

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região Sul do Amazonas

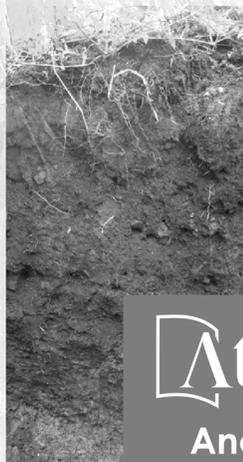
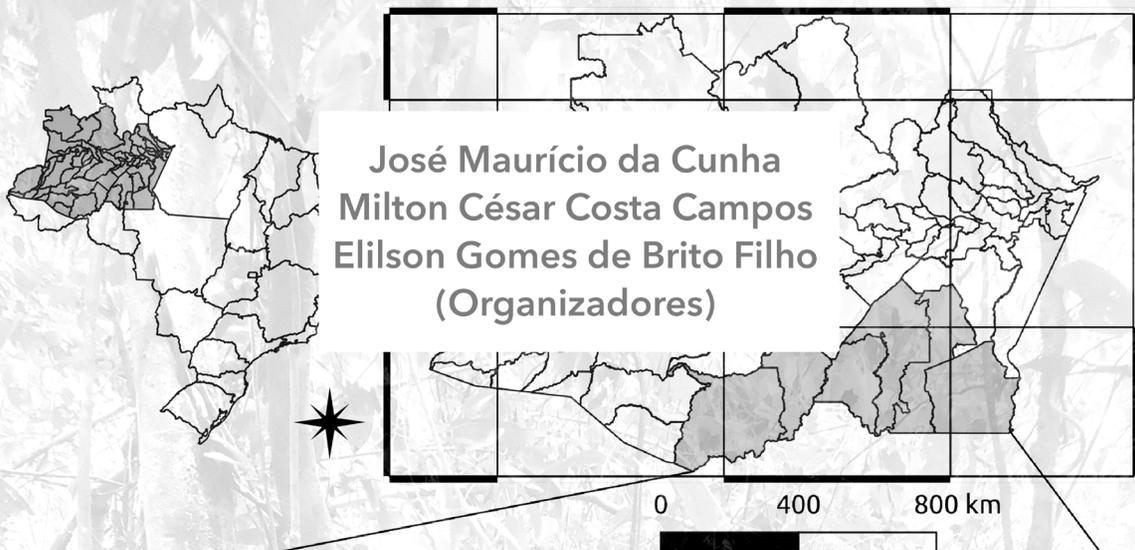


**Atena**  
Editora

Ano 2021

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região Sul do Amazonas



**Atena**  
Editora

Ano 2021

### **Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

### **Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

### **Bibliotecária**

Janaina Ramos

### **Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

### **Imagens da Capa**

Shutterstock

### **Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

### **Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 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-NãoDerivativos 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 Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Sulivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

# Terra Preta Arqueológica: atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO2 em solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremonesi  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** José Maurício da Cunha  
Milton César Costa Campos  
Elilson Gomes de Brito Filho

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T323 Terra Preta Arqueológica: atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO2 em solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas / Organizadores José Maurício da Cunha, Milton César Costa Campos, Elilson Gomes de Brito Filho. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-220-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.200210707>

1. Solos amazônicos. 2. Solos antrópicos. I. Cunha, José Maurício da (Organizador). II. Campos, Milton César Costa (Organizador). III. Brito Filho, Elilson Gomes de (Organizador). IV. Título.

CDD 631.409811

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

## 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 permite 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

A ocorrência de manchas de solos alterados e/ou formadas por populações pré-colombianas no ambiente amazônico são conhecidas como Terras Pretas Arqueológicas, Terra Preta de Índio, Terra Preta Antropogênica e Terra Mulata. A fertilidade e resiliência desses solos, não só atraem agricultores locais, mas também cientistas que buscam entender como esses solos se formaram e como o conhecimento sobre eles pode ajudar a maior produtividade e sustentabilidade dos solos tropicais. Os solos antropogênicos amazônicos têm sido alvo de diversos estudos, com destaque para aqueles voltados a entender as origens das Terras Pretas de Índio, mas até o momento sua origem é controversa entre os pesquisadores. Diversas hipóteses têm sido sugeridas para a formação destas unidades pedológicas, a mais aceita é que o homem pré-colombiano os formou de forma não intencional.

As Terras Pretas de Índio (TPI) são caracterizadas por apresentarem horizonte A antropogênico e ocorrem em antigos assentamentos contendo artefatos culturais, como fragmentos de cerâmica, e sua coloração escura resulta do acúmulo de matéria orgânica decomposta na forma de carbono pirogênico como resíduo de incêndios domésticos e queima por uso da terra agrícola. Esses solos podem ocorrer em vários tipos de solo, especialmente Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos. Estes solos ocorrem em pontos descontínuos em toda a região amazônica, particularmente no Brasil, Colômbia, Guiana, Equador, Peru e Venezuela e as manchas de solo têm tamanhos que variam de um a 500 hectares, mas a maioria (cerca de 80%) tem tamanhos de dois a cinco hectares. Geralmente estão distribuídos em elevações marginais, posição topográfica que permite boa visibilidade em seu entorno, próximo a cursos d'água, que podem ser de águas claras de cor branca ou preta. Diante disso, o presente trabalho aborda uma síntese de temas relacionados aos estudos das Terras Pretas de Índio, contribuindo com a comunidade científica em geral para a divulgação de estudos em solos antrópicos amazônicos, além de difundir junto à comunidade local a importância do uso adequado do solo da região, de forma que possa usufruir de seus benefícios de maneira sustentável.

Dessa forma, apresenta-se a coletânea de trabalhos elaborado por trinta e um pesquisadores da área distribuídos em quinze capítulos, neste consta aspectos da pedogênese, caracterização dos atributos, classificação dos solos e uso e manejo das Terras Pretas de Índio na Amazônia brasileira. Além disso, relaciona os atributos físicos, químicos e morfológicos dos solos sob TPI em comparação às diversas coberturas vegetais regionais. Acrescenta-se ainda que nestes capítulos, encontram-se estudos de caracterizações dos atributos, bem como o uso de ferramentas de análises de comparação dos atributos das TPI's, como a geoestatística, estatística univariada e multivariada, sendo a primeira uma ferramenta muito útil para o mapeamento digital de solos, mostrando a

importância da mesma no estudo da distribuição espacial dos atributos como forma de validação qualitativa dos métodos.

Destaca-se que ao sintetizar as ideias de cada tema, este trabalho se torna um instrumento de base para os alunos de graduação, pós-graduação e pesquisadores de áreas multidisciplinares, além de produtores rurais local e regional, haja vistas que apresenta uma perspectiva diagnóstica das Terras Pretas de Índio da Amazônia, a fim de que possa contribuir na orientação e tomada de decisão junto a essas comunidades. Para cada tema, há uma introdução inicial que justifica o estado da arte para as pesquisas em áreas de Terras Pretas de Índio, dando relevância às atividades relacionada tanto às caracterizações do solo, quanto ao uso e manejo adequado do solo. É importante destacar que este documento não tem como único fim ilustrar aspectos ligados a gênese das TPI's e a importância do uso e manejo adequado do solo. Mas como está escrito em linguagem de fácil compreensão, ele também é voltado para alunos de ensino médio que podem se confrontar com o desejo de atuar na área de Ciências Ambientais e Agronômicas.

Agradecemos à Pro-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que apoiou a realização deste livro através do EDITAL no 24/2020 – PROPESP/UFAM: PROGRAMA DE APOIO À PUBLICAÇÃO DE LIVROS – 2020, no projeto “**CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS ANTRÓPICOS E NÃO ANTRÓPICOS NA REGIÃO SUL-SUDESTE DO AMAZONAS.**

”.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS NO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS**

Luís Antônio Coutrim dos Santos  
Milton César Costa Campos  
Renato Eleotério de Aquino  
Anderson Cristian Bergamin  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
José Maurício da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107071**

### **CAPÍTULO 2..... 20**

#### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS E DE SOLOS NÃO ANTROPOGÊNICOS NA REGIÃO DE MANICORÉ, AM**

Milton César Costa Campos  
Luís Antônio Coutrim dos Santos  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Bruno Campos Mantovanelli  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
José Maurício da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107072**

### **CAPÍTULO 3..... 33**

#### **VARIAÇÃO ESPACIAL DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CACAU**

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Milton César Costa Campos  
Leandro Coutinho Alho  
José Maurício da Cunha  
Bruno Campos Mantovanelli

**DOI 10.22533/at.ed.2002107073**

### **CAPÍTULO 4..... 46**

#### **EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO EM ÁREAS DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA NA REGIÃO AMAZÔNICA**

José Maurício da Cunha  
Milton César Costa Campos  
Denilton Carlos Gaio  
Zigomar Menezes de Souza  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Emily Lira Simões

**DOI 10.22533/at.ed.2002107074**

**CAPÍTULO 5..... 67**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO EFLUXO DE CO<sub>2</sub> EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB CULTIVO DE CACAU E CAFÉ NO MUNICÍPIO DE APUÍ, AM**

Milton César Costa Campos  
Leandro Coutinho Alho  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Diogo André Pinheiro da Silva  
José Maurício da Cunha  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.2002107075**

**CAPÍTULO 6..... 80**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM EM MANICORÉ, AM**

Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Milton César Costa Campos  
Zigomar Menezes de Souza  
Wildson Benedito Mendes Brito  
José Mauricio da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107076**

**CAPÍTULO 7..... 93**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO ESTOQUE DE CARBONO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM**

Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Zigomar Menezes de Souza  
Ivanildo Amorim de Oliveira  
Renato Eleotério de Aquino  
Bruno Campos Mantovanelli

**DOI 10.22533/at.ed.2002107077**

**CAPÍTULO 8..... 106**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM TERRA PRETA DE ÍNDIO SOB CULTIVO DE CAFÉ CONILON**

Pedro Cardoso Mota Júnior  
Milton César Costa Campos  
Bruno Campos Mantovanelli  
Uilson Franciscon  
José Mauricio da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.2002107078**

**CAPÍTULO 9..... 122**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM E FEIJÃO GUANDU EM NOVO ARIPUANÃ, AM**

José Maurício da Cunha

Denilton Carlos Gaio  
Milton César Costa Campos  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Alan Ferreira Leite de Lima

**DOI 10.22533/at.ed.2002107079**

**CAPÍTULO 10..... 144**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEXTURA DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS**

Elilson Gomes de Brito Filho  
Bruno Campos Mantovanelli  
Wildson Benedito Mendes Brito  
Julimar Fonseca da Silva  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.20021070710**

**CAPÍTULO 11..... 153**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREA DE TERRA PRETA ARQUEOLOGICA SOB CULTIVO DE CACAU EM APUÍ, AM**

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Milton César Costa Campos  
Uilson Franciscon  
Leandro Coutinho Alho  
Zigomar Menezes de Souza  
José Maurício da Cunha  
Anderson Cristian Bergamin

**DOI 10.22533/at.ed.20021070711**

**CAPÍTULO 12..... 173**

**SPATIAL VARIABILITY OF AGGREGATES AND ORGANIC CARBON UNDER THREE DIFFERENT USES OF INDIAN BLACK EARTH IN SOUTHERN AMAZONAS**

Romário Pimenta Gomes  
Milton César Costa Campos  
Marcelo Dayron Rodrigues Soares  
Douglas Marcelo Pinheiro Silva  
José Maurício Cunha  
Uilson Franciscon  
Laercio Santos Silva  
Ivanildo Amorim Oliveira  
Wildson Benedito Mendes Brito

**DOI 10.22533/at.ed.20021070712**

**CAPÍTULO 13..... 187**

**FRactal Features of Soil Texture and Physical Attributes in Archaeological Dark Earth under Different Uses in Western Amazon**

Half Weinberg Corrêa Jordão

Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Ivanildo Amorim de Oliveira  
Laércio Santos Silva  
Ludmila de Freitas  
Romário Pimenta Gomes  
Elilson Gomes de Brito Filho  
Bruno Campos Mantovanelli

**DOI 10.22533/at.ed.20021070713**

**CAPÍTULO 14.....206**

**SPATIAL VARIATION OF CHEMICAL ATTRIBUTES IN ARCHAEOLOGICAL DARK EARTH UNDER COCOA CULTIVATION IN WESTERN AMAZON**

Ronerés Deniz Barbosa  
Alan Ferreira Leite de Lima  
Elilson Gomes de Brito Filho  
Milton César Costa Campos  
José Maurício da Cunha  
Bruno Campos Mantovanelli  
Douglas Marcelo Pinheiro da Silva  
Fernando Gomes de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.20021070714**

**CAPÍTULO 15.....225**

**VARIABILITY AND SPATIAL CORRELATION OF AGGREGATES AND ORGANIC CARBON IN INDIAN DARK EARTH IN APUÍ REGION, AM**

Romário Pimenta Gomes  
Milton César Costa Campos  
Wildson Benedito Mendes Brito  
José Maurício da Cunha  
Laércio Santos Silva  
Ivanildo Amorim Oliveira  
Ludmila de Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.20021070715**

**SOBRE OS ORGANIZADORES .....239**

# CAPÍTULO 9

## ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM ÁREAS DE TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM E FEIJÃO GUANDU EM NOVO ARIPUANÃ, AM

*Data de aceite: 18/05/2021*

*Data de submissão: 11/05/2021*

### **José Maurício da Cunha**

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0003-4057-1708>

### **Denilton Carlos Gaio**

Instituto de Física – Universidade Federal do  
Mato Grosso  
Cuiabá – Mato Grosso  
<https://orcid.org/0000-0002-1905-4530>

### **Milton César Costa Campos**

Centro de Ciências Agrárias – Universidade  
Federal da Paraíba  
Areia - Paraíba  
<https://orcid.org/0000-0002-8183-7069>

### **Marcelo Dayron Rodrigues Soares**

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0003-2942-5320>

### **Douglas Marcelo Pinheiro da Silva**

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<http://orcid.org/0000-0001-8147-5726>

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

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente -  
Universidade Federal do Amazonas  
Humaitá – Amazonas  
<https://orcid.org/0000-0001-7959-8778>

**RESUMO:** Para se avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade em ambientes de Terra Preta Arqueológica da Amazônia, é importante a caracterização dos impactos de uso de solo dos diferentes tipos de cobertura. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos e o carbono orgânico em áreas de Terra Preta Arqueológica, no município de Novo Aripuanã, AM, sob os cultivos feijão guandu (*Cajanus cajan*) e pastagem, em comparação com a cobertura de floresta, com base em técnicas de estatística tradicional univariada e multivariada e de geoestatística. Para isso foram delimitadas malhas com espaçamentos regulares e 88 pontos amostrais georreferenciados por malha. Foram coletadas amostras em blocos de solo com estrutura preservada e anéis volumétricos, para a determinação das propriedades físicas e do carbono orgânico do solo. O feijão guandu e pastagem diferem estatisticamente da floresta, que apresentaram características de estabilidade dos agregados acima da média, mas características texturais e carbono orgânico abaixo da média. O modelo exponencial, pelo semivariograma escalonado, mostrou que atributos físicos do solo apresentaram predominância, com grau de dependência de forte a moderado, sendo a área sob feijão guandu com maior variabilidade dos atributos do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aripuanã, química e física do solo, TPA sob floresta, usos do solo.

## PHYSICAL ATTRIBUTES AND CARBON STOCK OF SOILS OF ARCHAEOLOGICAL DARK EARTH OF THE AMAZONIA

**ABSTRACT:** In order to evaluate soil quality and sustainability in Amazon Archaeological Dark Earth environments, it is important to characterize the impacts of the use of different cover types. The objective of this work was therefore to evaluate the physical attributes and organic carbon content in areas of “Terra Preta Arqueológica”, in the municipality of Novo Aripuanã, AM, under the cultivation of pigeon pea (*Cajanus cajan*) and pasture, in comparison with forest cover, based on traditional univariate and multivariate statistical techniques and geostatistics. In order to accomplish this, grids with regular spacing and samples with 88 georeferenced points per grid were delimited. Samples of soil blocks with preserved structure and volumetric rings were collected to determine physical properties and organic carbon content. The pigeon pea and pasture soils differ statistically from that of the forest and presented above-average aggregate stability, but texture and organic carbon characteristics were below average. The exponential model showed that the physical attributes of the soil predominated, with a strong to moderate degree of dependence, with the area under pigeon pea presenting the greatest variability of soil attributes.

**KEYWORDS:** Aripuanã, land use, TPA under forest.

### 1 | INTRODUÇÃO

As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são solos cuja característica marcante é a presença de coloração escura e artefatos cerâmicos e/ou líticos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (KÄMPF E KERN, 2005). Elas apresentam uma elevada fertilidade natural incorporada à matriz do horizonte, sendo encontrada na região Amazônica em forma de manchas em meio a uma vasta extensão de terra que, na grande maioria, extremamente pobre em nutrientes.

Muitas dessas áreas são substituídas por atividades voltadas para fins industriais ou produção de alimentos. No entanto, solos preservados em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresentam características físicas adequadas ao desenvolvimento das plantas (CALONEGO et al., 2012). Os usos de práticas agrícolas inadequada e de forma intensiva promovem alterações em suas propriedades originais (ROZANE et al., 2010; VIANA et al., 2011; Rossetti e CENTURION, 2015), que por sua vez, a gestão dos solos de forma sustentável, com práticas de conservações apropriadas, é necessária a fim de que se possa evitar sua maior degradação (WHITE et al., 2012).

Normalmente solos em ambientes naturais, por não sofrer interferência humana, apresentam menores densidade do solo e maiores volumes total de poros (CALONEGO et al., 2012), sendo que a densidade do solo apresenta correlação positiva com a microporosidade e negativa com a macroporosidade e porosidade total (CUNHA et al., 2011), fatores que influenciam no processo de compactação do solo (SILVEIRA et al., 2010).

Outros atributos usados para avaliar a qualidade física do solo são a resistência do solo a penetração (RP) e a umidade do solo, que por sua vez estão relacionados com

crescimento e desenvolvimento radicular das plantas (Silveira et al., 2010). Em solos de ambientes naturais, foi observado menor RP em relação ao solo cultivado, ou seja, a densidade do solo é maior sob as plantas de cobertura, que reflete na maior resistência do solo à penetração, que por sua vez, tem apresentado correlação negativa com o teor de carbono orgânica no solo (CUNHA et al., 2011; SILVA et al., 2012).

A matéria orgânica tem influência direta e indiretamente aos atributos do solo (VIANA et al., 2011) e o seu estudo em agro-ecossistema brasileiro é base para que se alcance a sustentabilidade agrícola (CUNHA et al., 2011). É sabido também que práticas de uso e manejo dos solos, e suas variações, interferem no equilíbrio natural dos ecossistemas, alterando os componentes orgânicos tanto em quantidade como em qualidade (MELO E SCHAEFER, 2009). Por outro lado, o teor de carbono orgânico do solo sob floresta é maior do que em solos adjacentes que por sua vez favorece na estrutura do solo (SILVA et al., 2008; ANDRADE et al., 2009).

O uso de práticas agrícolas tem efeito direto sobre os atributos físicos do solo, além de expressivas interferências no teor de carbono orgânico do solo (MATOS et al., 2008; ROZANE et al., 2010; IORI et al., 2012). Nesse sentido, a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo, em ambientes naturais e transformados, torna-se importante para o entendimento dos processos de evolução a formação do solo e variações desses atributos para diferentes sistemas de uso e manejo do solo (OLIVEIRA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015a; AQUINO et al., 2015).

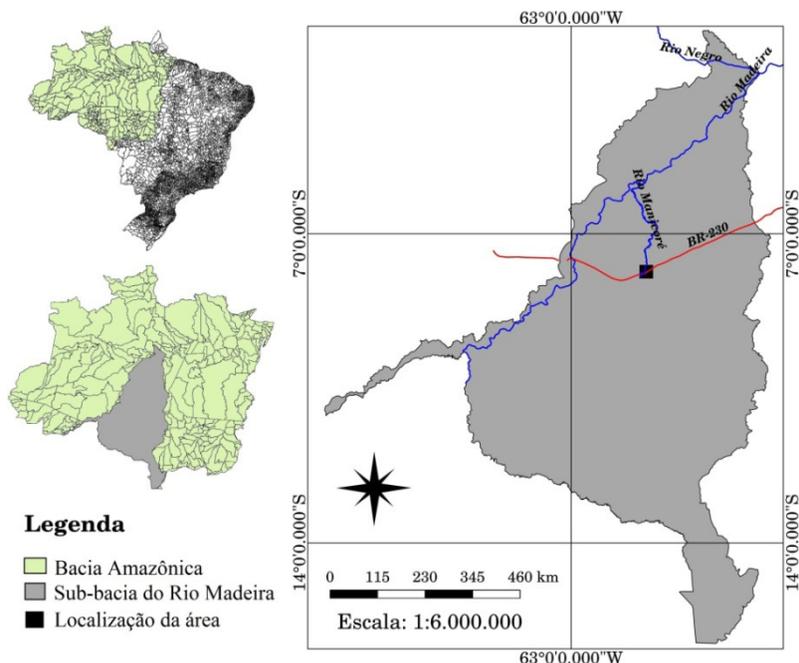
Há a necessidade de estudos relacionados aos atributos do solo de TPAs quanto a suas modificações em determinados usos e manejos dos solos, principalmente quando se compara com ambientes sob floresta. Pesquisa tem avaliado os atributos do solo sobre diferentes ambientes em relação ao uso do solo sobre TPA (OLIVEIRA et al., 2015b), identificando comportamento muito característico dos atributos do solo em ambientes de TPA. No entanto, não há estudos relacionados aos atributos do solo sobre o uso de TPA em comparação aos ambientes de floresta preservados em áreas de TPA.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos e o estoque de carbono em áreas de Terra Preta Arqueológica sob os cultivos feijão Guandu (FJ) (*Cajanus cajan*) e pastagem (PT), em comparação com a área de floresta (FN), utilizando técnicas de estatística tradicional univariada e multivariada e da geoestatística.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo localizou-se no município de Novo Aripuanã (Figura 1), Amazonas, Brasil, entre agosto de 2014 a julho de 2016, situado ao longo da rodovia Transamazônica (BR-230). O clima da região é Clima Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade média varia entre 2,250 e 2,750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro a junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 27°C

e a umidade relativa fica entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).



### Floresta



### Feijão guandu



### Pastagem



Figura 1. Localização da área de estudo.

A área de TPA sob floresta natural (FN) vem sendo preservado a mais de vinte e cinco anos, com início de recuperação florestal natural com árvores de porte mediano, chegando a apresentar de até quinze metros de altura. Já os usos de TPAs sob cultivo de feijão Guandu (*Cajanus cajan*) (FJ) e pastagem *Brachiaria brizanta* (PT), abrigou nos últimos vinte e cinco anos os cultivos milho, feijão e melancia. Nos últimos oito meses, foi inserido o pasto para atividades de pecuária, preservando uma área do feijão Guandu.

Foram delimitadas três malhas amostrais com 88 pontos de coleta de material por malha, sendo 90 pontos de coleta da área do feijão Guandu. As dimensões das malhas foram de 2.500 m<sup>2</sup> para a FN, 1.700 m<sup>2</sup> para o FJ e 4.800 m<sup>2</sup> para a PT, com espaçamentos regulares entre os pontos de coleta do solo de 6 x 6 m, de 4 x 5 m e de

8 x 8 m, respectivamente. A escolha das dimensões das malhas foi definida no campo, conforme avaliada as dimensões da área de TPA e a respectiva cobertura representativa do solo. Foi coletados blocos de solos com estrutura preservada e anéis volumétricos nas camadas 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, para a determinação das propriedades físicas estruturais, granulométricas e mecânicas do solo, assim como a matéria orgânica. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para o mapeamento das áreas, e posteriormente utilizado nas análises geoestatística.

As amostras com estrutura preservada em forma de torrão de solo foram secadas à sombra e posteriormente destorroadas, de forma manual, e passadas em peneira de 9,51 mm de diâmetro e retidas na peneira de 4,76 mm, para as análises relativas à estabilidade de agregados. As amostras retidas na peneira de 2,00 mm foram utilizadas nas análises granulométricas e de matéria orgânica, após passadas em peneira de 250 µm.

O método empregado para a separação e estabilidade dos agregados foi determinado segundo Kemper e 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 mm; 0,125-0,063mm. Os agregados foram colocados em contato com a água sobre a peneira de 2,00 mm e submetidos à agitação vertical em aparelho Yoder (SOLOTEST, Bela Vista, São Paulo, Brasil) por 15 min. Os materiais retidos em cada classe de peneira foram colocados em estufa a 105° C, e em seguida mensurada as respectivas massas em uma balança digital.

Os resultados foram expressos em termos da porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras e a estabilidade dos agregados avaliados pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), definido por:

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

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

sendo:

$n_i$  = % dos agregados retidos em uma determinada peneira;

$D_i$  = diâmetro médio de uma determinada peneira;

N = número de classes de peneiras.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução normal de NaOH 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 por diferença.

Para as determinações da densidade do solo (Ds), macroporosidade (MaP) e microporosidade (MiP), volume total de poros (VTP) e umidade gravimétrica (Ug), as amostras de anéis volumétricos foram saturadas por meio da elevação gradual 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, sendo submetidas a uma tensão de 0,006 MPa (Embrapa, 2011).

Após atingirem o equilíbrio em um potencial matricial de 0,006 MPa, as amostras foram novamente pesadas e, em seguida, foram feitas as medidas da resistência do solo à penetração (RP), utilizando-se um penetrógrafo eletrônico modelo MA-933, marca Marconi. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105° C para a determinação da Ug, Ds e VTP, pelo método do anel volumétrico, e a MaP foi determinada pela diferença entre VTP e MiP (Embrapa, 2011).

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans e Bremner (1988). A matéria orgânica é determinado pelo produto do CO com 1,724 (Embrapa, 2011). Já o estoque de carbono (EC) é definido pela equação 3 :

$$EC = Ds \times h \times CO \quad (3)$$

onde: EC = estoque de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>); Ds = densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>); h é a espessura da camada de solo amostrada (cm); CO = teor de C (%).

Após a determinação dos atributos físicos e da matéria orgânica do solo, foram feitas análise estatística univariada e multivariada. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para comparar médias dos atributos individualmente utilizando do teste de Tukey, tendo como referência a área de TPA sob floresta. Em seguida foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial e de agrupamento, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, 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 (5). A escolha do número de fatores a ser utilizados foi feito 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 análise geoestatística foi feita com base no semivariograma experimental, estimado pela equação abaixo:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

sendo  $\hat{\gamma}(h)$  o valor da semivariância para uma distância h; n(h) o número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; Z(x<sub>i</sub>) o valor do atributo Z na posição x<sub>i</sub>; e Z(x<sub>i</sub> + h) o valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x<sub>i</sub>.

A análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão  $\left[\frac{C_0}{C_0+C_1}\right]$  for  $\leq 25$ . Se essa razão estiver entre 26% a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que se a propriedade do solo for maior que 75% a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

Com base nos parâmetros dos semivariogramas experimentais dos atributos do solo, foram utilizados os semivariogramas escalonados com o objetivo de reduzi-los à mesma escala, facilitando a comparação entre resultados de diferentes variáveis (Ceddia et al., 2009). A escolha do modelo de semivariograma escalonado foi utilizada pelo menor resíduo. Os modelos utilizados nos ajustes do semivariograma escalonado foram o esférico (Equação 5) e o exponencial (Equação 6), definidos por:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], \text{ se } 0 < h < a \quad (5)$$

$$C_0 + C_1, \text{ se } h \geq a$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 = \left[ 1 - \exp \left( -3 \frac{h}{a} \right) \right], 0 < h < d \quad (6)$$

em que  $C_0$  é o efeito pepita;  $C_0 + C_1$  é o patamar;  $[(C_0/(C_0 + C_1)) \times 100]$  é o grau de dependência espacial (GDE);  $h$  é a distância de separação entre duas observações; e  $A$  é o alcance do semivariograma. O ajuste do semivariograma foi feito com base no melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e menor soma dos quadrados dos resíduos (SQRes).

A análise estatística ANOVA e MANOVA foi feita no programa computacional StatSoft, (2004), enquanto que a análise geoestatística foi utilizado o programa GS+ 7.0 (ROBERTSON, 1998).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva para os atributos em comparação aos usos do solo em áreas Terra Preta Arqueológica (TPA) é apresentada nas Tabelas 1, 2 e 3, para as respectivas camadas 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Os coeficientes de assimetria apresentaram valores próximos à zero, com exceção das classes de agregados  $< 1,00$  mm para o uso de TPA sob pastagem, nas camadas 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m. Os resultados tendem a apresentar valores simétricos nos ambientes em estudo. Já o coeficiente de curtose, boa parte dos atributos apresentaram uma distribuição platicúrtica (distribuição mais achatada que a distribuição normal).

As medidas de média e mediana, devido aos dados apresentar uma distribuição simétrica, ambos mostraram valores muito próximo para todos os atributos e em suas respectivas camadas, o que justifica distribuições normais ou aproximadamente normais.

Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, mostraram-se variações entre os ambientes e propriedades nas respectivas camadas. Mesmo assim, erros de análises em relação aos testes de hipóteses são mínimos, quando avaliados em relação a uma distribuição normal. Por outro lado, a normalidade dos dados não é um pressuposto necessário para a aplicação de técnica geoestatística, mas sim que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer a análise (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989; CRESSIE, 1991).

Os atributos granulométricos apresentaram diferença significativa entre os ambientes estudados e com dominância na fração de areia, em contraste a resultados encontrados por Oliveira et al. (2015a), que evidenciou áreas de TPA sob cultivo com dominância na fração silte para a camada de 0,00-0,20 m. A área de TPA sob floresta evidenciou menores teores de areia para as três profundidades, e maiores teores de silte e argila, com exceção da fração argila na camada 0,10-0,20 m, obtendo com isso menor valor.

No estudo de gênese do solo, a fração silte passa a constituir como o indicador pela ação de intemperismo, o que pudemos constatar solos de formação mais jovens que os propostos por Oliveira et al. (2015a).

Por outro lado, os maiores teores de areia sob as áreas de feijão guandu e pastagem se devem provavelmente a fortes chuvas que promovem grandes enxurradas, por essas apresentarem áreas mais abertas, com impacto das gotas de chuva sobre o solo em relação à área sob floresta. A presença de cobertura no solo atua na interceptação das gotas de chuva e evita o desprendimento das partículas do solo. Chuvas de grande intensidade causam maior desagregação do solo e, normalmente, originam escoamento superficial, sendo as partículas menores de solo são mais fáceis de serem transportadas (VOLK & COGO, 2009).

Interações significativas entre os sistemas de uso do solo foram verificadas para as propriedades físicas  $D_s$ , MaP, MiP, VTP e Ug, indicando que o uso do solo pouco afetou nas variações dessas propriedades (Tabelas 1, 2 e 3), para a camada entre 0,00-0,05 m, mas houve mudanças de comportamento aos demais atributos e em camadas subsequentes, com exceção do VTP, CO e EC na camada 0,10-0,20 m. Por outro lado, na camada de 0,00-0,05 m, o solo mantido sob pastagem apresentou-se menos compactada, com menor valor de  $D_s$ , além de maiores valores do VTP em relação ao TPA sob floresta e feijão guandu. Mesmo assim, a  $D_s$  não diferiu muito em relação ao sistema de uso do solo dentro da mesma camada (0,00-0,05 m), mas houve alterações para as camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, com menor valor de  $D_s$  para o uso sob floresta, não havendo diferença entre os sistemas de uso sob feijão guandu e pastagem (Tabelas 1, 2 e 3).

A ausência de práticas agressivas ao solo em florestas naturais afeta diretamente a estrutura do solo, com baixos valores de  $D_s$  (CALONEGO et al., 2012). Além disso, os mesmos autores afirmam que tanto os altos valores da MO quanto os elevados valores do VTP reduzem também os valores de  $D_s$ . Resultados semelhantes foram encontrados para

solos não antropogênicos sob o horizonte A (CAMPOS et al., 2012; SANTOS et al., 2013), mas que apresentaram valores muito baixo em solos antropogênicos (em TPA). Esse fato pode estar relacionado ao tipo de solo, com características físicas que diferem em relação aos perfis do solo para determinados atributos. Em trabalho realizado por Santos et al. (2011), os autores verificaram valores semelhantes da Ds em TPA com perfil de Neossolo Litólico sob o uso de pastagem, mas com valores baixos em comparação com outros perfis.

Estatística Descritiva	Ds	MaP	MiP	VTP	Ug	RP	CO	EC	DMG	DMP	Classes %			Areia	Silte	Argila
	mg m <sup>-3</sup>			%		MPa	g kg <sup>-3</sup>	t ha <sup>-1</sup>		mm	>2,00 g kg <sup>-1</sup>	2,00-1,00	<1,00			
Floresta																
Média	1,27 A	26,50 A	30,90 A	57,40 A	24,40 A	0,40 B	22,96 B	145,80 B	2,74 A	3,10 A	91,19 A	1,29 B	8,05 B	701,10 B	203,40 A	95,50 A
Mediana	1,27	26,10	30,70	57,50	24,30	0,37	22,17	141,70	2,76	3,10	91,17	1,17	7,43	697,30	199,50	94,60
DP	0,08	3,59	2,19	3,30	2,40	0,13	4,50	25,80	0,26	0,12	3,96	0,73	3,88	27,40	27,60	16,02
CV (%)	6,30	13,55	7,09	5,75	9,84	32,50	19,60	17,82	9,49	3,87	4,34	56,59	48,20	3,91	13,57	16,77
Assimetria	0,05	0,11	0,16	-0,03	0,54	0,46	0,29	0,40	-0,58	-0,57	-0,56	0,65	0,82	-0,15	-0,05	-0,03
Curtose	0,17	-0,16	0,00	0,02	0,68	-0,02	-0,53	-0,02	-0,22	-0,29	-0,29	-0,21	0,35	0,00	-0,38	-0,50
K-S	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,03	0,20	0,20	0,06	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Feijão Guandu																
Média	1,26 A	26,40 A	30,80 A	57,20 A	24,90 A	0,49 A	33,93 A	213,76 A	2,24 B	2,80 B	80,86 B	2,58 A	17,36 A	732,50 A	194,90 A	72,60 B
Mediana	1,26	27,00	30,80	57,02	24,70	0,44	33,02	210,30	2,29	2,90	83,55	2,54	14,58	734,60	192,50	72,40
DP	0,14	5,40	3,30	4,70	3,80	0,21	7,34	40,90	0,58	0,37	12,26	1,58	11,41	39,40	35,21	18,50
CV (%)	11,11	20,45	10,71	8,22	15,26	42,86	21,63	19,35	25,89	13,21	15,16	61,24	65,73	5,38	18,07	25,48
Assimetria	-0,04	-0,36	0,19	0,12	0,40	0,78	0,04	-0,14	-0,24	-0,63	-0,60	0,66	0,59	-0,24	0,22	0,16
Curtose	-0,43	-0,27	-0,22	-0,22	-0,08	0,30	-0,33	0,00	-1,09	-0,40	-0,51	-0,04	-0,55	-0,41	-0,14	-0,15
K-S	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,01	0,20	0,20	0,00	0,00	0,01	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20
Pastagem																
Média	1,22 A	27,70 A	30,90 A	58,60 A	25,30 A	0,49 A	22,77 B	138,90 B	2,64 A	3,10 A	90,86 A	0,93 C	8,47 B	741,40 A	180,50 B	78,10 B
Mediana	1,22	28,30	31,10	58,30	25,30	0,44	22,51	133,30	2,65	3,11	91,85	0,80	7,34	745,60	180,40	78,00
DP	0,10	6,60	3,60	4,50	2,60	0,22	4,25	28,40	0,26	0,13	4,33	0,56	4,28	29,40	34,30	18,97
CV (%)	8,20	23,83	11,65	7,68	10,28	44,90	18,66	20,42	9,85	4,19	4,77	60,22	50,53	3,97	19,00	24,29
Assimetria	0,06	-0,22	0,40	0,16	0,12	0,68	0,27	0,49	-0,48	-1,00	-1,00	0,60	1,17	-0,42	-0,25	0,08
Curtose	-0,16	-0,36	-0,40	-0,72	-0,51	0,01	-0,35	-0,02	-0,18	0,67	0,65	-0,51	0,85	0,22	-0,06	-0,25
K-S	0,20	0,20	0,01	0,20	0,20	0,06	0,20	0,20	0,20	0,01	0,01	0,04	0,01	0,08	0,20	0,20

Dp: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros; Ug: umidade gravimétrica; RP: resistência do solo à penetração; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 1. Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,00-0,05 m para as áreas com diferentes usos na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds	MaP	MiP	VTP	Ug	RP	CO	EC	DMG	DMP	Classes %			Areia	Silte	Argila
	mg m <sup>-3</sup>	%				Mpa	g kg <sup>-3</sup>	t ha <sup>-1</sup>	Mm		>2,00	2,00-1,00	<1,00			
Floresta																
Média	1,36 B	23,31 A	28,00 C	51,32 A	20,59 C	0,40 C	23,28 A	158,30 A	2,06 B	2,66 B	75,95 B	4,54 A	19,51 A	701,34 C	195,89 A	102,77 A
Mediana	1,37	23,48	28,08	51,16	20,70	0,39	24,00	161,47	2,09	2,75	79,04	3,97	17,40	698,40	195,05	103,21
DP	0,07	2,95	2,11	3,04	2,09	0,12	4,97	30,29	0,45	0,34	11,70	2,57	9,54	39,64	36,31	14,71
CV (%)	5,29	12,66	7,54	5,92	10,15	30,00	21,35	19,18	21,84	12,78	15,40	56,61	48,90	5,65	18,54	14,31
Assimetria	-0,13	-0,05	0,15	-0,16	0,00	0,12	0,02	0,03	-0,29	-0,55	-0,52	0,72	0,65	0,25	-0,13	-0,32
Curtose	0,26	-0,02	-0,46	-0,51	-0,56	-0,05	-0,23	-0,37	-0,87	-0,80	0,87	-0,31	-0,60	-0,33	-0,42	0,06
K-S	0,20	0,09	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,07	0,07	0,02	0,02	0,02	0,01	0,20	0,20	0,20
Feijão Guandu																
Média	1,43 A	19,54 B	31,58 B	51,13 A	22,25 B	0,66 B	17,55 B	125,48 B	2,27 A	2,80 A	80,70 A	3,40 B	15,93 B	768,73 A	145,22 C	86,07 B
Mediana	1,45	19,29	31,49	50,37	21,48	0,64	17,42	123,29	2,36	2,90	84,31	2,79	13,28	773,95	150,07	82,98
DP	0,10	4,28	3,41	3,83	3,16	0,20	4,75	32,41	0,46	0,32	10,94	2,28	9,06	39,39	40,39	25,20
CV (%)	6,99	21,90	10,80	7,49	14,20	30,30	27,07	26,10	20,26	11,43	13,56	67,06	56,87	5,12	27,81	29,28
Assimetria	-0,58	0,36	0,20	0,62	0,59	0,54	0,12	0,10	-0,47	-0,82	-0,78	0,84	0,94	-0,28	-0,11	0,22
Curtose	0,09	-0,04	-0,72	0,11	-0,29	0,03	0,24	0,43	-0,61	-0,29	-0,40	-0,17	0,03	-0,28	0,16	-0,41
K-S	0,01	0,09	0,20	0,19	0,03	0,20	0,05	0,20	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,20	0,20
Pastagem																
Média	1,41 A	15,75 C	33,81 A	49,36 B	23,97 A	0,77 A	21,90 A	154,39 A	2,32 AB	2,87 A	83,35 A	2,21 C	14,44 B	745,19 B	173,70 B	81,11 B
Mediana	1,41	15,90	33,61	49,31	24,10	0,72	22,80	156,24	2,36	2,93	85,39	1,95	12,69	740,37	171,99	78,80
DP	0,09	4,50	3,14	3,54	2,75	0,24	5,95	42,52	0,50	0,31	10,53	1,50	9,02	27,42	31,50	17,05
CV (%)	6,38	28,57	9,29	7,17	11,47	31,17	27,17	27,61	21,55	10,80	12,63	67,87	62,49	3,68	18,13	21,02
Assimetria	0,00	0,07	0,11	0,43	0,04	0,71	-0,12	0,03	-0,47	-0,97	-0,96	0,91	1,00	0,25	0,05	0,63
Curtose	-0,25	-0,37	-0,17	-0,07	-0,85	-0,23	-0,95	-0,84	-0,60	0,39	0,38	0,46	0,48	-0,13	-0,89	-0,07
K-S	0,20	0,20	0,20	0,20	0,04	0,02	0,20	0,20	0,20	0,02	0,01	0,03	0,00	0,20	0,01	0,20

Dp: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros; Ug: umidade gravimétrica; RP: resistência do solo à penetração; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2. Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,05-0,10 m para as áreas com diferentes usos na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

Estatística Descritiva	Ds	MaP	MiP	VTP	Ug	RP	CO	EC	DMG	DMP	Classes %			Areia	Silte	Argila
											>2,00	2,00-1,00	<1,00			
	mg m <sup>-3</sup>			%		MPa	g kg <sup>-3</sup>	t ha <sup>-1</sup>	Mm			g kg <sup>-1</sup>				
Floresta																
Média	1,37 B	22,29 A	28,20 C	50,49 A	20,74 B	0,38 C	18,07 A	247,56 A	1,34 B	1,98 B	52,37 B	8,76 A	38,87 A	718,74 B	194,02 A	87,24 B
Mediana	1,37	22,30	28,35	50,62	20,62	0,37	17,69	247,40	1,26	2,00	53,56	8,20	38,67	726,16	191,57	86,59
DP	0,09	3,11	2,66	3,77	2,94	0,10	6,53	82,43	0,47	0,51	17,22	3,32	15,25	37,79	37,79	13,16
CV (%)	6,57	13,95	9,43	7,47	14,18	26,32	36,14	33,74	35,07	25,76	32,88	37,90	39,23	5,26	19,48	15,08
Assimetria	-0,22	0,10	0,17	-0,14	0,18	0,00	-0,12	-0,17	0,37	-0,19	-0,11	0,47	0,35	-0,59	0,22	0,16
Curtose	-0,50	0,00	-0,94	-0,49	-0,99	-0,66	-0,68	-0,44	-0,43	-0,64	-0,75	0,00	-0,41	-0,21	-0,75	-0,33
K-S	0,20	0,20	0,20	0,20	0,08	0,20	0,08	0,20	0,00	0,20	0,20	0,03	0,20	0,03	0,20	0,20
Feijão																
Média	1,48 A	18,58 B	31,28 B	49,86 A	21,26 AB	0,55 B	17,38 A	257,22 A	1,40 AB	2,02 B	54,20 B	7,73 B	38,12 AB	764,95 A	137,64 B	97,41 A
Mediana	1,47	18,29	30,19	49,86	20,69	0,53	14,82	217,80	1,31	2,01	53,08	7,73	37,44	775,05	130,99	101,64
DP	0,09	4,82	4,11	2,91	3,37	0,18	8,42	119,02	0,53	0,56	18,97	3,10	16,74	34,20	41,27	23,12
CV (%)	6,08	25,94	13,14	5,84	15,85	32,73	48,45	46,77	37,86	27,72	35,00	40,10	43,91	4,47	29,98	23,73
Assimetria	0,17	0,06	0,31	-0,22	0,63	0,36	0,76	0,75	0,34	-0,22	-0,16	0,47	0,36	-0,80	0,65	-0,40
Curtose	-0,26	-0,83	-0,23	-0,76	-0,09	-0,27	-0,27	-0,27	-0,54	-0,73	-0,82	0,35	-0,52	0,31	-0,06	-0,12
K-S	0,20	0,20	0,20	0,20	0,17	0,20	0,00	0,00	0,20	0,20	0,18	0,20	0,20	0,00	0,01	0,20
Pastagem																
Média	1,46 A	16,29 C	32,88 A	49,17 A	22,61 A	0,65 A	18,35 A	267,91 A	1,55 A	2,24 A	61,92 A	5,77 C	32,31 B	762,22 A	146,61 B	91,17 B
Mediana	1,47	16,23	32,85	49,34	22,61	0,65	18,52	270,28	1,45	2,25	62,11	5,97	32,18	760,33	146,67	94,08
DP	0,08	3,92	2,95	3,68	2,63	0,18	4,83	65,28	0,61	0,58	19,35	3,26	16,75	27,85	32,63	21,04
CV (%)	5,48	24,06	8,97	7,48	11,63	27,69	26,32	24,59	39,35	25,89	31,25	56,50	51,84	3,65	22,26	23,08
Assimetria	-0,06	0,11	0,39	0,00	0,17	0,32	0,04	0,11	0,27	-0,39	-0,34	0,06	0,48	0,26	0,06	-0,41
Curtose	-0,51	-0,62	-0,08	-0,23	-0,43	0,13	-0,31	0,00	-0,96	-0,48	-0,56	-1,12	-0,31	-0,39	-0,48	-0,17
K-S	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,06	0,17	0,20	0,19	0,01	0,17	0,20	0,04

Dp: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); K-S: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros; Ug: umidade gravimétrica; RP: resistência do solo à penetração; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 3. Teste de média e estatística descritiva dos atributos do solo na profundidade de 0,10-0,20 m para as áreas com diferentes usos na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

Também não houve diferença significativas entre a MaP com os sistemas de uso na camada entre 0,00-0,05 m, que apresentou comportamento semelhante da MiP. No entanto, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, observou-se maiores valores para a

MaP sob o uso de floresta natural e de MiP sob o uso de pastagem, corroborando assim com os valores do VTP para os sistemas de uso do solo, que apresentaram maiores valores em floresta, apesar de haver diferença significativa apenas na camada entre 0,05-0,10 m, com menor valor no sistema de uso sob pastagem.

Esses resultados demonstram que os sistemas de uso do solo contribuem efetivamente para a melhora das condições físicas do solo, promovendo redução da Ds em relação à área de floresta. Resultados semelhantes também foram verificados por Cunha et al. (2011), em avaliar os atributos físicos de solo cultivado com feijão e milho orgânicos sob a influência das plantas de cobertura, que apresentaram, em solo sob mata nativa, menores valores de Ds e MiP e maiores valores de MaP e VTP. Para os autores, essas condições foram propícias devido ao solo não sofrer o trânsito de máquinas e equipamentos ou animais.

Em relação à resistência do solo à penetração (RP), houve diferença significativa sob os sistemas de uso do solo para as três camadas, cujos menores valores da RP estão associados ao uso sob floresta. Esses resultados corroboram também para o baixo valor da Ug e Ds sob a mesma área, apesar de não haver diferença significativa de Ug em relação aos sistemas de uso na camada 0,00-0,05 m. Em estudo sobre a relação entre a umidade do solo e a resistência à penetração de um Argissolo Amarelo distrocoeso na região do Recôncavo da Bahia, Silveira et al. (2010) constataram que solos com baixo conteúdo de água, apresentam partículas mais próximas e difíceis de serem separadas, com o aumento da RP. O solo sob floresta apresentou valores de RP menores que 0,50 MPa nos 0,20 m de profundidade, diferindo dos solos manejados, que apresentaram solos menos compactados apenas nos primeiros 0,05 m de profundidade. Mesmo assim, esses valores ainda são muito baixos se considerarmos os valores limites definidos do Tavares Filho e Tessier (2009) para solos compactados (RP de 2,0 MPa). Em solos de TPA sob o uso de pastagem, verificou-se valores acima de 2,0 MPa para uma camada de 0,0-0,05 mm (SOARES et al., 2015) que, segundo os autores, justifica-se pela compactação do solo devido ao pisoteio animal.

Tanto o CO quanto o EC (Tabelas 1, 2 e 3) houve alterações para os respectivos usos do solo, com maiores valores sob o uso de feijão Guandu na camada 0,00-0,05 m, passando a ter menor valor na camada 0,05-0,10 m, não havendo diferença estatística entre os usos na camada 0,10-0,20 m. Os valores altos de CO sob feijão Guandu na camada 0,00-0,05 m devem estar associados à elevada cobertura vegetal, com mais de oito meses de plantio sem sofrer práticas intensivas no solo e trânsitos de animais.

Altas concentrações de cobertura vegetal verificadas *in loco* sob o uso do feijão Guandu pode ter favorecido aos maiores teores de CO. Esse resultado difere do proposto por Rossetti et al. (2015), ao determinar o efeito do sistema plantio direto sobre o estoque de carbono e atributos físicos do solo cultivados com soja e milho, e comparação com a mata nativa, identificaram maior concentração de MO sob mata nativa em relação aos

demais tratamentos, ao qual os autores associam à deposição contínua de serrapilheira, além da ausência de ação antrópica.

Sob os respectivos usos do solo, o DMG e DMP diferiram estatisticamente, dando maiores valores sob o uso de floresta para a camada 0,00-0,05 m, e sob o uso de pastagem para as camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. No entanto, não foram confirmadas correlações significativas entre o DMG/DMP com os atributos CO e EC nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, com exceção sob o uso de feijão Guandu na camada 0,05-0,10 m, que obteve correlações positivas para o CO (0,25 e 0,27, respectivamente).

Por outro lado, na camada 0,10-0,20 m, houve correlações significativas entre o DMG/DMP com o CO e EC, com valores de coeficiente de correlação definidos em: 0,39/0,39 e 0,38/0,38, respectivamente, para o uso sob floresta; de 0,36/0,36 e 0,35/0,35, respectivamente, sob o uso sob pastagem; e de 0,30/0,30 e 0,27/0,27, respectivamente, sob o uso de feijão Guandu. Correlações positivas do DMG e DMP com o carbono orgânico foram verificadas por Rozane et al. (2010), indicando sua importância na agregação do solo. Esses resultados também corroboram com os Matos et al. (2008), quando avaliaram a estabilidade de agregados sobre o impacto da adubação orgânica e mineral sobre o solo. O fato de haver perda de correlação dos atributos DMG e DMP com o CO e EC nas camadas mais superficiais, pode ser explicado por práticas como a aração, gradagem e o pisoteio do gado, que promovem a desestruturação dos agregados e a oxidação da matéria orgânica, além do revolvimento do solo para camadas mais profundas.

Na análise multivariada, foi possível observar os atributos do solo que sofreu maior alteração quando ao uso do solo, em comparação a área sob floresta. A adequação da análise fatorial mostrou-se significativo (KMO igual a 0,78 e  $p < 0,05$  para o teste de esfericidade de Barlett) para os atributos avaliados. Na análise de componentes principais (ACP), o número de fatores a ser extraído foi estabelecido de forma a explicar acima de 70% da variância total dos dados (Tabela 4 e Figura 2), que apresentaram autovalores da matriz de covariância superior a um (1) (Manly, 2008), com 4,71 na CP1 e 3,80 na CP2. Do percentual da variância explicada, observou-se que a CP1 é responsável por 42,79% da variância total, enquanto que a CP2 é responsável por 34,54%.

Atributos	Variância Comum	Fatores	
		PC1	PC2
Ds	0,79	-0,15	-0,86*
VTP	0,75	0,09	0,80*
Ug	0,61	0,25	0,74*
CO	0,44	0,19	0,67*
Areia	0,88	0,08	-0,82*
Silte	0,88	0,03	0,85*
DMG	0,91	0,95*	0,11
DMP	1,00	0,99*	0,09
>2,00 mm	1,00	0,99*	0,08
2,00-1,00 mm	0,77	-0,88*	0,06
<1,00 mm	0,99	-0,97*	-0,11
Variância explicada (%)		42,79	34,54

Ds: densidade do solo; MaP: macroporosidade; MiP: microporosidade; VTP: volume total de poros; Ug: umidade gravimétrica; RP: resistência do solo à penetração; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; >2,00 mm (%): classe de agregados maior que 2,00 milímetros; 2,00-1,00 mm: classe de agregados entre 2,00 e 1,00 milímetros; <1,00 mm (%)= classe de agregados menor que 1 milímetros.

Tabela 4. Correlação entre cada componente principal e variáveis analisadas e análise fatorial dos atributos do solo com os fatores rotacionados (Varimax) (Fator 1 e 2) correspondentes aos ambientes estudados, na região de Novo Aripuanã, Amazonas.

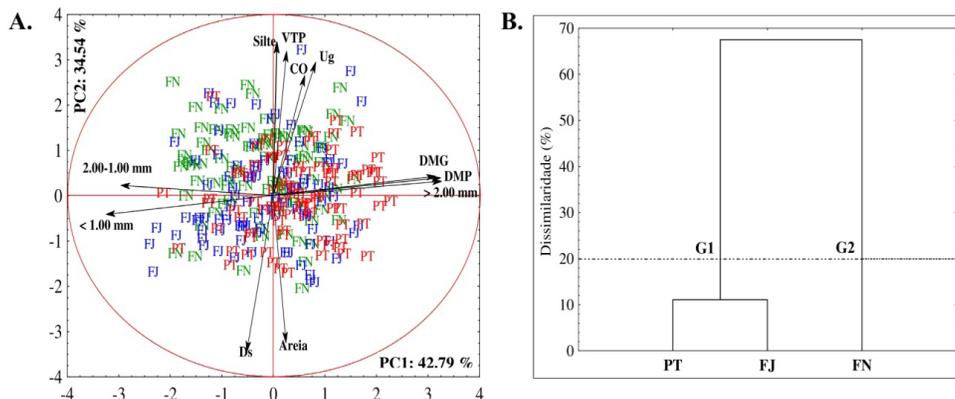


Figura 1. (A) Plano fatorial dos atributos do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica sob diferentes usos na região de Novo Aripuanã, Amazonas. Valores padronizados de tal forma que a média é zero e as distâncias entre os escores é medido pelo desvio padrão. (B) Dendrograma de agrupamentos dos usos do solo em Terra Preta Arqueológica com linha de corte de 20%, de acordo com os atributos do solo com cargas fatoriais superiores a 0,70. FN: floresta; FJ: feijão gandu; PT: pastagem.

Tanto a primeira quanto a segunda fator (Tabela 4) tem percentual de explicação para as características estruturais, mecânica e granulométrica do solo. Assim, a discriminação entre os ambientes diz respeito a essas características, com CP1 representando as características de estabilidade dos agregados do solo (DMG, DMP e classes de agregados >2,00 mm, 2,00-1,00 mm e <1,00 mm), enquanto a CP2 às características estruturais do solo, textura e do carbono orgânico (Ds, VTP, Ug, CO, teor de areia e silte).

Na Figura 2A está representado o plano fatorial da distribuição dos escores das diferentes áreas estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos do solo formado pelos PC1 e PC2. Observa-se maior adensamento dos escores da floresta no primeiro e segundo quadrante da Figura 2A, o que discrimina a área sob floresta que obtiveram valores dos atributos Ds, VTP, Ug, CO, teor de areia e silte acima da média. Por outro lado, as áreas sob feijão Guandu e pastagem apresentam-se mais distribuído entre os primeiros, terceiro e o quarto quadrante, com atributos que apresentam caracterizados estruturais acima da média, assim como características mecânicas, granulométricas e carbono orgânico abaixo da média.

Utilizando os atributos na análise de agrupamentos (Figura 2B), e considerando a linha de corte 20% da medida de dissimilaridade, observa-se a formação de dois grupos distintos, com as áreas sob feijão Guandu e pastagem consideradas estatisticamente iguais no que diz respeito ao comportamento dos atributos físicos e carbono orgânico do solo, que é confirmada pela análise fatorial.

Os atributos apresentaram coeficiente de variação (CV) com valores variando de baixo, moderado e alto (Tabelas 1, 2 e 3), segundo os critérios de Warrick e Nielsen (1980), e isso como sendo um indicativo da heterogeneidade dos dados. Verificou-se que em todas as áreas estudadas, e em suas respectivas profundidades, os atributos apresentaram predominância de CV baixo a moderado, corroborando com resultados de Aquino et al. (2015), que avaliaram os atributos físicos em ambientes utilizando o semivariograma escalonado. Também foram verificados comportamentos semelhantes em outros trabalhos com variabilidade espacial dos atributos físicos do solo (Oliveira et al., 2015a; Santos et al., 2012).

Os atributos Ds, MiP, VTP, Ug e teor de areia, apresentaram CV baixo (até 11,63%), com exceção a MiP e Ug, que mostraram comportamento de CV mediano sob o uso do feijão Guandu (na camada 0,10-0,20 m para a MiP e nas três camadas para Ug), sendo o último sob o uso de floresta na camada 0,10-0,20 m. Os atributos DMG, DMP e classe de agregados >2,00 mm, apresentaram CV de baixo à mediano nas duas primeiras camadas, sob todos os usos do solo, e alta na camada subsequente (0,10-0,20 m), com exceção do DMG na área de feijão Guandu, que mostrou um CV alto na camada 0,00-0,05 m. Os demais atributos apresentaram CV de mediana a alta em todos os usos e camadas adotadas, sendo a RP com CV todas altas, com valores entre 30% a 44,90%. Em geral, a área sob floresta foi o que apresentou mais homogeneidade (CV = 17,93%), seguido

de pastagem (CV = 21,31%), ambos com CV mediano, enquanto que na área sob feijão Guandu, o coeficiente de variação foi de 23,99%, com alta variabilidade, sendo mais heterogêneo quando comparadas às outras áreas.

Dada a comportamento do CV para os atributos do solo, este pode comparar a variabilidade dos atributos com unidades diferentes. No entanto, para a variabilidade espacial, o semivariograma escalonado foi utilizado, o que observou uma variabilidade espacial na maioria dos atributos, com modelo de ajuste exponencial e esférica (Figuras 3, 4 e 5).

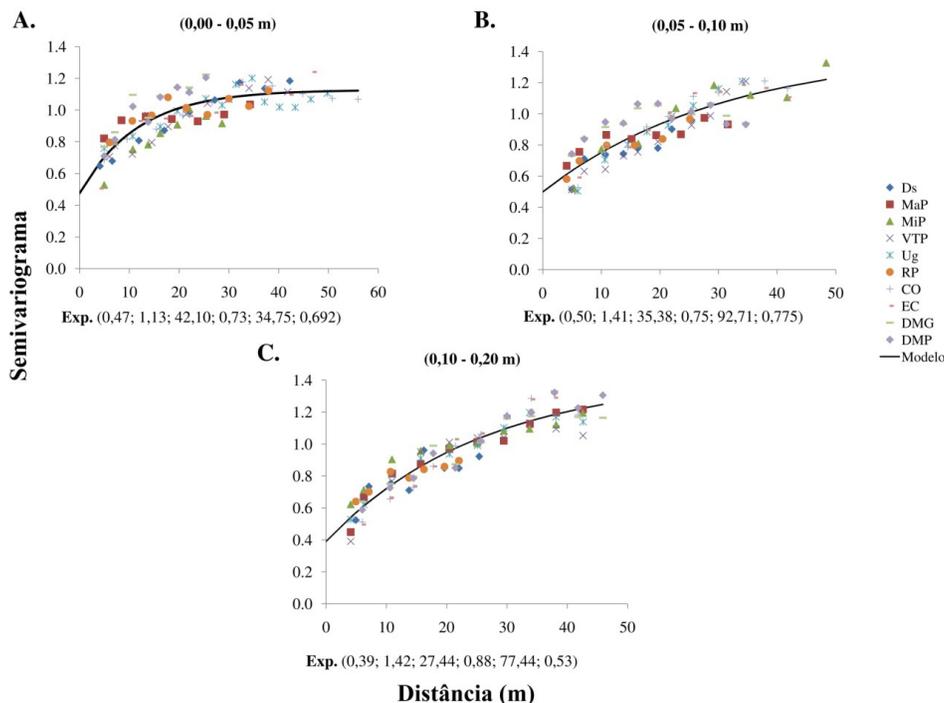


Figura 2. Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados ajustados aos atributos do solo em áreas de TPA sob floresta na região de Novo Aripuanã, Amazonas. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; R<sup>2</sup>; alcance; resíduo)]. Esf.: Esférico; Exp.: exponencial; GDE: grau de dependência espacial; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

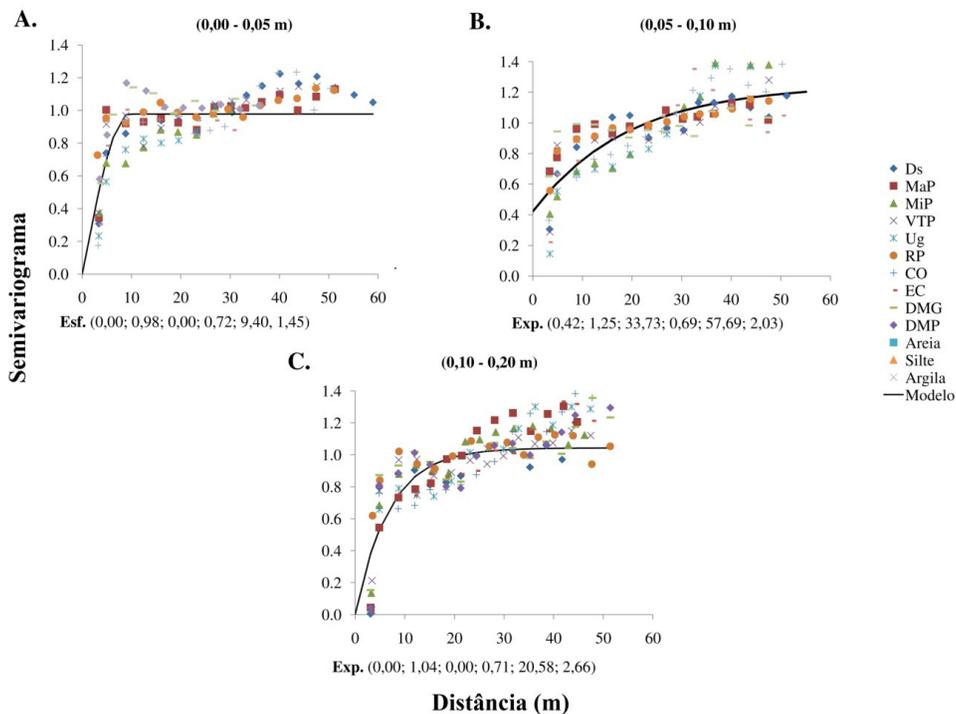


Figura 3. Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados ajustados aos atributos do solo em áreas de TPA sob feijão na região de Novo Aripuanã, Amazonas. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; R<sup>2</sup>; alcance; resíduo)]. Esf.: Esférico; Exp.: exponencial; GDE: grau de dependência espacial; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

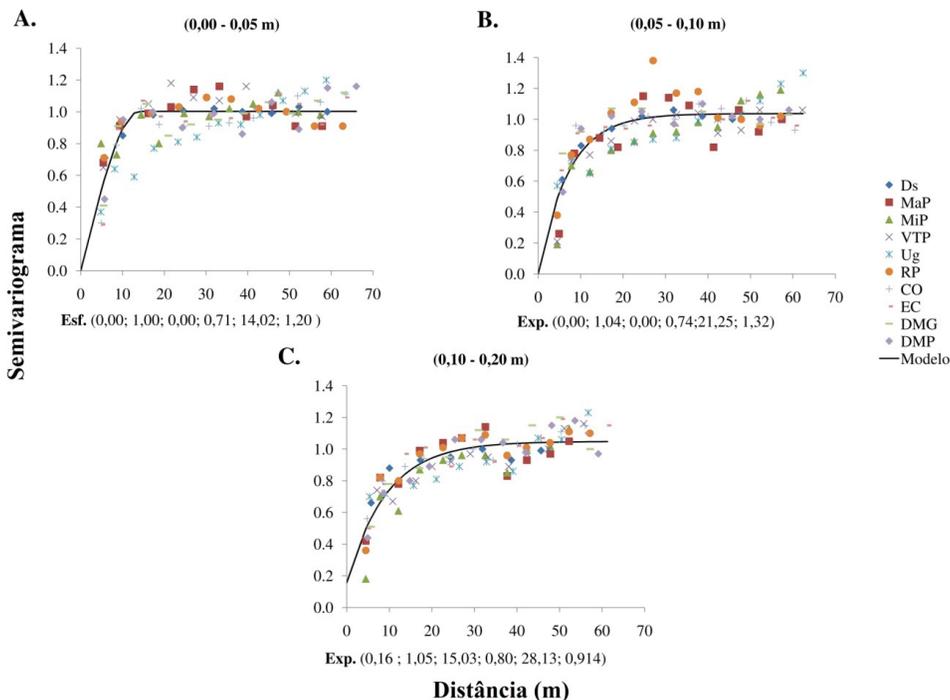


Figura 4. Parâmetros e modelos dos semivariogramas escalonados ajustados aos atributos do solo em áreas de TPA sob pastagem na região de Novo Aripuanã, Amazonas. [modelo (efeito pepita; patamar; GDE; R2; alcance; resíduo)]. Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; GDE: grau de dependência espacial; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Houve mudança de comportamento dos padrões de variabilidade espacial em comparação a área de floresta. O grau de dependência espacial, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), foram fortes em áreas sob feijão Guandu e pastagem nas camadas adotadas (Figuras 4 e 5), com exceção a área de feijão Guandu na camada 0,05-0,10 m, que apresentaram dependência espacial moderada. Por outro lado, a área sob floresta apresentou dependência moderada (Figura 3). Todos esses resultados estão de acordo com os trabalhos de Aquino et al. (2015) e Oliveira et al. (2015a), em se tratando de variabilidade dos atributos do solo em áreas de TPA ou solos adjacentes.

Com base aos ajustes do modelo do semivariograma escalonado, verificou-se comportamento semelhante dos atributos avaliados em relação à área de floresta com as demais áreas. Houve predominância dos modelos exponenciais (Figuras 3, 4 e 5) para o ajuste do semivariograma escalonado, levando em consideração o menor resíduo. O Modelo esférico foi ajustado apenas nas áreas de feijão Guandu e pastagem para a camada de 0,00-0,05 m. Esse resultado corrobora com outras pesquisas, quando avaliado os atributos físicos e químicos em áreas de TPA sob cultivo, onde foram verificados modelos esféricos nas camadas de 0,00-0,10 m e de 0,00-0,20 m, respectivamente (Aquino et al., 2015;

Oliveira et al., 2015a). O modelo exponencial mostra um comportamento dos atributos com variações mais erráticas (menos contínuas), quando comparadas aos modelos de ajuste esférico, por este apresentar uma variabilidade mais contínua (Isaaks e Srivastava, 1989). Assim, os modelos tiveram bons ajustes ao semivariograma escalonado, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando entre 0,69 em área de feijão Guandu na camada de 0,05-0,10 m, a 0,88 em área de floresta na camada de 0,10-0,20 m.

Avaliando os valores do alcance ajustado (Figuras 3, 4 e 5), observou-se que em áreas sob feijão Guandu, com coletas de solos em uma malha com distância mínima de quatro metros, houve menor alcance para a independência da variância entre os pares (patamar), com relação aos atributos do solo, com valores de 9,40 m e 20,58 m para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,10-0,20 m, respectivamente (com exceção à camada de 0,05-0,10 m, que obteve valor de 57,69 m, sendo superior à área sob pastagem para a mesma profundidade). Isso mostra alta variabilidade dos atributos do solo para pequenas distâncias de coleta, fortalecendo a justificativa de maior heterogeneidade dos atributos do solo em relação às demais áreas.

Em área sob pastagem, os alcances foram de 14,02 m, 21,25 e 28,13 m, em suas respectivas camadas, sendo uma malha com distância de coleta mínima de oito (8) metros. Para a área sob floresta, por outro lado, evidenciou um comportamento mais homogêneo para todas as camadas, em comparação as outras áreas, com dependência de correlação espacial chegando a alcance de 34,75 m, 92,71 m e 77,44 m, respectivamente.

## 4 | CONCLUSÕES

Houve mudança significativa dos atributos físicos  $D_s$ , VTP, MaP e MiP em relação ao tipo de cobertura para camadas até 20 cm de profundidade. A RP apresentou seu menor valor sob floresta, que corrobora com baixos valores de  $U_g$  e  $D_s$ . Os respectivos usos do solo também promoveram alterações aos valores de CO e EC, com melhores resultados em áreas sob o uso de feijão guandu e floresta.

Na análise multivariada, as áreas de feijão guandu e pastagem apresentaram comportamentos semelhantes, com estabilidades dos agregados acima da média, assim como características estruturais, textura e do carbono orgânico abaixo da média.

No semivariograma escalonado teve predominância o modelo exponencial, com grau de dependência espacial forte para os usos do solo sob feijão guandu e pastagem e moderada para a área sob floresta. A área sob feijão guandu apresentou maior heterogeneidade, com menor alcance de independência espacial da variância entre os pares.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R.S., STONE, L.F., SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 411-8, 2009.

AQUINO, R.E., CAMPOS, M.C.C., JUNIOR, J.M., OLIVEIRA, I.A., TEIXEIRA D.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, p. 21-30, 2015.

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

CALONEGO, J.C., SANTOS, C.H., TIRITAN, C.S., CUNHA JÚNIOR, J.R. Estoque de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 128-35, 2012.

CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, T.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E.. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-11, 1994.

CAMPOS, M.C.C., SANTOS, L.A.C., SILVA, D.M.P., MANTOVANELLI, B.C., SOARES, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, AM. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 6, p. 102-9, 2012.

CEDDIA, M.B., VIEIRA, S.R., VILLELA, A.L.O., MOTA, L.S., ANJOS, L.H.C., CARVALHO, D.F. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agrícola**, v. 66, p. 338-52, 2009.

CRESSIE, N. Statistics for spatial data. New York: John Wiley, 1991.

CUNHA, E.Q., STONE L.F., MOREIRA, J.A.A., FERREIRA, E.P.B., DIDONET, A.D., LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e cultura de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Manual de métodos de análise de solo. 2ª.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solo, 2011.

IORI, P., DIAS JÚNIOR, M.S., SILVA, R.B. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 185-95, 2012.

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.

KÄMPF, N., KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: Vidal-Torrado P, Alleoni LRF, Cooper M, Silva AP, Cardoso EJ, organizadores. Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 5, p.277-320.

KEMPER, W.D., CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: Black CA, Evans DD, White JL, Ensminger LE, Clark FE, editors. Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.

MATOS, E.S., MENDONÇA, E.S., LEITE, L.F.C., GALVÃO, J.C.C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1221-30, 2008.

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

MELO, V.F., SCHAEFER, C.E.G.R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no nordeste de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 53-60, 2009.

OLIVEIRA, I.A., CAMPOS, M.C.C., SOARES, M.D.R., AQUINO, R.E., JUNIOR, J.M., NASCIMENTO, E.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um CambissoloHáplico, sob diferentes usos na região do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1103-12, 2013.

OLIVEIRA IA, JUNIOR JM, CAMPOS MCC, AQUINO RE, FREITAS L, SIQUEIRA DS, CUNHA JM. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 668-81, 2015a.

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 Amazonica**, v. 45, n. 1, p. 1-12, . 2015b. dx.doi.org/10.1590/1809-4392201400555

ROBERTSON, G.P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Gamma design software, Plainwell: MI, 1998.

ROSSETTI, K.V., CENTURION, J.F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronossequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 252-8, 2015.

ROZANE, D.E., CENTURION, J.F., ROMUALDO, L.M., TANIGUCHI, C.A.K., TRABUCO, M., ALVES, A.U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 24-32, 2010.

SANTOS, L.A.C., CAMPOS, M.C.C., BERGAMIN, A.C., SILVA, D.M.P., MENDONÇA JÚNIOR, A.F. Característica física de seis sites de terras pretas arqueológicas na região de Apuí-AM. **Revista Verde**, v. 6, p. 167-74, 2011.

SANTOS, K.S., MONTENEGRO, A.A.A., ALMEIDA, B.G., MONTENEGRO, S.M.G.L., ANDRADE, T.S., FONTES JÚNIOR, R.V.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos do vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 828-35, 2012.

SANTOS, L.A.C., CAMPOS, M.C.C., AQUINO, R.E., BERGAMIN, A.C., SILVA, D.M.P., JUNIOR, J.M., FRANÇA, A.B. Caracterização de Terras Pretas Arqueológicas no Sul do Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 825-36, 2013.

SILVA, A.R., SILVA, L.L., FRAZÃO, J.J., SALGADO, F.H.M., SILVA, M.C., CORRECHEL, V. Resistência mecânica à penetração do solo com diferentes coberturas vegetais sob sistema. **Revista Científica Eletrônica da Agronomia**, v. 22, p. x-x, 2012.

SILVA, F.F., FREDDI, O.S., CENTURION, J.F., ARATANI, R.G., ANDRIOLI, F.F., ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Irriga**, v. 13, p. 191-204, 2008.

SILVEIRA, D.C., FILHO, J.F.M, SACRAMENTO, J.A.S., SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade *versus* resistência à penetração para um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 659-67, 2010.

SOARES, D. R., CAMPOS, M. C. C., SOUZA, Z. M., BRITO, W. B. M., FRANCISCON, U., CASTIONI, G. A. F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. **Revista Ciêncêncis Agrartias**, v. 58, n. 4, p. 434-441, 2015.

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

TAVARES FILHO, J., TESSIER, D. Compressibility of oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1525-1533, 2009.

VIANA, E.T., BATISTA, M.A., TORMENA, C.A., COSTA, A.C.S., INOUE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-14, 2011.

VOLK, L.B.S., COGO, N.P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1459-71, 2009.

WARRICK, A.W., NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D, editor. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980, p.319-44.

WHITE, P.J., CRAWFORD, J.W., ÁLVAREZ, M.C.D., MORENO, R.G. Soil Management for Sustainable Agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2012, p. 1-3, 2012.

YEOMANS, J.C., BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-76, 1988.

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região Sul do Amazonas



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



@atenaeditora



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



0 400 800 km



**Atena**  
Editora

Ano 2021

# TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA:

Atributos morfológicos, físicos, químicos e efluxo de CO<sub>2</sub> em solos sob diferentes usos na região 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)



0 400 800 km



**Atena**  
Editora

Ano 2021