa forma, em baixa estabilidade de agregados e inicial indicativo de compactação do solo, que poderá comprometer a retenção e armazenamento de água no solo.

Ao analisar os resultados relacionados a profundidade 0,05-0,10 m, observou-se maior adensamento dos escores da área de urucum no primeiro e segundo quadrante, o que discrimina que a presente área obteve valores de DMG, DMP e IEA, acima da média (Figura 2B). Importante destacar que ao verificar o comportamento das áreas de floresta e guaraná, os resultados evidenciaram que as maiores concentrações dos escores ocorreram no primeiro e quarto quadrante, com discriminação acima da média dos atributos MiP, Pt e Ug. Quando analisada a área de cupuaçu identificou-se maior adensamento dos escores no segundo e terceiro quadrante, apresentando valor abaixo da média para o atributo Ds (Figura 2B).

Quando se analisou os componentes principais na profundidade 0,10-0,20 m, observou-se uma dispersão acentuada dos escores das áreas de guaraná, urucum, cupuaçu e floresta entre o primeiro ao quarto quadrante, o que discrimina que ambas as áreas obtiveram valores dos atributos MaP, Pt, DMG, DMP, IEA, areia e silte acima da média (Figura 2C).

## 4 | CONCLUSÕES

O processo de conversão de florestas em áreas cultivadas sem manejo adequado causou mudanças negativas nos atributos físicos do solo.

Os atributos que mais sofreram alterações na conversão de floresta em ambientes cultivados foram: Ds, MaP, MiP, Pt, RSP e IEA.

A área sob floresta se confirmou como a condição ideal para a manutenção da qualidade física do solo nas condições estudadas, ao passo que, apresentou maior expressão dos atributos físicos que condizem com sustentabilidade do sistema.

Através da análise multivariada foi possível aferir que as maiores alterações dos atributos físicos para as áreas estudadas ocorreram nas profundidades 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m.

## REFERÊNCIAS

ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. M. P.; SOUZA, Z. M.; CUNHA, J. M.; SOARES, M. D. R. Physical and geospatial attributes of inceptisols and ultisols under native vegetation in Humaitá, AM, Brazil. *Bioscience Journal*, v. 32, n. 2, p. 422-430, 2016.

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

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; JUNIOR, J. M.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D. B.; CUNHA, J. M. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 2, p. 21-30, 2015.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, pp.397- 406, 2014.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; FRANCISCON, U.; SILVA, D. M. P.; CUNHA, J. M. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brasil. *Bioscience Journal*, v. 32, n. 1, p. 61-72, 2016.

BEVAN, K. The grandon underwood field drainage experiment. *Institute of Hidrology Report*, v. 65, n. 30, 1980.

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

BRITO, W. B. M.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; CUNHA, J. M.; FRANCISCON, U.; MARCELO SOARES, D.R. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. *Soil & Tillage Research*. v.182, p. 103-111, 2018.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. dos; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. de; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. de M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.



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

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. de; NORONHA, R. H. de F.; PARIZ, C. M.; LIMA, R. C. Spatial and linear correlations between soil and corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 3, p. 765-774, 2012.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em além Paraíba – MG. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 13-24, 2018.

CUNHA, J. M.; GAIO, D. C.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; SILVA, D. M. P.; LIMA, A. F. L. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. *Revista Ambiente & Água*. v. 12, n. 2, p. 263-281, 2017.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*, v. 11, n.3, p. 199-238, 1988.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.

DREWRY J. J.; LOWE J. A.; PATON R. J.; Effect of sheep stocking intensity on soil physical properties and dry matter production on a Pallic Soil in southland. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, v. 42, n. 4, p. 493-499, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Revisada. Embrapa Solos Rio de Janeiro, 353p. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solo, 2011. 230p.

FREITAS, L., CASAGRANDE, J. C., OLIVEIRA, I. A., CAMPOS, M. C. C., SILVA, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 1, p.17-26, 2015.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C. Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. (2005). Análise multivariada de dados. A. S. Sant'Anna & A. C. Neto (Trad.). Porto Alegre: Bookman.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; Atributos de solo e produtividade de culturas em sistemas de manejo conduzidos por dezesseis anos. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, v. 54, p. 1-63, 2009.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. *Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 128-36, 2012.

KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; DIAS JUNIOR, M. SOUZA.; GUIMARÃES, P. T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 37, n. 2, p. 877-88, 2013.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A., EVANS, D. D., WHITE, J. L., ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E., eds. *Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison, American Society of Agronomy, p. 499-510. (Agronomy Series, 9), 1965.

LANA, R.M.Q.; DOMINGUES, L.A.S.; TORRES, J.L.R.; MAGESTE, J.G.; DE MORAES, E.R. Soil physical attributes and productivity of sugarcane under different cropping systems in the savannah goiano. *Australian Journal of Crop Science*, v.11, n. 2, p. 149–155, 2017.

LIMA, R.P.D.; SILVA, A.P.D.; GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.R.D.; ROLIM, M.M. Changes in soil compaction indicators in response to agricultural field traffic. *Biosystems Engineering*. v.162, p. 1–10, 2017.

LORENZO-SEVA, U.; TIMMERMAN, M. E.; KIERS, H. A. The hull method for selecting the number of common factors. *Multivariate Behavioral Research*, v.46, n. 2, p. 340-364, 2011.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.

MANLY, B. J. F. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman; 2008.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F.; *Qualidade Física do Solo Sob Manejo Silvopastoril e Floresta Secundária Floresta e Ambiente*. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 1-9, 2017.

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.

NAGAHAMA, H. J.; GRANJA, G. P.; CORTEZ, J. W.; RAMOS, R. L.; ARCOVERDE, S. N. S. Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agrônômicos do capim elefante. *Revista Ceres*, v. 63, n. 5, p. 741–746, 2016.

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

OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; ROSSETTI, K. V.; FERRAUDO, A. S.; FRANCO, H. B. J, PEREIRA, F. S. BÁRBARO JÚNIOR, L. S. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 3, p. 604–612, 2013.

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

REIS, M. S., FERNANDES, A. R., GRIMALDI, C., DESJARDINS, T., GRIMALDI, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. *Revista de Ciência Agrária*. v.52, n.3. p.37-47, 2009.

RIBAS, J. R.; VIEIRA, P. R. da C. *Análise Multivariada com o uso do SPSS*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna. p. 272, 2011.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 37, n. 4, p. 543–548, 2007.

SILVA, M. O.; FREIRE, M. B. G. S.; MENDES, A. M. S.; FREIRE, F. J.; CAMPOS, M. C. C.; AMORIM, L. B. Discriminação de diferentes classes de solos irrigados com águas salinas, na região de Mossoró, RN, com o uso de análise multivariada. *Ambiência*, v. 6, n. 2, p. 261-270, 2010.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA R.B.; BARBOSA, R.S.; ARAÚJO, F. S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 1, p.135-146, 2014.

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

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. P.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 2, p.428-437, 2015.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 35, n.6, p. 2105-2114, 2011.

VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; SILVA, R. B.; TORRES, J. L. R.; LIMA, M. E.; TAVARES, R. L. M. Physical attributes and limiting water range as soil quality indicators after mechanical harvesting of sugarcane. *Australian Journal of Crop Science*, v. 11, n. 2, p. 169–176, 2017.

VOGEL, G. F.; FEY, R. Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 3, p. 21-26, 2016.





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.319-345.

The background of the cover is a grayscale photograph of a soil profile. A vertical ruler is placed on the left side of the soil, with markings in centimeters from 0 to 140. The soil shows various layers and textures, with some roots visible. The title 'SOLOS AMAZÔNICOS:' is printed in large, white, sans-serif capital letters across the top half of the image.

# SOLOS AMAZÔNICOS:

---





Qualidade estrutural, físico, químico  
e suas correlações geoespacial  
no Sul do Amazonas

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# SOLOS AMAZÔNICOS:

---

Qualidade estrutural, físico, químico  
e suas correlações geoespacial  
no Sul do Amazonas

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)