

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Geoambientes e solos de Campos Rupestres Ferruginosos da Amazônia: a  
Serra de São Félix**

Jéssica Araújo Heringer Ribeiro  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**JÉSSICA ARAÚJO HERINGER RIBEIRO**

**Geoambientes e solos de Campos Rupestres Ferruginosos da Amazônia: a  
Serra de São Félix**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Carlos E. G. R. Schaefer

Coorientador: Herval Vieira Pinto Junior

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R484g  
2025  
Ribeiro, Jéssica Araújo Heringer, 2000-  
Geoambientes e solos de Campos Rupestres Ferruginosos  
da Amazônia: a Serra de São Félix / Jéssica Araújo Heringer  
Ribeiro. – Viçosa, MG, 2025.

1 dissertação eletrônica (111 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Biologia Vegetal, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.645>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Comunidades vegetais - Serra de Campos (PA : Sudeste).  
2. Plantas rupícolas. 3. Plantas e solo - Serra de Campos (PA :  
Sudeste). 4. Solos - Formação - Serra de Campos (PA : Sudeste).  
I. Schaefer, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud, 1965-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia  
Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Botânica. III. Título.

CDD 22. ed. 581.782098115

**JÉSSICA ARAÚJO HERINGER RIBEIRO**

**Geoambientes e solos de Campos Rupestres Ferruginosos da Amazônia: a Serra de São Félix**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 1 de agosto de 2025.

Assentimento:

---

Jéssica Araújo Heringer Ribeiro  
Autora

---

Carlos Ernesto Goncalves Reynaud Schaefer  
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 08/10/2025 às 08:57:14 e pelo orientador em 08/10/2025 às 12:22:35. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **GC6B.YGUK.R99P** e clique no botão 'Validar documento'.

Ao meu papai (Adair Heringer Ribeiro), que sempre foi meu maior exemplo e  
inspiração. (*In memoriam*)

À minha mãe (Janilza Araújo Ribeiro) e a minha irmã (Jamilly Vitória Araújo  
Heringer), que são a minha base e razão para seguir todos os dias.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela vida e oportunidades que me fizeram chegar até aqui, sua maravilhosa graça me sustentou durante essa jornada.

Aos meus pais, Janilza Araújo Ribeiro e Adair Heringer Ribeiro (*in memoriam*) que amo com tudo de mim, por todo amor e dedicação que tiveram para me educar e me proporcionar os melhores estudos. Mesmo com pouca condição financeira nunca mediram esforços para me ver chegar cada vez mais alto, sempre acreditando e me encorajando a alcançar grandes conquistas. Agradeço o zelo que tiveram comigo e os ensinamentos que hoje carrego ao trilhar a minha própria caminhada. Essa conquista é por vocês! Sei que está orgulhoso aí de cima papai.

A minha irmã, Jamilly Vitória Araújo Heringer, que de forma tão especial tem sido também minha motivação e apoio. Gratidão pelas mínimas e grandes coisas que passou comigo durante o mestrado, ter você ao meu lado foi essencial, te amo. Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer, que me recebeu como filha e acreditou em mim. Agradeço suas valiosas lições acadêmicas e de vida, que honra é poder aprender com o grande mestre, cientista e poeta que és.

Ao meu coorientador, Dr. Herval Vieira Pinto Junior, pelas ricas contribuições nesse trabalho e por todo esforço que fez para chegarmos até aqui. Sua orientação e amizade foram essenciais nessa jornada. Graças por existir.

A Universidade Federal de Viçosa, especialmente os membros do Departamento de Biologia Vegetal e do Programa de Pós-Graduação Em Botânica, que contribuíram direta e indiretamente nesse processo.

Ao Filho Manfredini, Anthony Barbosa, Lígia Haira e Thaís Gonzaga, que mesmo de longe foram muito presentes durante o meu mestrado e me ajudaram mais do que podem imaginar, sou imensamente grata por ter vocês na minha vida.

Aos amigos que ganhei do Núcleo Terrantar - Núcleo de Pesquisas dos Ecossistemas Terrestres da Antártica, que acompanharam minha rotina diária e foram fundamentais nesse processo, dividindo os bons momentos e sendo apoio nos dias difíceis. Minha gratidão em especial à Claudia, por me auxiliar e cuidar de toda burocracia necessária, e à Daniela Schmitz que me recebeu em Viçosa com muito carinho e tem sido um anjo na minha vida.

A equipe colaboradora desse trabalho que participaram das atividades de planejamento, campo, processamento de material coletado e análises estatísticas, obrigada pela parceria e contribuições.

A toda equipe do ICMBio NGI Carajás, em especial o Wendelo Silva Costa, e as demais agências de fomento pelo suporte e apoio que possibilitaram a execução desse projeto. Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## RESUMO

RIBEIRO, Jéssica Araújo Heringer, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2025. **Geoambientes e solos de Campos Rupestres Ferruginosos da Amazônia: a Serra de São Félix**. Orientador: Carlos Ernesto Goncalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Herval Vieira Pinto Junior.

Os Complexos Rupestres (CR) brasileiros são ecossistemas diversos que podem variar conforme a profundidade do solo, drenagem, estabilidade e evolução da paisagem. Estão associados a várias litologias, especialmente quartzitos e rochas ferríferas, e são marcados por elevada diversidade e endemismo, mas enfrentam riscos de degradação pela expansão da mineração ou agropecuária. Apesar da grande relevância ecológica, remanescentes de CRF, como a Serra de Campos, no sudeste paraense, ainda são pouco estudadas. Este trabalho objetivou descrever e analisar os geoambientes de CRF do sudeste do Pará, bem como determinar e entender os padrões da estrutura e diversidade taxonômica e filogenética de suas comunidades vegetais. O estudo foi conduzido em seis áreas de CR no Sudeste do Pará, com enfoque na Serra de Campos, em São Félix do Xingú. Foram coletados 40 perfis de solos. A amostragem florística totalizou 20 parcelas para cada geoambiente, utilizando a metodologia de Braun-Blanquet para áreas abertas e parcelas de 10m x 10m para vegetação arbórea, inventariando indivíduos com CAP=10cm. Os dados de solos foram amostrados através da coleta e descrição de perfis, e de amostras compostas superficiais em cada parcela, além da mensuração da profundidade relativa do solo para cada parcela. Foram adotados os métodos usuais estabelecidos para solos brasileiros. A serrapilheira acumulada foi analisada a partir da amostra coletada com um gabarito de 0,4m×0,4m, seca, moída e estudada quanto aos macros e micronutrientes. Os solos dos perfis foram submetidos a estatística descritiva e Análise de Componentes Principais (PCA). As variáveis foram testadas por ANOVA, testes de Tukey e Duncan, e por testes de Kruskal–Wallis e Dunn com correção de Bonferroni. Foi utilizada a PCA para avaliar a influência dos termiteiros na composição dos solos. A estrutura fitossociológica foi avaliada pelo Valor de Importância (VI). Análises multivariadas (PCoA, PCA) foram feitas para investigar padrões florísticos e ambientais. Índices de diversidade filogenética (MPD, MNTD, sesMPD, sesMNTD) e filobetadiversidade foram calculados a partir de uma árvore filogenética resolvida com base na lista de espécies. Os Geoambientes apresentaram similaridade como acidez elevada, pobreza nutricional e presença de concreções, mas a estatística revelou dissimilaridade nos principais atributos químicos e físicos isoladamente. A atividade térmita

para o CR é fortemente associada à ciclagem de nutrientes. Foram registradas 53 famílias, 84 gêneros e 120 espécies vegetais. O CRA apresentou maior riqueza de espécies, enquanto o CRG teve a menor. A estrutura florística apresentou padrão oligárquico, com poucas espécies dominantes concentrando grande parte do VI. A diversidade filogenética foi marcada por agrupamento significativo (sesMPD e sesMNTD negativos), indicando forte atuação de filtros ambientais. A profundidade do solo foi significativamente correlacionada com a diversidade filogenética. A filobetadiversidade entre geoambientes foi baixa, sugerindo substituição limitada de linhagens, enquanto a heterogeneidade interna foi maior no CRA e CRG. Os resultados deste estudo evidenciam a complexidade ecológica dos CRF da Amazônia oriental e destacam a forte influência dos fatores edáficos na diversidade filogenética, composição e estrutura florística desses ambientes, reforçando a necessidade de conservação e pesquisas focadas nos processos ecológicos e evolutivos que atuam nesses ambientes.

Palavras-chave: Complexos Rupestres; relação solo-vegetação; conservação

## ABSTRACT

RIBEIRO, Jéssica Araújo Heringer, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2025. **Geoenvironments and soils of Ferruginous Rupestrian Grassland in Amazônia: the Serra de São Félix.** Adviser: Carlos Ernesto Goncalves Reynaud Schaefer. Co-adviser: Herval Vieira Pinto Junior.

Brazilian Rupestrian Complexes (CR) are diverse ecosystems that vary depending on soil depth, drainage, stability, and landscape evolution. They are associated with various lithologies, especially quartzites and iron rocks, and are characterized by high diversity and endemism, but face risks of manipulation due to the expansion of mining or agriculture. Despite their great ecological significance, remnants of CRF, such as the Serra de Campos in southeastern Pará, remain little studied. This study aimed to describe and analyze the geoenvironments of the CRF in southeastern Pará, as well as to determine and understand the patterns of structure and taxonomic and phylogenetic diversity of its plant communities. The study was conducted in six CR areas in southeastern Pará, with a focus on the Serra de Campos in São Félix do Xingú. Forty soil profiles were identified. Floristic sampling comprised 20 plots for each geoenvironment, using the Braun-Blanquet methodology for open areas and 10m x 10m plots for trees, inventorying individuals with CAP = 10cm. Soil data were collected through the collection and description of profiles and surface composite samples in each plot, in addition to measuring the relative soil depth for each plot. Standard methods established for Brazilian soils were adopted. Accumulated litterfall was verified from samples collected with a 0.4m x 0.4m template, dried and ground, and scientific studies regarding macro- and micronutrients. The soil profiles were analyzed using descriptive statistics and Principal Component Analysis (PCA). Variables were tested by ANOVA, Tukey's and Duncan's tests, and Kruskal–Wallis and Dunn's tests with Bonferroni correction. PCA was used to assess the influence of termite mounds on soil composition. Phytosociological structure was assessed using Importance Value (IV). Multivariate analyses (PCoA, PCA) were performed to investigate floristic and environmental patterns. Phylogenetic diversity indices (MPD, MNTD, sesMPD, sesMNTD) and phyllobetadiversity were calculated from a phylogenetic tree resolved using the species list. The geoenvironments showed similarities, such as high incidence, nutritional poverty, and the presence of concretions, but the statistics revealed dissimilarities in the main chemical and physical attributes alone. Thermal activity in the CR is strongly associated with nutrient circulation. Fifty-three families, 84 genera, and 120 plant species were recorded. The CRA had the highest

species richness, while the CRG had the lowest. The floristic structure showed an oligarchic pattern, with a few dominant species concentrating a large portion of the VI. Phylogenetic diversity was marked by significant clustering (negative sesMPD and sesMNTD), with a strong influence of environmental filters. Soil depth was significantly correlated with phylogenetic diversity. Phylobetadiversity among geoenvironments was low, offering limited lineage replacement, while internal heterogeneity was greater in the CRA and CRG. The results of this study demonstrate the ecological complexity of the CRF of eastern Amazonia and highlight the strong influence of educational factors on the phylogenetic diversity, composition, and floristic structure of these environments, reinforcing the need for conservation and research focused on the ecological and evolutionary processes that operate in these environments.

Keywords: Rupestrian Complexes; soil-vegetation relationship; conservation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Distribuição dos pontos de coleta de Solos no sudeste da Amazônia.....   | 25 |
| <b>Figura 2</b> Pontos de coleta de Perfis na Serra de Campos em São Félix do Xingu-PA..   | 27 |
| <b>Figura 3</b> Perfis de São Félix. A-1: Perfil P1; A-2: Ambiente do P1 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com Syagrus. B-1: Perfil P2; B-2: Ambiente do P2 em Capão Florestal. C-1: Perfil P3; C-2: Ambiente do P3 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. D-1: Perfil P4; D-2: Ambiente do P4 em Capão Florestal. E: Ambiente do P5 em Buritizal. F-1: Ambiente do P6 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto-arbustivo; F-2: Perfil P6. G-1: Ambiente do P7 em Pastagem; G2: Perfil P7. H-1: Ambiente do P8 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; H-2: Perfil P8. I: P9 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. J: P10 em Capão Florestal. K: P11 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. L: P12 em Capão Florestal. .... | 32 |
| <b>Figura 4</b> Mapa dos pontos de coleta na Serra da Bocaina.....   | 33 |
| <b>Figura 5</b> Perfis da Serra da Bocaina. A-1: Ambiente do P13 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de Vellozia sp.; A-2: Perfil P13. B: Perfil P14 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. C: Perfil P15 em Capão Florestal de Canga. D: Perfil P16 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. E-1: Ambiente do P17 em Buritizal; E-2: Ambiente do P18 em Buritizal. F: Perfil P19 em Floresta de encosta. ....  | 35 |
| <b>Figura 6</b> Mapa de localização das áreas amostradas em Serra Leste. ....  | 36 |
| <b>Figura 7</b> Perfis da Serra Leste. A-1: Ambiente do P20 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com Vellozia sp.; A-2: Perfil P20. B-1: Ambiente do P21 em Capão Florestal; B-2: Perfil P21. C-1: Ambiente do P22 em Capão Florestal; C-2: Perfil P23. D: Perfil P4 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. ....  | 38 |
| <b>Figura 8</b> Mapa de localização dos pontos de coleta em Terraços do Araguaia.....  | 39 |
| <b>Figura 9</b> Perfis dos Terraços do Araguaia. A-1: Ambiente do P24 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; A-2: Perfil P24. B-1: Ambiente do P25 em Cerradão Rupestre Ferruginoso; B-2: Perfil P25. C-1: Perfil P26; C-2: Ambiente do P26 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. D-1: Perfil P27 em Floresta de Canga degradada. E: Perfil P28 em Cerradão sujo em canga degradada. F: Perfil 29 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. G: Perfil 30 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. H: Perfil P31 em Buritizal. I: Perfil 32 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. J: Perfil 33 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. K: Perfil P34 no Cerradão. ....  | 44 |
| <b>Figura 10</b> Mapa de localização das áreas amostradas em Redenção.....   | 45 |
| <b>Figura 11</b> Perfis de Redenção. A: Perfil P35 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. B: Perfil P36 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. C: Perfil P37 em Capão Florestal. ....  | 46 |
| <b>Figura 12</b> Mapa de localização dos pontos de coleta na Serra Arqueada. ....  | 47 |
| <b>Figura 13</b> Perfis da Serra Arqueada. A: Perfil P38 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. B: Perfil P39 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. C: Perfil P40 em Capão Florestal. ....  | 48 |
| <b>Figura 14</b> Análise de componentes principais (PCA) baseada em atributos físicos e químicos do solo nos diferentes geoambientes estudados. Buritizal; CRF_Ab = Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; CRF_Arb = Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo;   |    |

|   |    |
|---|----|
| CRF_BG = Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso; Capão; Cerrado_RF = Cerrado Rupestre Ferruginoso; FL = Floresta; FL_encosta = Florestas de Encosta; Pasto_antropizado = Pastagem/área antropizada.....   | 52 |
| <b>Figura 15</b> Análise de variância dos atributos físicos e químicos dos solos de perfis que foram mais explicativas para a Análise de Componentes Principais (PCA). A = pH em H <sub>2</sub> O; B = pH em KCl; C = Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ); D = P-rem (mg/L); E = Cu (mg/dm <sup>3</sup> ); F = Argila (Kg/Kg). Cada análise contém a distribuição das amostras de solos por área: FA = Floresta do Araguaia, RE = Redenção; SA = Serra Arqueada; SB = Serra da Bocaina; SFX = São Félix do Xingu; SL = Serra Leste. .... | 54 |
| <b>Figura 16</b> Análise de componentes principais (PCA) para as variáveis dos solos de termiteiros (▲) e os horizontes superficiais dos solos adjacentes (●), avaliando os dois principais grupos de ambientes amostrados: Campos Rupestres e Florestados. CR: Solos de Campos Rupestres Ferruginosos; FL: Solos de Florestas.....   | 56 |
| <b>Figura 1</b> Localização da área de estudos e distribuição dos pontos de amostragem florística na Serra de Campos em São Félix do Xingu.....   | 76 |
| <b>Figura 2</b> Mapa dos Geoambientes da Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará. 79  |    |
| <b>Figura 3</b> Gráfico da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) para a composição florística dos três geoambientes estudados na Serra de Campos, Pará, Brasil. ....   | 82 |
| <b>Figura 4</b> Gráfico da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) para as variáveis abióticas dos três geoambientes estudados na Serra de Campos, Pará, Brasil. ....  | 83 |
| <b>Figura 5</b> Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis abióticas das parcelas amostradas na Serra de São Félix do Xingu. CAP: Capão Florestal; CRA: Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; CRG: Campo Rupestre Ferruginoso Graminoso. ....   | 84 |
| <b>Figura 6</b> Gráfico do efeito significativamente positivo do modelo de relação entre a profundidade de cada parcela com a distância média entre os pares (MPD). ....  | 88 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabela 1</b> Tabela com a síntese dos principais geoambientes amostrados e descritos. ...  | 49  |
| <b>Tabela 2</b> Variáveis físicas e químicas dos perfis de solo em seis geoambientes amostrados no Pará. Os dados estão representados pelas médias entre os perfis de cada geoambiente. Os geoambientes são: Buritizal; CRF_Ab (Campo Rupestre Ferruginoso Aberto); CRF_Arb (Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo); CRF_BG (Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso); Capão; Cerrado_RF (Cerradão Rupestre Ferruginoso); FL (Floresta); FL_encosta (Florestas de Encosta); Pasto_antropizado (Pastagem/área antropizada). H+Al = Acidez Potencial; SB = Soma de Bases Trocáveis; V = Índice de Saturação de Bases; t = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa = Índice de Saturação de Sódio; MO = Matéria Orgânica; P-rem = Fósforo remanescente..... | 50  |
| <b>Tabela 1</b> Análise química e física dos perfis da Serra de Campos em São Félix do Xingu. ....  | 67  |
| <b>Tabela 2</b> Análise química e física dos perfis da Serra da Bocaina-PA.....   | 68  |
| <b>Tabela 3</b> Análise química e física dos perfis da Serra Leste-PA.....  | 69  |
| <b>Tabela 4</b> Análise química e física dos perfis em Terraços do Araguaia. ....   | 70  |
| <b>Tabela 5</b> Análise química e física dos perfis de Redenção.....  | 67  |
| <b>Tabela 6</b> Análise química e física dos perfis da Serra Arqueada. ....   | 72  |
| <b>Tabela 1</b> Tabela contendo os resultados da estrutura fitossociológica dos três geoambientes estudados na Serra de Campos, Pará, Brasil.....   | 80  |
| <b>Tabela 2</b> Modelos testados para avaliar a relação solo-filogenia, incluindo as variáveis do solo (Soil), serrapilheira (Lit) e profundidade (Depth). ....   | 87  |
| <b>Tabela 1</b> Lista de espécies para cada uma das três áreas amostradas estudadas na Serra de Campos, Amazônia, Brasil. ....  | 97  |
| <b>Tabela 2</b> Tabela de vida do Campo Rupestre Ferruginoso Graminoso da Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará. ( $H' = -2,15437$ ; $E = -0,65366$ ).....  | 101 |
| <b>Tabela 3</b> Tabela de vida do Campo Rupestre Ferruginoso Aberto da Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará. ( $H' = -5,12828$ ; $E = -1,18779$ ).....   | 102 |
| <b>Tabela 4</b> Tabela de vida do Capão na Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará. ( $H' = -5,77269$ ; $E = -1,50777$ ).....   | 105 |
| <b>Tabela 5</b> Tabela de atributos físicos e químicos dos solos superficiais das parcelas amostradas na Serra de Campos em São Félix do Xingú, Pará. ....  | 107 |
| <b>Tabela 6</b> Tabela de componentes químicos e massa seca obtidos da análise de serrapilheira coletada nas parcelas amostradas na Serra de Campos em São Félix do Xingú, Pará. ....   | 109 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....  | 10        |
| LISTA DE TABELAS .....  | 12        |
| <b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>2.1 Objetivo geral.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.2 Objetivos específicos .....</b>  | <b>18</b> |
| REFERÊNCIAS .....   | 18        |
| <b>CAPÍTULO 1: As últimas paisagens de Campos Rupestres Ferruginosos do sudeste da Amazônia .....</b> | <b>22</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.1. Objetivo geral.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.2. Objetivos específicos.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>3.1. Área de estudo.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>3.2. Coleta, processamento e análises de solo .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>3.3. Análise dos termiteiros adjacentes aos perfis de solos coletados.....</b>                     | <b>26</b> |
| <b>3.4. Análises estatísticas .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>4. RESULTADOS .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>4.1. Perfis de solos dos campos rupestres ferruginosos do Sudeste do Pará ..</b>                   | <b>27</b> |
| 4.1.1. Serra de Campos - São Félix do Xingu .....   | 27        |
| 4.1.2. Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos .....                               | 33        |
| 4.1.3. Serra Leste .....  | 36        |
| 4.1.4. Terraços e Patamares do Araguaia .....   | 39        |
| 4.1.5. Redenção .....   | 45        |
| 4.1.6. Serra Arqueada .....   | 47        |
| <b>4.2. Síntese dos geoambientes amostrados .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>4.3. Caracterização química dos solos .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>4.3.1. Análise de Componentes Principais (PCA) dos solos em todas as áreas</b>                     | <b>51</b> |
| <b>4.3.2. Análises de Variância .....</b>   | <b>52</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.3.3. Relação entre Termiteiros e o solo adjacente .....  | 55        |
| <b>5. DISCUSSÃO .....</b>  | <b>56</b> |
| <b>5.1. Geoambientes .....</b>   | <b>56</b> |
| <b>5.2. Solos dos geoambientes .....</b>   | <b>58</b> |
| <b>5.3. Relação temiteiro e solo adjacente .....</b>   | <b>59</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>61</b> |
| <b>APÊNDICE A .....</b>  | <b>67</b> |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO 2: Floristic and Phylogenetic Analysis in Geoenvironments of the Serra de Campos, São Félix do Xingu .....</b> | <b>73</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>73</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>  | <b>74</b> |
| <b>2.1. Objetivo geral.....</b>  | <b>74</b> |
| <b>2.2. Objetivos específicos.....</b>   | <b>75</b> |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>75</b> |
| <b>3.1. Área de estudo.....</b>  | <b>75</b> |
| <b>3.2. Levantamento florístico .....</b>  | <b>76</b> |
| <b>3.3. Coleta e análise de solo .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>3.4. Análise da serapilheira acumulada .....</b>  | <b>77</b> |
| <b>3.5. Análises estatísticas .....</b>  | <b>78</b> |
| <b>4. RESULTADOS .....</b>   | <b>79</b> |
| <b>4.1. Mapa dos Geoambientes da Serra de Campos em São Félix do Xingu ...</b>   | <b>79</b> |
| <b>4.2. Composição Florística .....</b>  | <b>79</b> |
| <b>4.3. Estrutura fitossociológica.....</b>  | <b>80</b> |
| 4.3.1. Campo rupestre Graminoso .....  | 80        |
| 4.3.2. Campo rupestre Aberto.....  | 81        |
| 4.3.3. Capão .....   | 81        |
| <b>4.4. Relação solo vegetação nos Geoambientes da Serra de Campo .....</b>  | <b>81</b> |
| 4.4.1. Análise de Coordenadas Principais (PCoA).....   | 81        |
| 4.4.2. Análise de Componentes Principais (PCA) dos solos dos geoambientes da Serra de Campos.....                          | 83        |
| <b>4.5. Estrutura filogenética e filobeta-diversidade dos geoambientes da Serra de Campos .....</b>                        | <b>85</b> |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 4.5.1.      | Estrutura filogenética dos geoambientes .....   | 85        |
| 4.5.2.      | Filobetadiversidade dos geoambientes .....  | 85        |
| 4.5.3.      | Efeitos da relação solo-filogenia .....   | 87        |
| <b>5.</b>   | <b>DISCUSSÃO</b> .....  | <b>88</b> |
| <b>5.1.</b> | <b>Diversidade florística e estrutura dos geoambientes da Serra de Campos</b><br>88             |           |
| <b>5.2.</b> | <b>Padrões filogenéticos e relação solo-filogenia nos geoambientes da Serra de Campos</b> ..... | <b>90</b> |
| <b>6.</b>   | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | <b>91</b> |
|             | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>92</b> |
| <b>7.</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....   | <b>96</b> |
|             | <b>APÊNDICE B</b> .....   | <b>97</b> |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Os Complexos Rupestres também chamados de Campos Rupestres são formados por diversos geoambientes, descritos como compartimentos paisagísticos com características semelhantes associadas à variação na profundidade do solo, drenagem, estabilidade e evolução da paisagem (Meier et al., 2023; Fernandes, 2016; Silveira et al., 2016; Schaefer et al., 2016). Esses ecossistemas estão associados a diversas litologias e abrangem desde áreas abertas com predominância de gramíneas e outras ervas, até habitats com adensamento de arbustos e árvores (De Oliveira et al., 2024; Vasconcelos, 2011). No Brasil, os Complexos Rupestres são encontrados em diferentes domínios morfoclimáticos e são amplamente afetados por pressões antrópicas, como a mineração e agropecuária (Carmo et al., 2012, Nunes et al., 2015). Apesar dos muitos estudos de conservação encontrados em certas áreas, outras ainda são praticamente desconhecidas, como na Serra de Campos, um remanescente ainda conservado de complexo rupestre ferruginoso da Amazônia Oriental, localizado no município de São Félix do Xingu (SFX), com pouco conhecimento sobre as comunidades vegetais e a influência dos solos (Souza-Filho et al., 2019; Giuliatti et al., 2019).

Os ecossistemas rupestres do Brasil são geralmente associados a uma grande pressão minerária, em especial as formações ferríferas (Schaefer et al., 2016). Essas formações são dotadas de uma alta diversidade de plantas, e forte endemismo, e enfrentam uma intensa degradação de suas áreas (Jacobi et al., 2011; Silveira et al., 2016). O padrão singular dessa vegetação é resultante dos filtros ecológicos naturais que selecionam espécies com adaptações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e reprodutivas (De Oliveira et al., 2024; Silva et al., 2020). Dessa forma, os diversos filtros ambientais determinam a diversidade e estrutura taxonômica e filogenética, bem como a diversidade funcional das comunidades vegetais nos Campos Rupestres (Pinto-Junior et al., 2024; Pinto-Junior et al., 2023; Pontara et al., 2018; Zappi et al., 2017).

Os padrões de diversidade, como a diversidade taxonômica, são essenciais para entender a riqueza de espécies de cada fitofisionomia, enquanto a abordagem filogenética auxilia a entender a montagem, funcionamento e manutenção das comunidades vegetais em diferentes geoambientes, sendo fundamental para a conservação do nicho das espécies, pois atua como indicador de potencial evolutivo futuro das comunidades (Zappi et al., 2017). Já a diversidade funcional, considera os organismos como “entidades dinâmicas que interagem com seu ambiente” (Calow, 1987), sendo essencial para explicar

como as espécies influenciam o funcionamento do ecossistema e como as espécies respondem às mudanças ambientais (Laureto et al., 2015). Dessa forma, é possível elaborar estratégias de conservação específicas para essas áreas remanescentes e em estado de vulnerabilidade, visto que variações ambientais em pequenas escalas podem determinar diferenças morfoanatômicas e fisiológicas em distintas populações (Negreiros et al., 2014).

A estrutura dos geoambientes de Campos Rupestres Ferruginosos, também é influenciada por fatores como condições edáficas, topográficas e microclimáticas singulares (Campos et al., 2022). De forma geral essa vegetação é adaptada a alta exposição solar, nebulosidade, ventos constantes, amplitudes térmicas diárias acentuadas, baixa profundidade do solo, elevada acidez, alta concentração de metais pesados, pobreza de nutrientes, pouca disponibilidade hídrica e elevada taxa de erosão (Skirycz et al., 2014; Mota et al., 2015; Silveira et al., 2016; Silva et al., 2020; Campos et al., 2022). Nesses ecossistemas, a biota do solo desenvolve um importante papel na formação dos solos mais profundos e disponibilidade de nutrientes, como cupins e formigas, que atuam na pedobioturbação (Schaefer et al., 2015, Schaefer et al., 2016).

Já foi observado, em Campos Rupestres Ferruginosos de Carajás, a atuação dos cupins na estruturação física dos solos, com construções de galerias subterrâneas; bem como na composição química (Schaefer et al., 2016). Cupins possuem um sistema digestivo altamente eficiente, capaz de digerir celulose e reciclar o material vegetal, estabilizando o carbono orgânico do solo em microagregados estáveis, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e elevando as concentrações de fósforo, cálcio, potássio, sódio, magnésio e matéria orgânica. Destaca-se a importância da serrapilheira acumulada nesses ecossistemas, que favorece a fauna do solo, e conseqüentemente a ciclagem de nutrientes e a manutenção da fertilidade do solo (Di Lonardo et al., 2018, Smith et al., 2019).

As condições ambientais dos complexos rupestres em contraste com as florestas do entorno resultam na formação de diversos micro-habitats, os quais podem ser a chave para os endemismos encontrados nesses ecossistemas, bem como da formação dos diferentes geoambientes rupestres (Mota et al., 2015; Mota et al., 2020; Silva et al., 2020). A limitada distribuição geográfica atrelada ao avanço das pressões antrópicas apresenta uma ameaça à manutenção da diversidade de plantas dos Campos Rupestres Ferruginosos no Brasil, e na Amazônia em particular (Jacobi et al., 2011). A intensa supressão dos Complexos Rupestres para extração mineral tem evidenciado a dificuldade de conciliar essa atividade com a conservação desses ecossistemas, mesmo diante da sua evidente

importância ecológica (Souza-Filho et al., 2019). A Serra de Campos em São Félix do Xingu, um remanescente expressivo de CRF na Amazônia, ainda carece de estudos a respeito da estrutura das comunidades e dos diferentes nichos que ocupam no seu ambiente natural (Andrino et al., 2020). Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo descrever, mapear e avaliar os geoambientes de Campos Rupestres Ferruginosos do Sudeste do Pará, bem como determinar e entender os padrões da estrutura e diversidade taxonômica e filogenética das comunidades vegetais dos Campos Rupestres Ferruginosos da Serra de Campos em São Félix do Xingú, Brasil.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Descrever e analisar os geoambientes de uma área remanescente de Campos Rupestres Ferruginosos do Sudeste do Pará, bem como determinar e entender os padrões da estrutura e diversidade taxonômica e filogenética das comunidades vegetais dos Campos Rupestres Ferruginosos da Serra de Campos em São Félix do Xingú, Brasil.

### 2.2 Objetivos específicos

- Descrever e determinar os geoambientes de Campo Rupestre Ferruginoso da Amazônia Oriental;
- Descrever os solos associados ao Campo Rupestre Ferruginoso: características e similaridades com relação à outros CRF;
- Avaliar a influência dos termiteiros na formação dos solos;
- Determinar e comparar os padrões da estrutura das comunidades vegetais em cada geoambiente;
- Apresentar os padrões de diversidade taxonômica e filogenéticas das comunidades vegetais;
- Avaliar a influência das propriedades químicas e físicas do solo, bem como a ciclagem de nutrientes (serrapilheira) na estrutura filogenética de cada geoambiente.

## REFERÊNCIAS

- ANDRINO, C. O., BARBOSA-SILVA, R. G., LOVO, J., VIANA, P. L., MORO, M. F., & ZAPPI, D. C. Iron islands in the Amazon: investigating plant beta diversity of canga outcrops. *PhytoKeys*, 165, 1–25, 2020. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.165.54819>
- CALOW, P. Towards a definition of functional ecology. *Functional Ecology*, 1(1), 57-61, 1987. <https://doi.org/10.2307/2389358>

CAMPOS, P. V., SCHAEFER, C. E. G. R., PONTARA, V. *et al.* A filtragem ambiental em escala local molda a diversidade taxonômica e filogenética de plantas em um *tepui* amazônico isolado (montanha da mesa de Tepequém). *Evol Ecol* 36 , 55–73, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10682-021-10141-w>

CARMO, F. D., CARMO, F. D., CAMPOS, I. C., & JACOBI, C. M. Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, 295(50), 48-53. 2012.

DE OLIVEIRA, B. A., DE OLIVEIRA, M. F., & MACIEL-SILVA, A. S. Vegetation mosaic shaping bryophyte diversity in a threatened ecosystem: A case study of Brazilian Cangas (ferruginous rupestrian fields). *Flora*, 313, 152474, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2024.152474>

DI LONARDO, D.P., MANRUBIA, M., DE BOER, W., ZWEERS, H., VEEN, G.F., VAN DER WAL, A. Relationship between home-field advantage of litter decomposition and priming of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 126, Pages 49-56, ISSN 0038-0717, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.07.025>.

DIAS, H. C. T., FERNANDES FILHO, E. I., SCHAEFER, C. E. G. R., FONTES, L. E. F., & VENTORIM, L. B. Geoambientes do parque estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. *Revista Árvore*, 26, 777-786, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600014>.

FERNANDES, G. W. (Ed.). **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil** (Vol. 1, pp. 3-14). Switzerland: Springer International Publishing. 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5>.

GIULIETTI, A.M., GIANNINI, T.C., MOTA, N.F.O. *et al.* Edaphic Endemism in the Amazon: Vascular Plants of the *canga* of Carajás, Brazil. *Bot. Rev.* 85, 357–383, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12229-019-09214-x>

JACOBI, C.M., DO CARMO, F.F. & DE CAMPOS, I.C. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. *AMBIO*, 40, 540–543 (2011). <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0151-7>

JACOBI, C. M., & CARMO, F. F. D. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 25, 395-412, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200016>.

LAURETO, L. M. O., CIANCIARUSO, M. V., & SAMIA, D. S. M. Functional diversity: an overview of its history and applicability. *Natureza & Conservação*, 13(2), 112-116, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.001>

MEIER, M., FRANCELINO, M. R., GASPARINI, A. S., THOMAZINI, A., PEREIRA, A. B., VON KRÜGER, F. L., ... & SCHAEFER, C. E. G. R. Soils and Geoenvironments at Stansbury Peninsula, Nelson Island, Maritime Antarctica. *Catena*, 223, 106884. Mota NF de O, Silva LVC, Martins FD, Viana PL. 2015. Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. In: Carmo FF, Kamino LHY, eds. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 289–315, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106884>

MOTA, M.R., PINHEIRO, F., SANTOS LEAL, B.S.D. *et al.* Correction: From micro- to macroevolution: insights from a Neotropical bromeliad with high population genetic structure adapted to rock outcrops. *Heredity*, 125, 372 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41437-020-00359-9>

NEGREIROS, D., LE STRADIC, S., FERNANDES, G.W. *et al.* CSR analysis of plant functional types in highly diverse tropical grasslands of harsh environments. *Plant Ecol*, 215, 379–388, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0302-6>

NUNES, J. A., SCHAEFER, C. E., FERREIRA JÚNIOR, W. G., NERI, A. V., CORREA, G. R., & ENRIGHT, N. J. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 87, 2097-2110, 2015. <https://doi.org/10.1590/0001-376520152014-0106>.

PINTO-JUNIOR, H. V., DE CARVALHO MÜLLER, L. A., & NERI, A. V. Turnover is the dominant process of taxonomic and functional  $\beta$ -diversity on Neotropical inselbergs. **Flora**, 305, 152319, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152319>.

PINTO-JUNIOR, H. V., HERINGER, G., DINIZ, É. S., MÜLLER, L. A. D. C., VILLA, P. M., MEIRA-NETO, J. A. A., & NERI, A. V. Biogeographic isolation and climate shape the evolutionary heritage of Neotropical inselbergs. **Global Ecology and Biogeography**, 33, e13860, 2024. <https://doi.org/10.1111/geb.13860>

PONTARA, V., BUENO, M.L., REZENDE, V.L. *et al.* Evolutionary history of *campo rupestre*: an approach for conservation of woody plant communities. **Biodivers Conserv**, 27, 2877–2896, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1574-2>

SCHAEFER, C. E., CÂNDIDO, H. G., CORRÊA, G. R., PEREIRA, A., NUNES, J. A., SOUZA, O. F., ... & KER, J. C. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. **Geossistemas ferruginosos do Brasil: Áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. *Belo Horizonte: 3i Editora*, 77-102, 2015.

SCHAEFER, C.E.G.R., MARINS, A., CORRÊA, G.R., DESOUZA, O., NUNES, J.A. Termite Role in Soil Nutrient Cycling in Ironstone Rupestrian Grasslands (*Canga*) in Carajás, Brazilian Amazonia. In: Fernandes, G. (eds) Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil. **Springer**, Cham, 2016. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5_16)

SCHAEFER, C.E.R.G. *et al.* The Physical Environment of Rupestrian Grasslands (Campos Rupestres) in Brazil: Geological, Geomorphological and Pedological Characteristics, and Interplays. In: Fernandes, G. (eds) Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil. **Springer**, Cham. 2016. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5_2)

SILVA, A. R., RESENDE-MOREIRA, L. C., CARVALHO, C. S., LANES, E. C. M., ORTIZ-VERA, M. P., VIANA, P. L., & JAFFÉ, R. Range-wide neutral and adaptive genetic structure of an endemic herb from Amazonian Savannas. **AoB PLANTS**, 12(1), plaa003, 2020. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaa003>

SILVEIRA, F.A.O., NEGREIROS, D., BARBOSA, N.P.U. *et al.* Ecology and evolution of plant diversity in the endangered *campo rupestre*: a neglected conservation priority. **Plant Soil**, 403, 129–152, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2637-8>

SKIRYCH, A., CASTILHO, A., CHAPARRO, C., CARVALHO, N., TZOTZOS, G., & SIQUEIRA, J. O. Canga biodiversity, a matter of mining. **Frontiers in plant science**, 5, 653, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00653>

SMITH, S.W., SPEED, J.D.M., BUKOMBE, J., HASSAN, S.N., LYAMUYA, R.D., MTWEVE, P.J., SUNDSDAL, A. AND GRAAE, B.J. Litter type and termites regulate root decomposition across contrasting savanna land-uses. **Oikos**, 128: 596-607, 2019. <https://doi.org/10.1111/oik.05697>

SOUZA-FILHO, P. W. M., GIANNINI, T. C., JAFFÉ, R., GIULIETTI, A. M., SANTOS, D. C., NASCIMENTO JR, W. R., ... & SIQUEIRA, J. O. Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: A challenge for biodiversity conservation. **PLoS One**, 14 (1), e0211095, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211095>

VASCONCELOS, M. F. D. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil?. **Brazilian Journal of Botany**, 34, 241-246, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000200012>

ZAPPI, D. C., MORO, M. F., MEAGHER, T. R., & NIC LUGHADHA, E. Plant Biodiversity Drivers in Brazilian *Campos Rupestres*: Insights from Phylogenetic Structure. **Frontiers in plant science**, 8, 2141, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02141>

## **CAPÍTULO 1: As últimas paisagens de Campos Rupestres Ferruginosos do sudeste da Amazônia**

### **1. INTRODUÇÃO**

Os solos são reconhecidos como bons estratificadores ambientais e podem fornecer informações importantes sobre a evolução da paisagem (Schaefer et al., 2016a). Na região de Carajás, a maioria dos estudos de solos estão relacionados à exploração mineral e concentrados na região da Floresta Nacional de Carajás (Almeida 1980; Beisiegel et al., 1973; Costa et al., 2005; Araújo & Maia 1991; Schaefer et al., 2016a). Entretanto, estudos voltados para a caracterização dos solos e geoambientes de outras manchas de Campos Rupestres Ferruginosos (CRF) são escassos, principalmente nas áreas remanescentes do entorno de Carajás (Nunes et al., 2015). Dessa forma, novos estudos podem elucidar a relação entre os fatores e os processos de formação do solo e dos geoambientes em um dado contexto ambiental.

Os Campos Rupestres do Brasil são comumente associados a quartzitos e metarenitos, seguidos por litologias diversas, tais como granitos, gnaisses, xistos, sienitos, metapelitos, calcários e formações ferríferas (Schaefer et al., 2016b). Na província mineral de Carajás, esses ecossistemas ocorrem relacionados às formações ferríferas bandadas que, após um longo processo de intemperismo, resultam em profundos depósitos de minério de ferro supergênico (Gagen et al., 2019). Essas áreas são cobertas por um manto intemperizado, duro e consolidado, embora permeável à água da chuva, resistente à erosão e com solo pouco desenvolvido, chamado de *canga* (Dorr, 1964; Samama, 1986; Shuster et al., 2012; Gagen et al., 2019). Os solos de *canga* são pobres em nutrientes, ácidos, pouco desenvolvidos e com estrutura relativamente desenvolvida (Schaefer et al., 2016b). Essas condições somadas aos altos níveis de insolação, temperaturas elevadas do substrato, regime hídrico extremo, atuam como filtros ambientais para o estabelecimento da vegetação (Schettini et al., 2018; Fernandes 2016; Silveira et al., 2016; Schaefer et al., 2016b).

As condições tropicais úmidas em Carajás promovem atividade biológica intensa e fornecem evidências dos processos biogeoquímicos que ocorreram na formação dos solos dos Campos Rupestres (Gagen et al., 2019). Nesses ecossistemas, o processo de pedobioturbação do solo por cupins, formigas e outros organismos, é responsável pela formação de solos mais aprofundados, com maior disponibilidade de nutrientes (Schaefer et al., 2015, Schaefer et al., 2016c). Os cupins são capazes de alterar a estrutura física e

química dos solos através das galerias subterrâneas que constroem e do seu sistema digestivo capaz de digerir celulose ou até lignina, e reciclar o material vegetal em carbono orgânico estável nos solos, bem como elevar as concentrações de P, Ca, K, Na, Mg e MO (Schaefer et al., 2016c). Nos CRF os cupins reduzem a erosão superficial, gerando um solo friável rico em matéria orgânica que preenche fraturas e microdepressões na *canga* (Schaefer et al., 2009), enquanto nas florestas os solos de cupinzeiros são mais ricos em argila e minerais secundários com pouco material sáprico e preto, evidenciando os diferentes papéis dos cupinzeiros em ambientes contrastantes (Campos Rupestres e florestas) (Schaefer et al., 2016b).

As condições ambientais dos complexos rupestres em contraste com as florestas do entorno resultam na formação de diversos habitats e micro-habitats, os quais podem favorecer os endemismos encontrados nesses ecossistemas (Mota et al., 2015; Silva et al., 2020; Mota et al., 2020). Os diferentes geoambientes possuem uma extensão territorial definida, com certa homogeneidade de fatores ambientais e condições edáficas, com comunidades botânicas próprias e aspectos fisionômicos que a distinguem das demais (Dias et al., 2002; Mota et al., 2015). Os geoambientes usualmente variam em relação à profundidade do solo, drenagem, topografia, microclima, estabilidade e evolução da paisagem (Fernandes 2016; Silveira et al., 2016; Schaefer et al., 2016b). Os CRF são marcados pela alta diversidade de plantas e endemismo, onde as espécies possuem adaptações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e reprodutivas que possibilitam seu estabelecimento nessas áreas (de Oliveira et al., 2024; Silva et al., 2020). Entretanto, pouco se conhece sobre os geoambientes das áreas remanescentes de CRF do entorno de Carajás, dificultando estratégias para sua conservação, em sentido mais amplo.

A intensa supressão dos CRF para extração mineral e a expansão das áreas de pecuária na região, evidenciam a dificuldade de manter a conservação *in situ* desses ecossistemas, mesmo diante da sua importância ecológica (da Fonseca-da-Silva et al., 2020; Leal et al., 2020; Souza-Filho et al., 2019; Silveira et al., 2016). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi descrever e analisar os geoambientes de Campos Rupestres Ferruginosos do Sudeste do Pará, Brasil. Para isso foram selecionadas seis áreas no entorno de Carajás (Serra de Campos/Serra de São Félix, Serra da Bocaina, Serra Leste, Patamares e Terraços do Araguaia, Serra Arqueada e Redenção) onde foram coletados 40 perfis de solo para uma análise profunda dos geoambientes da região.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Descrever e analisar os geoambientes de Campos Rupestres Ferruginosos do Sudeste do Pará, Brasil.

### **2.2. Objetivos específicos**

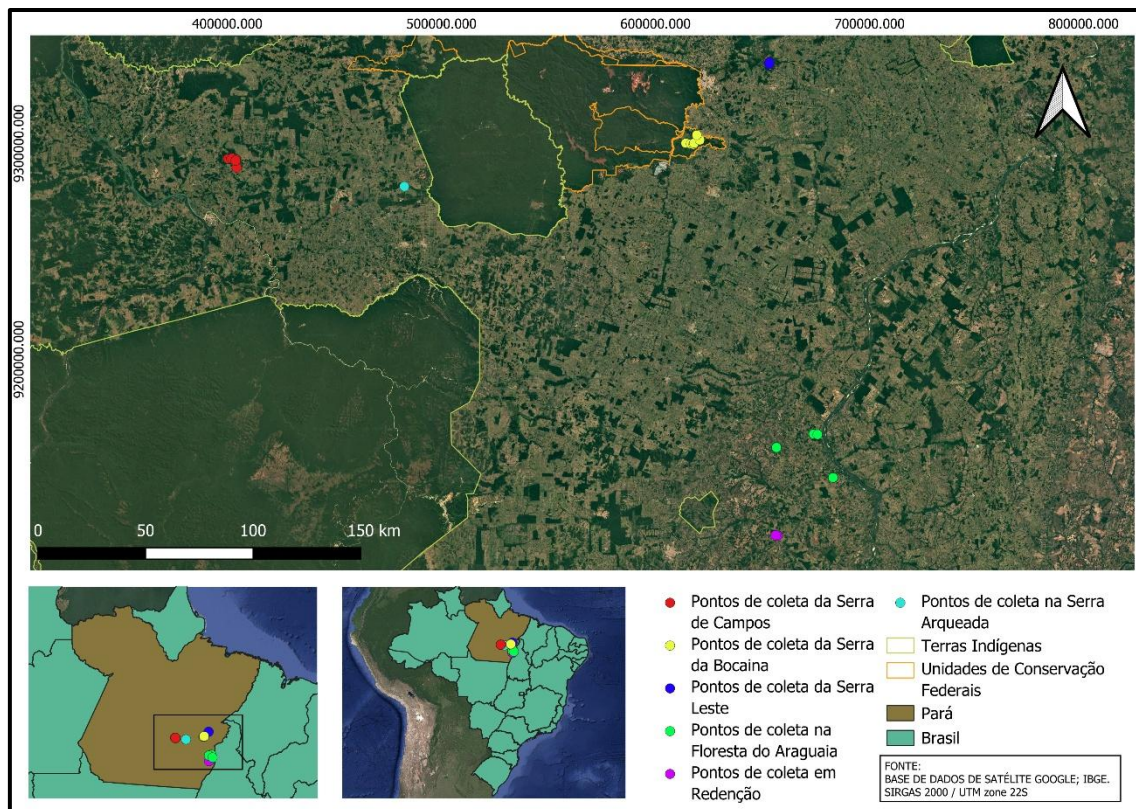
- Descrever e determinar os geoambientes do Sudeste do Pará;
- Apresentar uma descrição dos solos: características e similaridades;
- Avaliar a influência dos termiteiros na formação dos solos adjacentes.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. Área de estudo**

A área de estudo está localizada na Província Mineral de Carajás, que se encontra na porção sudeste do Cráton Amazônico (Hasui et al., 1984), é geologicamente complexa, com diversas formações ferríferas bandadas representadas por jaspilitos, com rochas máficas intercaladas (andesitos, basaltos, materiais vulcanoclásticos e gabros) (Grainger et al., 2008; Souza-Filho et al., 2019). A região possui coberturas lateríticas formadas a partir dos processos de aplainamento ocorridos na região desde o Cretáceo (Ab'Saber 1986; Viana et al., 2016). Esse processo evolutivo é visto como o responsável pelo enriquecimento expressivo em ferro a partir das rochas da formação ferrífera bandada, sejam elas itabiritos ou jaspelitos (Viana et al., 2016). Nessa região as elevações estão entre 500m e 700m de altitude com topos ligeiramente aplainados, ocorrendo também, com menor frequência, relevos colinosos e serras com cristas aguçadas (Viana et al., 2016).

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw (Alvares et al., 2013), com precipitação anual elevada (~2.000 mm), cujo regime pluviométrico apresenta um ciclo unimodal, com inverno seco e verão chuvoso que se inicia em outubro, atinge o máximo entre janeiro a março e finaliza em maio (Viana et al., 2016; Souza-Filho et al., 2019). As temperaturas mensais variam entre 25°C e 26°C, com a temperatura mínima absoluta entre 16°C e 18°C entre julho e outubro, e a temperatura máxima entre 34°C e 38°C durante todos os outros meses (Sahoo et al., 2016). Já as médias de umidade relativa do ar estão entre 76,8% e 88,5%, com valores altos durante todo o ano (Viana et al., 2016).



**Figura 1** Distribuição dos pontos de coleta de Solos no sudeste da Amazônia.

Fonte: Ribeiro, 2025.

### 3.2. Coleta, processamento e análises de solo

Foram amostrados 12 perfis de solos em São Félix do Xingu, sete perfis na Serra da Bocaina, quatro na Serra Leste, 11 em Floresta do Araguaia e três em Redenção e Serra Arqueada. Todos os pontos de coleta estão em áreas representativas dos geoambientes de Campos Rupestres e formações florestais adjacentes.

Os solos dos perfis foram coletados, descritos e classificados seguindo os métodos estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBICS (Dos Santos et al., 2015, Dos Santos et al., 2018). A coleta ocorreu em junho de 2023, sendo que os solos de São Félix do Xingu foram coletados em abril de 2024. Os métodos de análises utilizados seguiram as recomendações da Embrapa (Teixeira et al., 2017). Para isso, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, esse material foi submetido às seguintes análises: pH em água e KCl;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis (extraídos com KCl 1 mol/L); P, Na, K, Fe, Zn, Mn e Cu disponíveis (extraídos com Mehlich-1); acidez extraível ( $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{3+}$ ); e o teor de matéria orgânica (MO), e Carbono Orgânico estimado pela equação:  $\text{COT} = \text{MO} / 1,724$  (WalkleyBlack). A granulometria foi obtida segundo o método da

pipeta para quantificar as frações de areia grossa (2 – 0,2 mm), areia fina (0,2 – 0,05 mm), silte (0,05 – 0,002 mm) e argila (> 0,002mm).

### **3.3. Análise dos termiteiros adjacentes aos perfis de solos coletados**

Nas proximidades de cada perfil de solo foram coletadas três amostras simples de termiteiros epígeos conforme Sarcinelli et al., (2013). Os solos de termiteiros foram secos ao ar livre, destorroados e passados em peneira de 2 mm para obter a terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, foram submetidos às mesmas análises químicas e físicas dos solos de perfis adjacentes (Teixeira et al., 2017).

### **3.4. Análises estatísticas**

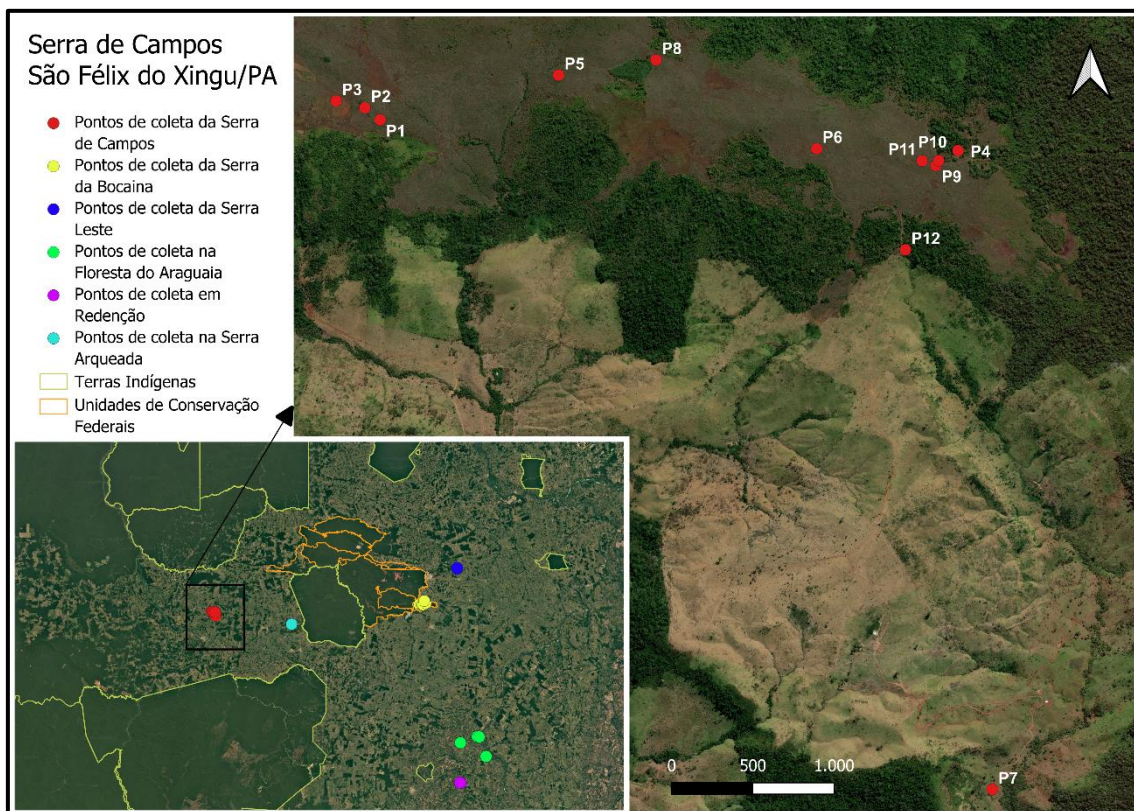
Os solos dos perfis foram submetidos a estatística descritiva para obtenção de média e desvio padrão de cada variável por geoambiente. Posteriormente foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) (Jolliffe & Cadima, 2016), através das variáveis já filtradas pela multicolinearidade (análise de correlação superior à 0,7) (Pearson, 1895), a fim de obter as variáveis mais explicativas para a PCA. Para melhor entender a influência das variáveis físico-químicas da PCA sobre os geoambientes, as variáveis foram submetidas ao teste de normalidade Shapiro–Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). As variáveis com distribuição normal foram submetidas à análise de variância (ANOVA), seguida dos testes de Tukey (Tukey, 1949) e de Duncan (Duncan, 1955) para comparação de médias. Para as variáveis que não seguem uma distribuição normal, foram avaliadas por meio do teste de Kruskal–Wallis (Kruskal & Wallis, 1952), seguido do teste de Dunn, implementado no pacote FSA (Dinno, 2017; Ogle et al., 2024), para comparações múltiplas, com correção de Bonferroni (Dunn, 1964).

Para avaliar a influência dos termiteiros na composição dos solos dos horizontes superficiais dos perfis adjacentes, os dados obtidos das amostras de termiteiros foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA), seguindo a mesma padronização descrita acima. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2024) e os pacotes correspondentes para cada análise estatística.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Perfis de solos dos campos rupestres ferruginosos do Sudeste do Pará

#### 4.1.1. Serra de Campos - São Félix do Xingu



**Figura 2** Pontos de coleta de Perfis na Serra de Campos em São Félix do Xingu-PA.

Fonte: A autora, 2025.

#### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com *Syagrus* sp.**

O perfil P1 (Fig. 3: A-1) em Campo Rupestre Aberto de *Syagrus* sp., está no topo da serra de São Félix, na parte central da serra. Esse campo está estruturado por *Syagrus* sp., *Pleroma* sp., *Bauhinia* sp. e diversos arbustos, sendo bastante diferenciados em relação aos Campos Rupestres Ferruginosos da serra de Carajás, com *Bauhinia* sp. e *Syagrus* sp. dominantes (Fig. 3: A-2). Esse perfil está numa encosta próxima a uma área com arbustos bem degradados, sugerindo que se trata de um capão baixo que foi degradado pelo fogo.

O solo tem um horizonte Ac (0 a 8 cm) com material concrecionário, solto e friável, sobreposto à uma camada F, dura e cimentada, abaixo. A camada F (litoplíntica) é contínua, mas fraturada, entre 8 e 10 cm da superfície. Os blocos de canga formam um lajeiro contínuo ou semicontínuo, e representam um perfil clássico dos Campos Rupestres

Abertos da Formação Carajás. A atração magnética é alta no material, especialmente no material concrecionário.

### **Capão Florestal de Canga no topo**

O perfil P2 (Fig. 3: B-1) é um Plintossolo Pétrico Concrecionário litoplântico em Capão florestal de canga (Fig. 3: B-2). A área mostra traços de fogo, com carvão abundante e troncos queimados. Localiza-se no alto da Serra de Campos, em relevo suave ondulado. Os horizontes Ac e Bc apresentam muitos cascalhos, com abundantes nódulos irregulares, e raízes abundantes no entremeio. Há a presença de muitos fragmentos de carvão, indicando a ocorrência de incêndios.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso**

O perfil P3 (Fig. 3: C-1) está localizado em uma área de campo brejoso-graminoso, classificado como Plintossolo Pétrico Concrecionário litoplântico, com lençol freático aflorando a 10 cm, e mal drenado. A vegetação dominante é formada por Poaceae e Cyperaceae tolerantes à inundação, com presença muito comum de algas e musgos na superfície (Fig. 3: C-2). É um solo muito mal drenado, muito cascalhento, com concreções e nódulos dominantes, com concentração de raízes muito finas nos primeiros 10 cm.

### **Capão Florestal em Canga na Serra de Campos**

O perfil P4 (Fig. 3: D-1), em Capão florestal conectado na borda do platô, possui um horizonte A escurecido abaixo da serapilheira, que grada para um horizonte AB. Abaixo do horizonte AB, ocorre um Bw concrecionário mais escuro, seguido de Bwc2 (Tabela 1 – Apêndice A) com material menos escurecido e mais avermelhado. A classificação desse solo é um Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico, bem semelhante aos encontrados nos Capões de canga em Carajás (Schaefer et al., 2012). Possui mais de 80 cm de espessura no horizonte Bw concrecionário, sendo bem friável, com características de material latossólico (estrutura granular pequena a média, forte) e muitas concreções pequenas e médias em todo o perfil, até a superfície, diminuindo um pouco no horizonte A, e aumentando do horizonte AB para baixo.

A área já foi fruto de corte seletivo de árvores, em relevo plano de topo, e representa as áreas de florestas sobre a canga, no material da formação Carajás, (jaspelito ferruginoso). Possui atividade biológica no perfil, notadamente cupins, formigas e outros insetos. Apesar da extração seletiva, o capão está bem conservado, e o sub-bosque dele bem aberto, com plantas ombrófilas (Fig. 3: D-2)

### **Buritizal em depressões de topo**

O perfil 5 está associado ao Buritizal, a vegetação tem uma mistura de Buriti e Buritirana, não muito segregadas, mas com tendência de concentrar as últimas na borda. Possui Buritis muito altos, antigos, e tem um estande de Buritirana que foi parcialmente queimado, mas bem desenvolvido. O perfil é um Organossolo, com um horizonte hístico de 40 cm assentado sobre canga. É bem possível que no centro da formação o Organossolo seja mais profundo. Esse perfil representa o geoambiente de Buritizal (Fig. 3: E), comum nos topos das Serras de Carajás. Nas margens possui um campo higrófilo ou hidrófilo, com a presença de muitas Eriocaulaceae.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto-arbustivo**

O perfil P6 (Fig. 3: F-2) é associado a um Plintossolo Pétrico Concrecionário litoplíntico, em Campo Rupestre Aberto-arbustivo na parte alta da Serra de São Félix, com relevo ondulado. Esse perfil é mal drenado, com muitos cascalhos e nódulos ferruginosos pequenos à grandes, dominantes. Raízes finas, médias e grossas são abundantes na superfície, além da presença de muitas briófitas, indicando inundação sazonal (Fig. 3: F-1) prolongada.

### **Pastagem (área antropizada) na subida da Serra de Campos**

O P7 (Fig. 3: G-2) é um Nitossolo Vermelho desenvolvido de rocha metabásica, localizado numa encosta ravinada com forte declividade e relevo montanhoso. O Nitossolo tem um horizonte A erodido (0 a 10 cm), seguido de horizonte AB (10 a 30 cm), horizonte Bt<sub>1</sub> (30 a 60 cm), um Bt<sub>2</sub> (60 a 100 cm) e Bt<sub>3</sub> (100 a 140 cm), com transições planas e graduais.

O solo tem uma cerosidade forte e abundante em Bt, que começa a se expressar desde o horizonte AB, com superfície fosca e escura (orgânica) na parte superior, e brilhante, cromada nos horizontes Bt. A estrutura em blocos angulares é pequena a média, com certo desenvolvimento de estrutura prismática fraca, onde a estrutura dominante é em blocos. É um solo muito argiloso, sem atração magnética, fraco gradiente textural. Pelo desmatamento recente, o solo provavelmente foi decapitado e o saprolito dele está aproximadamente a dois metros e cinquenta de profundidade, com cor amarelada ocre, enquanto o solo acima tem cor vermelha.

As raízes da vegetação de pastagem atual (capim-mombaça) (Fig. 3: G-1), são comuns, poucas raízes médias e muitas raízes finas e muito finas na superfície; com

poucas raízes finas alcançando a profundidade do Bt2. O perfil tem atividade biológica marcante, até 140 cm de profundidade, com abundantes galerias, câmaras de cupins e formigas e muitos canais com revestimentos, denotando uma estrutura pedogenética clássica formada pela intensa ação biológica. O revestimento interno dessas câmaras é material granular, bioturbado.

Esses Nitossolos são comuns em muitas áreas de metabásicas da Amazônia, e eram originalmente recobertos de Floresta Ombrófila de porte elevado, em grande parte destruídos.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de Lajeiro**

O perfil P8 (Fig. 3: H-2) é um Plintossolo Pétrico Concrecionário litoplíntico, localizado no topo da Serra de São Félix, próximo a uma depressão hidromórfica com Buritis, onde o relevo é suave ondulado e a canga aflora em lajeiro. A vegetação é formada por indivíduos de *Bauhinia* sp., *Byrsonima* sp., *Pleroma* sp., *Norantea* sp., *Ipomoea* sp., *Catsetum* sp. e diversas herbáceas (Fig. 3: H-1). O solo é mal drenado e muito cascalhento, apresentando abundância de raízes muito finas, finas e médias no delgado solo, em bolsões. Como a lâmina de água da inundação não é profunda nem permanente não há formação de turfeiras.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto**

O perfil P9 (Fig. 3: I) está localizado em um Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com padrão muito característico, com elevada riqueza de *Ananas* e outras bromélias, com diversos arbustos de espécies como *Bauhinia* sp., *Tibouchina* sp. e Myrtaceae, mas sem ocorrência de espécies do gênero *Mimosa*. Ocorrem orquídeas como *Sobralia* sp. e *Cyrtopodium* sp., e a paisagem mostra muitos termiteiros epígeos regularmente espaçados. O perfil foi coletado em solo raso sobre *canga*, em que o material edafizado é praticamente formado pelos termiteiros degradados, a exemplo de Serra Sul em Carajás. A diferença aqui é o estado de conservação dos fragmentos, podendo ser considerados bem preservados.

### **Capão florestado sobre canga degradada**

O perfil P10 (Fig. 3: J) está localizado em capão florestado bem conservado no topo da Serra de São Félix, sendo um semelhante aos da Serra de Carajás, possuindo entre 30 a 35 cm de profundidade com sequência do horizonte A sobre o AF. O horizonte A tem pouco acúmulo de matéria orgânica, é rico em concreções pequenas e bastante vermelho. O horizonte AF tem muitos fragmentos concrecionários não nodulares de

jaspilito ferruginoso. Trata-se de um Plintossolo Pétrico Concrecionário com característica de um material bastante microagregado e latossólico, abaixo do horizonte A. Os capões se desenvolvem sobre material edafizado desse tipo, com floresta de porte médio a alto, normalmente aberta. Possui sinais da passagem de fogo recente, com muita rebrota.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo**

O perfil P11 (Fig. 3: K) está localizado em um Campo Rupestre arbustivo denso, com a presença de algumas arvoretas pequenas. O acúmulo de carbono nessa área é consideravelmente alto entre os geoambientes bem drenados, semelhante ao padrão dos solos na Serra Sul de Carajás (Ribeiro, 2009). O solo possui um horizonte A abaixo da serrapilheira, escuro, com muitas raízes finas e médias, seguido de um horizonte AF. A classificação é um Plintossolo Pétrico litoplântico, com A húmico. A profundidade do horizonte AF já permite o desenvolvimento de uma vegetação mais densa, arbustiva e há presença de serrapilheira espessa, ausente no Campo Rupestre aberto. Existe um gradiente de profundidade, de escurecimento de matéria orgânica que tem forte similaridade com a Serra Sul em Carajás, em que o máximo de matéria orgânica ocorre nos sistemas arbustivos.

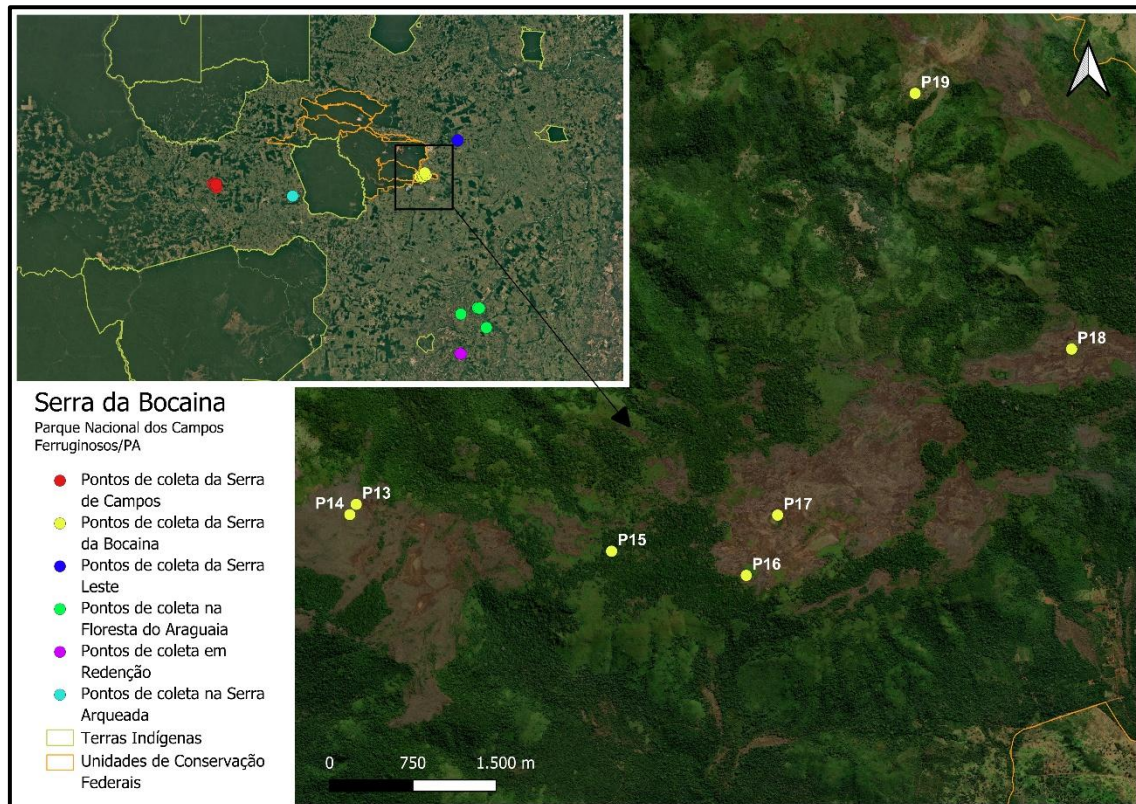
### **Capão Florestal de Borda da Serra de Campos**

O perfil P12 (Fig. 3: L) está localizado em um capão florestal na borda da Serra de São Félix, no início da descida, com muita canga retrabalhada, e blocos grandes (matacões) caídos por queda de árvores, e erosões da canga. A floresta foi completamente queimada abaixo do ponto amostral onde foram feitas as coletas, no capão florestal de canga de porte elevado.



**Figura 3** Perfis de São Félix. A-1: Perfil P1; A-2: Ambiente do P1 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com *Syagrus*. B-1: Perfil P2; B-2: Ambiente do P2 em Capão Florestal. C-1: Perfil P3; C-2: Ambiente do P3 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. D-1: Perfil P4; D-2: Ambiente do P4 em Capão Florestal. E: Ambiente do P5 em Buritizal. F-1: Ambiente do P6 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto-arbustivo; F-2: Perfil P6. G-1: Ambiente do P7 em Pastagem; G2: Perfil P7. H-1: Ambiente do P8 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; H-2: Perfil P8. I: P9 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. J: P10 em Capão Florestal. K: P11 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. L: P12 em Capão Florestal.

#### 4.1.2. Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos



**Figura 4** Mapa dos pontos de coleta na Serra da Bocaina.

**Fonte:** A autora, 2025.

#### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com *Vellozia* sp.**

O perfil P13 (Fig. 5: A-2) está localizado no topo da Serra da Bocaina em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de *Vellozia* sp. (Fig. 5: A-1), a jusante das áreas de afloramento de grandes blocos de canga, onde a vegetação é mais arbustiva. O perfil foi coletado e descrito abaixo de um termiteiro, possui um horizonte A (0-15 cm – Tabela 2 – Apêndice A) que grada para um horizonte AF (15-25 cm), seguido de um horizonte F que apresenta fraturas na canga, condicionando o desenvolvimento da vegetação.

A área é um campo de canga nodular cimentada (camada F), o que indica um processo de formação mais antigo, como um terraço de canga do antigo nível lacustre, perfeitamente visível no alto da depressão fechada de lajeiro. Ou seja, são áreas de bancadas de canga de couraça litoplíntica formada por cimentação nodular, com presença de pequenos blocos arredondados cimentados pela canga.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo de topo**

O Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo de topo na Serra da Bocaina é dominado por *Mimosa acutistipula* (Mart.) Benth. e *Bauhinia pulchella* Benth., formando um sub-bosque com cerca de 3,5m a 4 m de altura. Possui abundância de serrapilheira e orquídeas, dentre elas *Sobralia liliastrum* Lindl. A serrapilheira forma uma camada de raízes de *S. liliastrum* contínuo onde a matéria orgânica se acumula.

O perfil P14 (Fig. 5: B) possui um horizonte A organo-mineral de 3 a 5 cm, seguido da camada F descontínua e muito fraturada. Trata-se de um Plintossolo Pétrico Litoplântico, com uma camada pequena mas rica em matéria orgânica. A área é marcada pela ocorrência de blocos grandes de canga erodida da borda do topo. Os blocos de Canga liquenizados condicionam maior umidade que é explorada pelas raízes dos arbustos. A flora típica é formada também por *Cereus* sp., *Dyckia* sp., *Ananas* sp., e *Sobralia* sp. Não foi observada a ocorrência de *Vellozia* sp. devido ao ambiente sombreado.

### **Capão Florestal de Canga de topo**

O perfil P15 (Fig. 5: C) está localizado na Serra da Bocaina, possui um Latossolo Vermelho Distroférico ácido e desenvolvido, provavelmente em canga do basalto. Tem forte magnetismo e apresenta um padrão semelhante ao Latossolo Vermelho do basalto que ocorre na Serra do Tarzan. Contém um horizonte A enterrado entre 20-30 cm que grada para um horizonte Bw (30 até 70 cm). Esse horizonte Bw não apresenta concreções grandes, apenas concreções residuais pequenas. Trata-se de um Latossolo desenvolvido de horizonte concrecionário muito antigo, com densidade baixa, e microestrutura granular forte.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso**

O perfil 16 (Fig. 5: D) fica localizado em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso dominando por *Crotalaria maypurensis* Kunth e Eriocaulaceas que formam um tapete contínuo de porte herbáceo. Também foi observado a presença de *Borreria* sp. diminuta, com floração azul. O Campo Brejoso está localizado ao lado de um Capão, cuja proveniência é a erosão do Latossolo da borda do entorno. O perfil possui um horizonte escuro de 0 a 10 cm seguido de um horizonte com material latossólico cromado de 10 a 15 cm.

### **Buritizal sobre depressões inundáveis**

Os perfis P17 e P18 estão localizados sob uma vegetação de buritizais (Fig. 5: E-1 e E:2), apresentam um solo escuro e com um adensamento de raízes que forma um

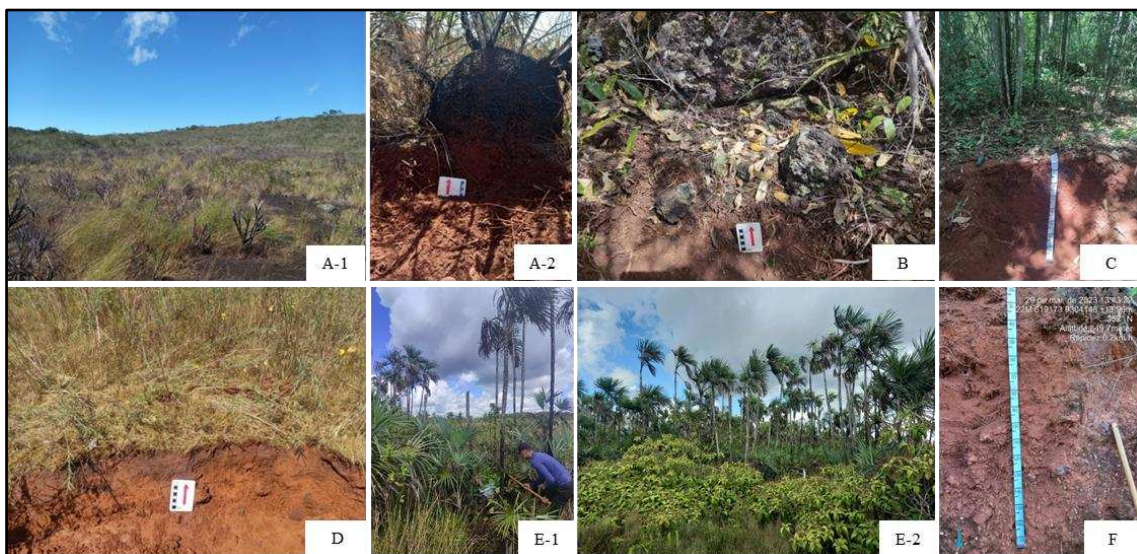
material fibroso na superfície onde foi realizada a coleta (0-20 cm). São solos mais ricos em matéria orgânica, cobertos por uma vegetação arbustiva de porte médio e dominada por palmeiras com porte pequeno, médio e alto. O Organossolo mais raso ocorre em contato litoplântico, apresentando semelhança com todos os buritizais nos topos de serra descritos em Carajás.

### Floresta de encosta

O perfil P19 (Fig. 5: F) é localizado na descida da Serra da Bocaina, na encosta superior, sobre canga do basalto, em colúvio de material rolado, e fragmentos misturados de canga retrabalhados e recimentados na matriz posterior, com aspecto conglomerático.

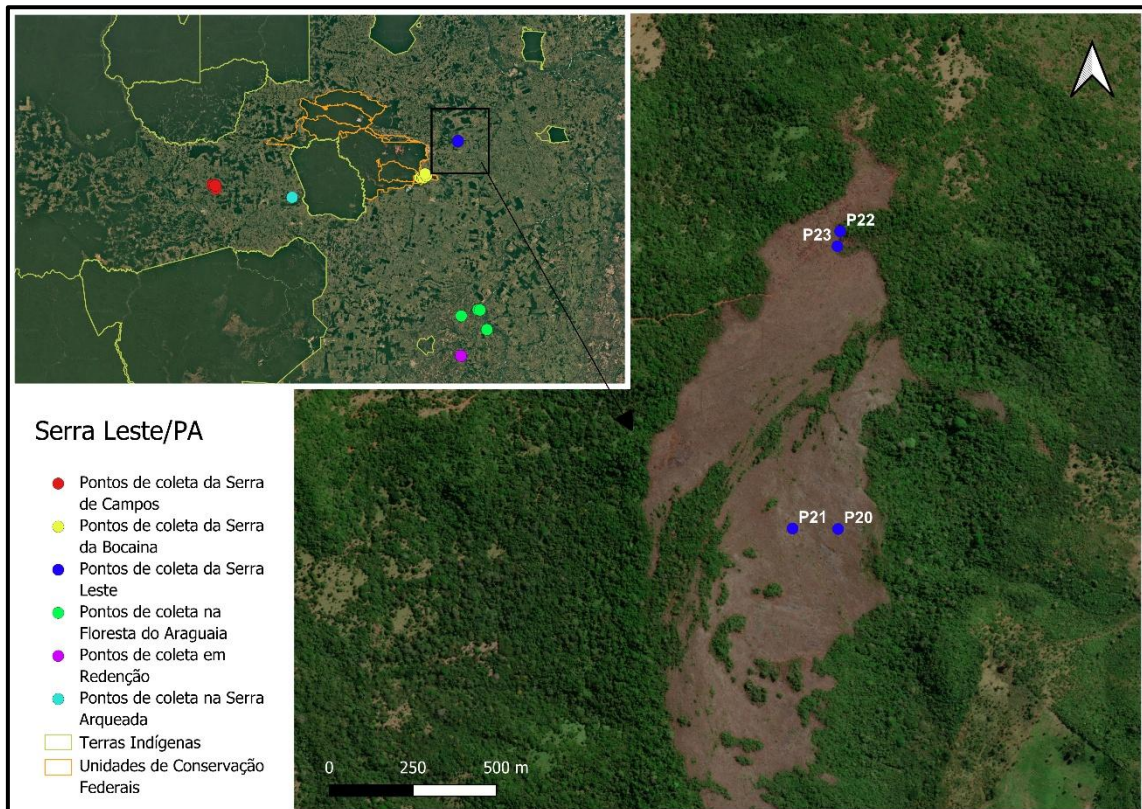
O solo é classificado como Latossolo Vermelho e possui um horizonte A enterrado (10 a 35 cm) seguido de um horizonte Bw (35 a 95 cm). Apresenta concreções pequenas espalhadas, porém o material é de terra fina e marcado por ativa pedobioturbação com muitas galerias e câmaras biológicas. Logo abaixo, existe uma passagem abrupta para o horizonte concrecionário de 95 a 160 cm, com cerca de 85 a 90% de concreções médias e grandes, e algumas concreções pequenas entremeadas no material latossólico.

Nesse perfil, as raízes não apresentam dificuldade para crescer no horizonte concrecionário, uma vez que ele se encontra degradado, e não existe a formação de um horizonte litoplântico ou impedimento de drenagem. A vegetação pode ser classificada como uma floresta ombrófila de encosta no mesmo padrão da Serra do Tarzan, Serra Sul e das outras serras com mata de encosta nas bordas em canga de basalto.



**Figura 5** Perfis da Serra da Bocaina. A-1: Ambiente do P13 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de *Vellozia* sp.; A-2: Perfil P13. B: Perfil P14 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. C: Perfil P15 em Capão Florestal de Canga. D: Perfil P16 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. E-1: Ambiente do P17 em Buritizal; E-2: Ambiente do P18 em Buritizal. F: Perfil P19 em Floresta de encosta.

### 4.1.3. Serra Leste



**Figura 6** Mapa de localização das áreas amostradas em Serra Leste.  
**Fonte:** A autora, 2025.

#### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de topo com *Vellozia* sp.**

O perfil P20 (Fig. 7: A-2) está localizado em um Campo Rupestre ferruginoso aberto de *Vellozia* sp. bem conservado, desenvolvido em cima de *stone runs* de seixos. Essa característica se associa a grandes áreas de escorregamentos de pedra muito antigos (Fig. 7: A-1). Esses *stone runs* tiveram fases sucessivas de escorregamentos coluviais, possuem maior quantidade de seixos na parte baixa, à medida que vai chegando na cabeceira se tornam mais angulosos, mas também é possível achar níveis de seixos pequenos por baixo desse material anguloso, indicando que é uma feição polifásica. O magnetito facilita isso em função da massividade da hematita compacta, muito diferente do padrão de jaspilite em Carajás.

A vegetação é composta por *Vellozia* sp., *Norantea guianensis* var. *goyazensis* (Cambess.) G.L.Ferreira, e algumas orquídeas. Formam o extrato arbustivo bem característico dessa área *Mimosa acutistipula* (Mart.) Benth. e *Bauhinia pulchella* Benth. Abaixo delas, a couraça ferruginosa cria muitas cavidades que abrigam uma fauna de morcego grande que recicla esse material. Não parece haver uma transferência do guano

para montante, mas é possível que algumas dessas plantas maiores se beneficiem dessas fraturas.

O solo possui um horizonte A1 de 0 a 10 cm (Tabela 3 – Apêndice A) com material degradado de raízes de orquídeas terrícolas com uma ligeira serrapilheira, formada pela decomposição das folhas, principalmente da *B. pulchella*. Posteriormente, ele grada para um horizonte C. Sendo classificado como Neossolo Litólico, pois não constitui concreção. A área não apresenta Plintossolo Pétrico em Campo Rupestre com material rolado direto da rocha ferrífera (magnetito).

### **Capão Florestal em Canga**

O perfil P21 (Fig. 7: B-2) localizado em um capão florestal de canga, apresenta o mesmo material seixoso do topo, porém coberto por um colúvio de material fino oxidado bastante latossólico e rico em matéria orgânica. Os horizontes A1(0-10 cm) e A2 (10-30 cm) possuem uma abundância de raízes médias e finas da própria vegetação florestal que contribuem para a ciclagem de nutrientes. O horizonte Bw (30 a 70 cm), continua abaixo. O capão florestal se desenvolve em cima de um solo de 60-70 cm de profundidade, friável, e pedregoso, mas não apresenta concreção laterítica; todo o material solto é material pedregoso e seixoso do próprio itabirito.

Nas proximidades é possível observar, no sub-bosque, formações de *Vriesea* sp. e *Philodendron* sp. ancorado em muitas árvores, exercendo papel importante na dinâmica da ciclagem (Fig. 7: B-1). O capão grada para o Campo Rupestre de forma abrupta, sem apresentar uma vegetação arbustiva de borda, apenas uma ou outra árvore de menor porte. O solo já cai direto para o *stone run* altamente rochoso.

### **Capão Florestal em Canga de topo**

O perfil P22 (Fig. 7: C-2) está localizado em um capão florestal no topo da Serra Leste, na vertente voltada para a Mina. É um Latossolo Vermelho Distroférrico húmico, cujo horizonte húmico é dividido em A (0 a 10 cm) com raízes finas abundantes e raízes médias, e AB (0 a 30 cm) com um escurecimento acentuado, de cor vermelha. Posteriormente, ele grada para o horizonte Bw1 (30 a 70 cm), apresentando concreções pequenas e médias, arredondadas, demonstrando que é da decomposição da canga adjacente pois está a cerca de 20 m do afloramento do lajeiro, estando também no mesmo nível.

O Latossolo tem estrutura forte, pequena e granular em todo o perfil, com concreção em Bw e com menos de 5% de concreção nos horizontes A. A floresta é formada por árvores finas (Fig. 7: C-1), de biomassa relativamente pequena, mas com indicador de CAP médio, dando a impressão que foi uma floresta degradada, devido a presença de troncos queimados.

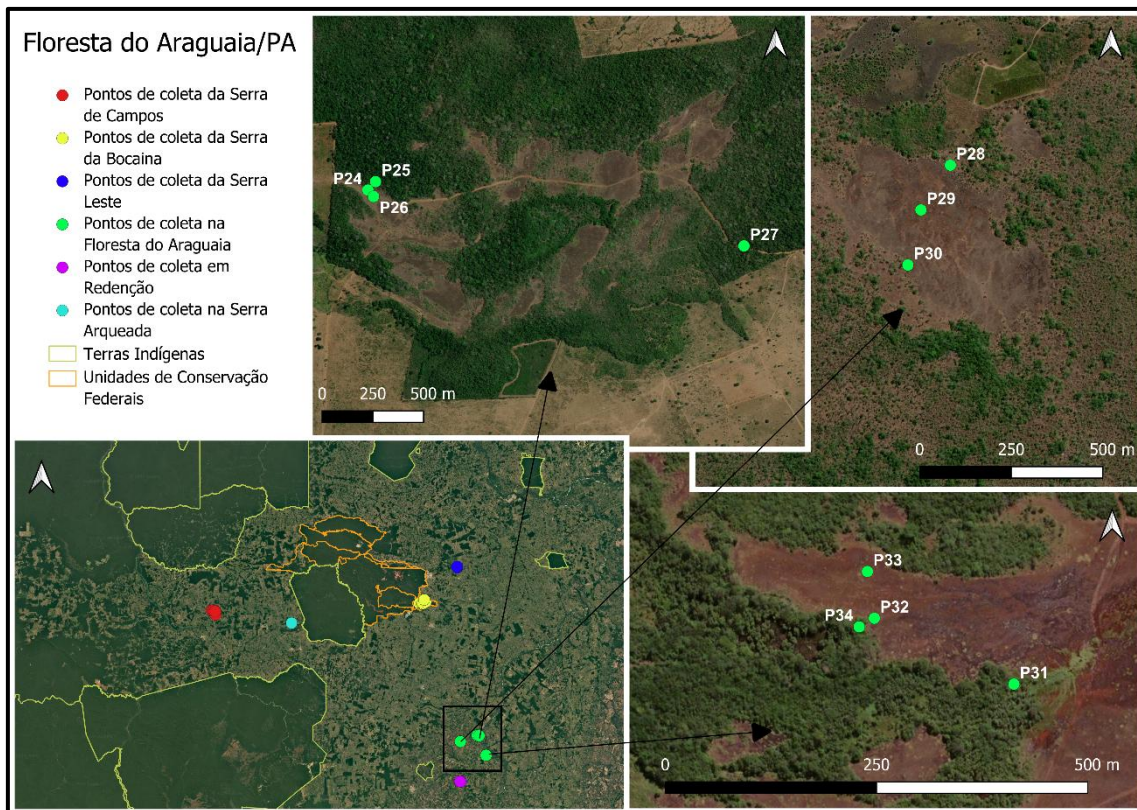
### Campo Rupestre Ferruginoso Aberto em Lajeiro

O perfil P23 (Fig. 7: D) está localizado em um Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de Lajeiro com blocos, e camada F e horizonte litoplíntico quase aflorante. Nas imediações observa-se o solo em bolsões, onde se concentram os arbustos, sempre associados com os termiteiros. É, portanto, um Plintossolo Pétrico Litoplíntico comum na Serra de Carajás. O horizonte A é escuro com estrutura de pequena a média em blocos, que se desfaz em pequena granular forte, típica dos termiteiros escuros dessa área. Enquanto o horizonte Litoplíntico está pouco degradado, praticamente contínuo, formando um lajeiro. Possui um material latossolizado coluvial com cerca de 10 cm de profundidade acima da camada F devido às proximidades do capão (30-40 m).



**Figura 7** Perfis da Serra Leste. A-1: Ambiente do P20 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com *Vellozia* sp.; A-2: Perfil P20. B-1: Ambiente do P21 em Capão Florestal; B-2: Perfil P21. C-1: Ambiente do P22 em Capão Florestal; C-2: Perfil P23. D: Perfil P4 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto.

#### 4.1.4. Terraços e Patamares do Araguaia



**Figura 8** Mapa de localização dos pontos de coleta em Terraços do Araguaia.

Fonte: A autora, 2025.

#### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto inundável em canga nodular**

O perfil P24 (Fig. 9: A-2) está localizado em um Campo Rupestre Ferruginoso Aberto inundável na borda da depressão do Araguaia, um alto estrutural dentro da faixa Tocantins, associado com Rochas metabásicas muito alteradas. No topo a vegetação é de cerrado *stricto sensu* e formam grandes moitas ligeiramente elevadas, mescladas com áreas de canga aflorante mas baixas, resultando em um Campo Rupestre Ferruginoso nodular inundável, com características de campo hidrófilo. Nessa área, a composição florística mescla gramíneas e Cyperaceae, sob histórico de inundações, em que fica submerso no período chuvoso, resultando em uma coloração amarela (Fig. 9: A-1). Na borda, entre as ilhas de cerrado e o campo brejoso, ocorrem os Campos Rupestres Abertos de *Vellozia* sp. em transição.

O perfil é bastante representativo da área, possui um horizonte A concrecionário (0-8 cm - Tabela 4 – Apêndice A) com concreções na faixa de 2 a 7 mm, redondas, nodulares e endurecidas formadas em ambiente hidromórfico. O solo é vermelho-amarelo, com o horizonte superficial escuro, devido ao acúmulo de matéria orgânica proveniente de raízes do estrato graminoso. De 8 a 25 cm, o horizonte Bi é também

concrecionário, com mais de 60% de concreções arredondadas, com tamanho um pouco maior que o horizonte A. Também apresenta pedaços de canga nodular cimentada bem distribuídos. Por fim, abaixo dele está a camada F, que forma um lajeiro contínuo de canga nodular cimentada, indicando oscilações de cimentação e destruição da canga nodular (degradação-cimentação-degradação).

### **Cerradão Rupestre Ferruginoso em moitas**

O perfil P25 (Fig. 9: B-2) está localizado em um cerradão, com canga circundante nodular, onde há aprofundamento da degradação da canga e formação de solo mais espesso. A base da canga nodular apresenta nódulos, na faixa de 1 a 3 cm, formando uma concreção em bloco, diferente do campo gramíneo adjacente, que só possuía canga nodular.

O horizonte A é bastante espesso (0-25 cm), principalmente, se comparado ao campo gramíneo vizinho. Ele grada para um horizonte B concrecionário mais espesso, que apresenta uma proporção de concreções na faixa de 40 a 50% da matriz do solo, representando um Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico, que é o solo mais comum nos capões tanto em Carajás quanto nas áreas do Araguaia. Outra característica é o maior acúmulo de matéria orgânica, proveniente do acúmulo de serrapilheira de uma vegetação de maior porte (Fig. 9: B-1). Nos primeiros 10 cm de profundidade, o horizonte A recebe influência da serrapilheira e das raízes finas, de 10 a 25 cm apresenta elevada quantidade de raízes médias a grossas, sendo que algumas dessas raízes penetram até o horizonte B concrecionário.

O teor de ferro nessa região é bem menor do que em Carajás, e se encontra concentrado nas concreções, atingindo o máximo de 15% de ferro no material amarelo goethítico. O solo não tem hematita aparente, possui cor amarela pronunciada, indicando que o lençol freático afeta essa área florestada, ou seja, um solo imperfeitamente drenado.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Gramíneo inundável**

O perfil P26 (Fig. 9: C-1) está associado a um Campo Rupestre Ferruginoso Gramíneo com muitas *Rhynchospora* sp. e outras gramíneas (Fig. 9: C-2). É um campo sobre canga nodular, aflorante entre 13 a 15 cm, acima da camada F. Possui um horizonte A um pouco mais profundo do que os campos de *Vellozia* sp., com abundância da matéria orgânica que carrega lateralmente e fica retida nesse ambiente semilacustre, ou seja, é um horizonte A de canga nodular degradada, pisolítica. Abaixo dele tem-se o horizonte de transição AF que vai de 10 a 15 cm, num clássico gradiente encontrado na Serra do Tarzan

e nas áreas que vão dos Campos Graminosos para os Campos Rupestres Abertos de Carajás.

### **Floresta em Canga degradada**

O perfil P27 (Fig. 9: D) é formado por um horizonte A (0 a 10 cm) coberto por serrapilheira e com abundância de raízes finas a médias, que grada abaixo para o horizonte AB (10 a 40 cm) ainda com presença de muitas raízes (finas e médias). Na base do perfil os horizontes seguintes Bwc1 (40 a 70 cm) e Bwc2 (70 a 110+) apresentam 30% de concreções médias, em meio a uma massa latossólica micronodular.

### **Cerradão sujo em canga degradada**

O perfil P28 (Fig. 9: E) está localizado em uma ilha de Cerradão sujo, na borda do varjão limpo, em que apresenta um termiteiro e a estruturação de uma área de Plintossolo Pétrico Concrecionário (P28 A 0-8 cm; AB 8-25 cm; Bi 25-35 cm; F 35-40 cm). O solo é formado por um horizonte A (0 a 8 cm), seguido de horizonte AB (8 a 25 cm), que grada para um horizonte Bi (25-35 cm) e finalmente para a camada F. A camada F forma um lajeiro que forra toda a paisagem, onde ilhas de termiteiros estruturam esse adensamento arbustivo na área, que é suficientemente desenvolvido para Cerradão com espessura de solo friável de 30 cm (A + Bi).

### **Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso**

O perfil P29 (Fig. 9: F) está localizado no fundo da depressão do campo, possui solo concrecionário, com horizonte A acima da camada AF (horizonte de transição) com muitos blocos de canga degradada, característico do horizonte concrecionário dessas formações. O solo não está associado a rochas básicas, mas sim com sedimentos ferruginizados do terraço do rio Araguaia. Abaixo do AF ocorre a camada F, que aflora nas partes erodidas do campo, formando lajeiros descontínuos. Nas microdepressões onde a água acumula, apresenta o desenvolvimento de Eriocaulaceae de pequeno porte. O acúmulo de canga nodular propicia também a formação de um estrato gramíneo de Cyperaceae.

É possível perceber o efeito de fogo e da inundação, que dão origem a um biofilme de cianobactérias que formam a matéria orgânica acumulada na superfície. É um ambiente relativamente homogêneo, com baixa diversidade, equivalente a um campo brejoso de cerrado. Embora esteja associado com solos concrecionários, não constitui um Campo Rupestre ferruginoso da descrição. O teor de ferro dessa canga é muito mais baixo, pela

densidade do solo no momento da descrição; os sedimentos são caulíníticos, de terraço fluvial do Araguaia, ao contrário do anterior, que era desenvolvido de rocha metabásica. Há uma convergência no desenvolvimento de paisagens semelhantes, mas com materiais muito diversos, não correlacionados.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo**

Esse perfil possui um material edafizado que já foi todo redistribuído por pedobioturbação, formando um manto de solo contínuo, com 35 cm sobre a camada F. Possui horizonte A escuro, com muitas raízes finas e médias, seguido de horizonte de transição AF com menos matéria orgânica, mas ainda bastante escuro. Abaixo, a camada F concrecionária litoplíntica não é um litoplíntico típico, pois não forma um lajeiro contínuo, além disso possui muitas fraturas por onde as raízes conseguem descer dentro do material concrecionário (Fig. 9: G).

A fitofisionomia é de um cerrado *stricto sensu* em transição para o cerradão, pois é muito aberto para ser um cerradão e muito fechado para ser considerado um cerrado *stricto sensu*. Nota-se a ausência do tapete herbáceo característico do cerrado *stricto sensu*, bem como elevada a elevada entrada de luz. Assemelha-se a um cerradão, em que o fogo crônico pode ter afetado, formando clareiras, pois o extrato é característico de área em recuperação.

A presença de arbustal (paliteiro) de borda indica um estágio de regeneração de uma biomassa vegetal que já foi maior e que atualmente encontra-se aberta, antropizada. O solo é característico dessas áreas, tanto do cerrado *stricto sensu* quanto nessas áreas de transição, onde a camada F sempre é recoberta por no mínimo 30 cm de solo para garantir um estrato florestal.

### **Buritizal em depressões hidromórficas**

O perfil P31 está localizado em Buritizal (Fig. 9: H), com Buritiranas e Buritis, com horizonte orgânico de aproximadamente 30 cm, e afloramento do lençol freático a 20 cm. A turfeira tem entre 50 e 60 cm sobre canga degradada. Essas áreas hidromórficas no centro do platô de canga são comuns em função da dimensão desse platô, muito extenso.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo**

Outro perfil de Plintossolo Pétrico Litoplíntico (Fig. 9: I) localizado sob vegetação arbustiva, onde os termiteiros organizam essa acumulação de solo nos mesmos moldes

dos perfis anteriores, fortemente marcados pela pedobioturbação. O horizonte AF possui blocos de material bastante solto e latossólico, formado pela pedobioturbação acumulativa desses termiteiros. A camada F abaixo é bastante fraturada, e a vegetação possui um extrato de gramíneas e *Ananas* sp., com arbustos de Myrtaceae e muitas cactáceas nas moitas e adensamentos.

### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto**

O perfil P33 (Fig. 9: J) é um Plintossolo Pétrico Litoplíntico localizado em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. Ele é formado por um horizonte A (0 a 8 cm) que grada para um horizonte AF (8 a 25 cm), sobre a camada F. É um perfil marcado pela presença de raízes finas e bastante cascalho, com vegetação aberta característica.

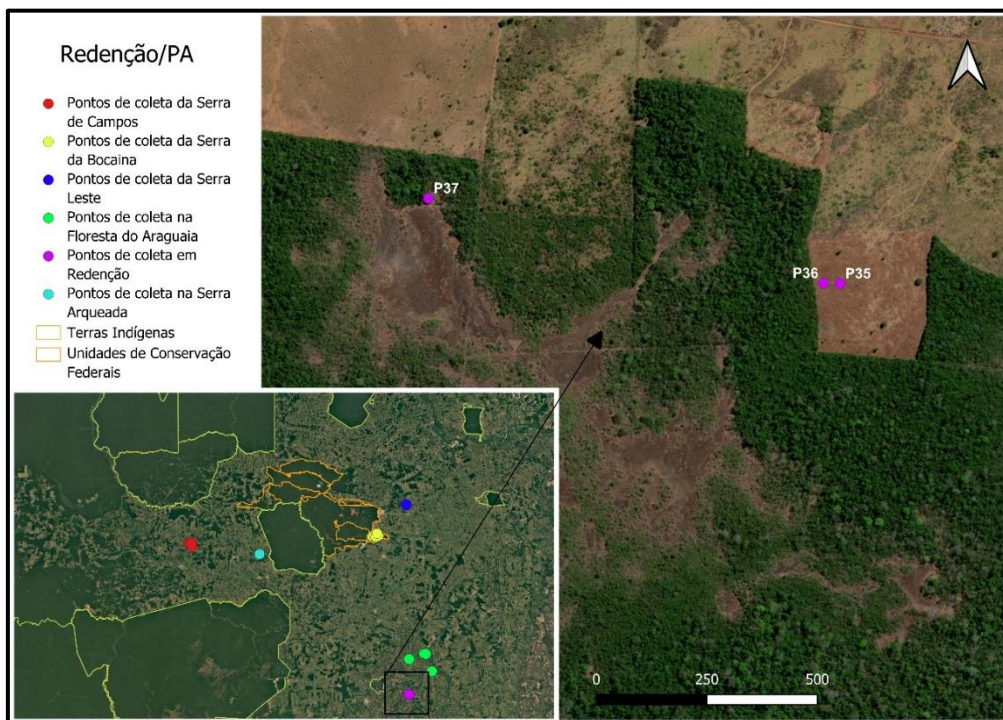
### **Cerradão dos Patamares do Araguaia**

Esse perfil está localizado sob Cerradão, com horizonte A (0 a 15 cm) escuro e profundo, seguido de um horizonte AF (15 a 30 cm) que grada para a camada F, formando um Plintossolo Pétrico Litoplíntico (Fig. 9: K) relativamente profundo, com acúmulo superficial de matéria orgânica, seguindo o padrão encontrado em Carajás. A pedobioturbação forma um manto pedogenizado de 30 cm, que possibilita o desenvolvimento de um sistema mais florestado, seja um cerrado ou um capão baixo com espécies da mata, que foi definido como um cerradão, com abundância de Bacaba e Babaçu.



**Figura 9** Perfis dos Terraços do Araguaia. A-1: Ambiente do P24 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; A-2: Perfil P24. B-1: Ambiente do P25 em Cerradão Rupestre Ferruginoso; B-2: Perfil P25. C-1: Perfil P26; C-2: Ambiente do P26 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. D-1: Perfil P27 em Floresta de Canga degradada. E: Perfil P28 em Cerradão sujo em canga degradada. F: Perfil 29 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. G: Perfil 30 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. H: Perfil P31 em Buritizal. I: Perfil 32 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. J: Perfil 33 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. K: Perfil P34 no Cerradão.

#### 4.1.5. Redenção



**Figura 10** Mapa de localização das áreas amostradas em Redenção.

Fonte: A autora, 2025.

#### **Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso**

Este perfil é situado em Redenção, em área de Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso de Cyperaceae, sobre couraça ferruginosa sem canga nodular. É um Plintossolo Pétrico Litoplântico raso (Fig. 11: A) sobre couraça, que forma um lajeiro contínuo. A área encharca sazonalmente, mas não há evidência da formação de canga nodular. Não tem muitas ilhas arbustivas nem apresenta termitários visíveis, provavelmente por ser intensamente antropizada pela pastagem de gado bovino.

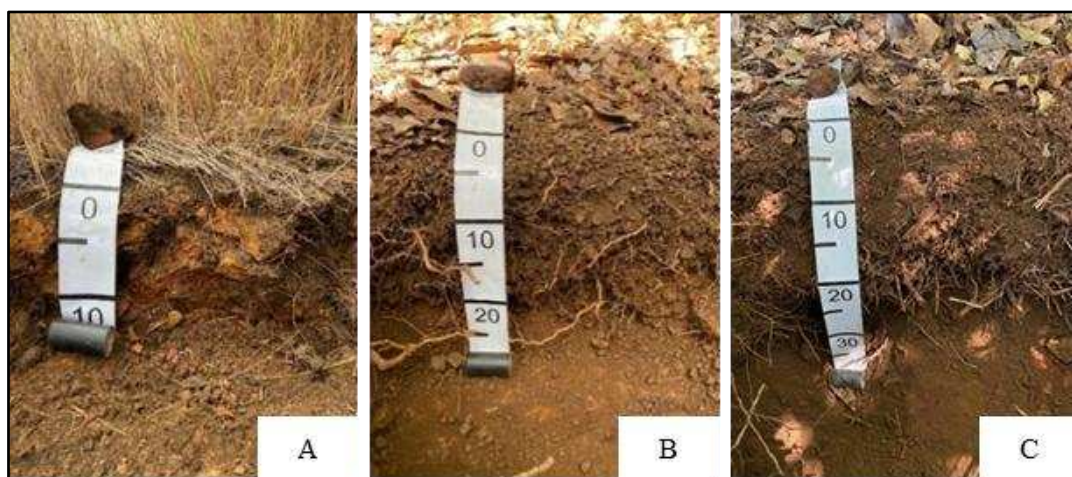
#### **Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo de paliteiro**

O P36 (Fig. 11: B) está localizado em um Arbustal (paliteiro) da borda no Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo, uma área de transição. Esse solo é formado por uma canga degradada e praticamente não apresenta nódulos, somente concreções angulosas e subangulosas, distinto da canga nodular. Na camada F, já temos o lajeiro contínuo, em que o lençol de material edafizado se estende por essa área, continuamente por ativa pedobioturbação.

#### **Capão Florestal sobre canga degradada**

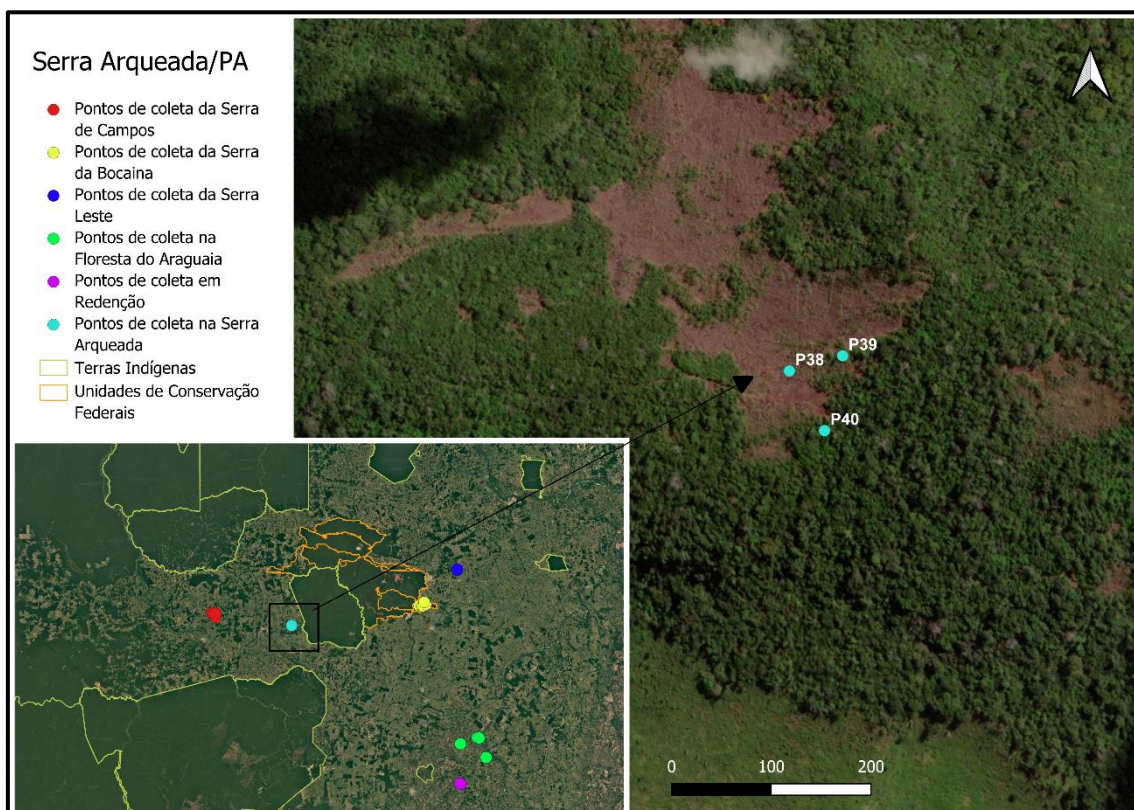
O perfil P37 está localizado sob uma mancha de floresta bem conservada, com árvores de grande porte e diâmetro elevado. É um Plintossolo Pétrico Litoplântico, com horizonte A espesso, muito escuro e com muita matéria orgânica, o que favorece a

retenção de água. O horizonte A2 (Tabela 5 – Apêndice A) é igualmente muito rico em matéria orgânica, com muitas fraturas no horizonte litoplântico abaixo (Fig. 11: C). Resposta a sequência de Plintossolo Pétrico Litoplântico, com camada F mais profunda, e confirmando que de 30 cm de solo rico em MO já sustenta uma floresta. O que se destaca nesse perfil é o acúmulo de matéria orgânica muito significativo, nos horizontes superficiais.



**Figura 11** Perfis de Redenção. A: Perfil P35 em Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso. B: Perfil P36 em Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo. C: Perfil P37 em Capão Florestal.

#### 4.1.6. Serra Arqueada



**Figura 12** Mapa de localização dos pontos de coleta na Serra Arqueada.

**Fonte:** A autora, 2025.

#### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com *Vellozia* sp.**

O perfil P38 (Fig. 13: A), localizado em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de *Vellozia* sp., é um Plintossolo Pétrico Litoplântico muito raso. A vegetação é composta por orquídeas, *Bauhinia* sp., *Vellozia* sp. e um *Syagrus* de pequeno porte, fino, de fuste bem reto, semelhante com as espécies presentes no granito de Carajás, porém morfologicamente diferente, adaptado à canga, e semelhante ao que ocorre na Serra de São Félix de Xingu.

#### **Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com *Syagrus* sp.**

O perfil P39 está localizado em um Campo Rupestre Ferruginoso Aberto com concentração de indivíduos de *Syagrus* sp., sendo um perfil mais profundo que o anterior, com muita matéria orgânica e raízes finas no horizonte A, enquanto o horizonte AF é marcado pela presença de fraturas, blocos nodulares e muitas raízes entremeadas (Fig. 13: B).

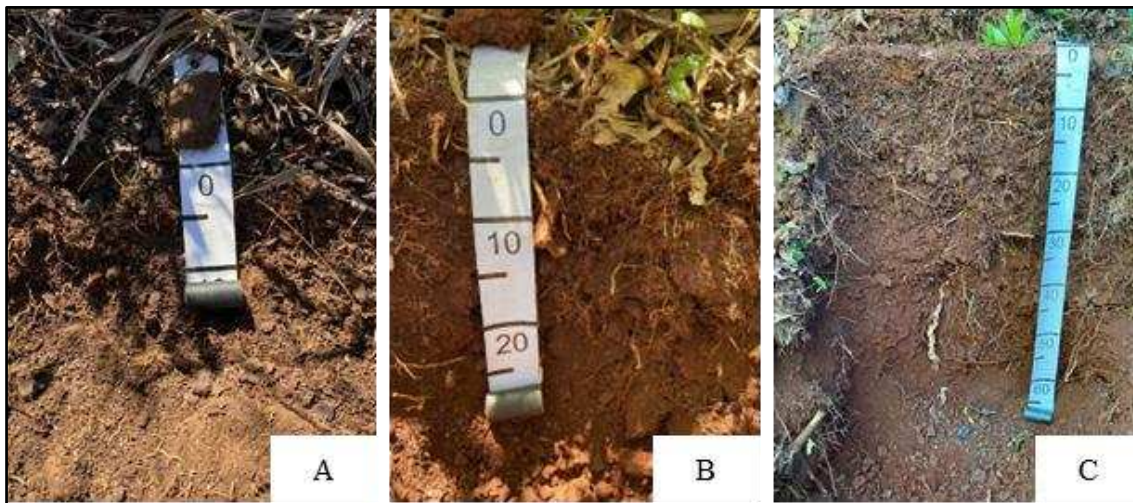
#### **Capão Florestal de borda sobre canga degradada**

O P40 (Fig. 13: C), localizado no Capão Florestal da borda coluvionar, representa um material retrabalhado por erosão, onde havia originalmente uma floresta de porte

elevado, e atualmente apresenta um fragmento já degradado, mas com solo conservado. É um Plintossolo Pétrico Concrecionário cambissólico, sem camada F distinta. O horizonte A apresenta abundância de raízes finas e médias abaixo da serrapilheira, com uma linha de concreções, com poucas lascas de jaspilito, que transicionam o horizonte A para o Bi de forma quase abrupta, em que apenas o Bi é concrecionário, mas com características latossólicas.

O material do horizonte Bi tem uma estrutura microgranular forte e pequena, e as concreções têm tamanho médio e grande com formas laminares e angulosas. Essas concreções ocorrem até 50cm, e aumentam de tamanho, tornando-se concreções grandes, de até 10cm. O material de entremeio se torna mais vermelho, com redução de matéria orgânica, mas com penetração de raízes, já que não há obstáculos até 70cm, apresentando muitas raízes grossas.

O acúmulo de carbono orgânico no horizonte A (Tabela 6 – Apêndice A) e na parte superior do Bi resulta na cor vermelha escura pronunciada. Isso indica o corpo mais denso do jaspilito da Formação Carajás, muito provavelmente com teores de ferro superiores a 60%, sem evidências de camada F próxima da superfície.



**Figura 13** Perfis da Serra Arqueada. A: Perfil P38 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. B: Perfil P39 em Campo Rupestre Ferruginoso Aberto. C: Perfil P40 em Capão Florestal.

## 4.2. Síntese dos geoambientes amostrados

Os geoambientes foram sintetizados na Tabela 1, onde foram agrupados de forma representativa. Assim, é possível apresentar a Geomorfologia, Geologia, Classe de solo, Vegetação e outros atributos de cada geoambiente de forma direta.

**Tabela 1** Tabela com a síntese dos principais geoambientes amostrados e descritos.

| Geoambiente   | Geologia                              | Geomorfologia                               | Solo   | Vegetação  | Atributos Gerais  | Áreas   |
|---|---------------------------------------|---|--|--|---|---|
| <i>Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso</i> | Canga nodular ou concrecionária       | Depressões e áreas mal drenadas             | Plintossolo Pétrico<br>Concrecionário<br>Litoplântico                                  | Gramíneas como<br>Cyperaceae,<br>Rubiaceae e<br>Eriocaulaceae,<br>musgos e algas                                 | Lençol freático próximo ou aflorante, hidromorfismo, acúmulo de MO ligeira, concreções, solo encharcado, termiteiros comuns                 | Serra de Campos - São Félix do Xingu; Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; Terraços e Patamares do Araguaia; Redenção                    |
| <i>Campo Rupestre Ferruginoso Aberto</i>            | Canga ferruginosa (lajeiro ou blocos) | Topo de serra ou encostas suaves            | Plintossolo Pétrico<br>Concrecionário<br>Litoplântico                                  | Arbustos como <i>Vellozia</i> , <i>Syagrus</i> e <i>Bauhinia</i> , bromélias, orquídeas e gramíneas              | Solo raso, drenagem variável, canga exposta ou fraturada, matéria orgânica concentrada na superfície e fendas, muitos termiteiros presentes | Serra de Campos - São Félix do Xingu; Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; Serra Leste; Terraços e Patamares do Araguaia; Serra Arqueada |
| <i>Campo Rupestre Ferruginoso Aberto arbustivo</i>  | Canga ferruginosa mais degradada      | Borda de platôs ou áreas de encostas suaves | Plintossolo Pétrico<br>Litoplântico  | Arbustos como <i>Mimosa acutistipula</i> , <i>Bauhinia pulchella</i> , cactáceas e orquídeas ( <i>Sobralia</i> ) | Camada F fraturada, matéria orgânica acumulada em maior profundidade, influência de pedobioturbação e termiteiros comuns                    | Serra de Campos - São Félix do Xingu; Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; Terraços e Patamares do Araguaia; Redenção                    |
| <i>Buritizal</i>                                    | Sedimentos em depressões sobre canga  | Depressões planas ou áreas hidromórficas    | Organossolo  | Buriti, buritirana, arbustos diversos e herbáceas (Eriocaulaceae Portulacaceae)                                  | Solo escuro, matéria orgânica elevada, lençol freático superficial, turfeiras e ambientes inundáveis  | Serra de Campos - São Félix do Xingu; Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; Terraços e Patamares do Araguaia                              |
| <i>Capão Florestal de Canga</i>                     | Canga ferruginosa mais degradada      | Topos e bordas de platôs                    | Plintossolo Pétrico<br>Concrecionário<br>Latossólico; alguns<br>Latosolos<br>Vermelhos | Floresta ombrófila, árvores de médio a grande porte com epífitas ( <i>Philodendron</i> , <i>Vriesea</i> )        | Teores de matéria orgânica altos; bioturbação intensa, raízes abundantes, estrutura granular forte, profundidade $\geq 30$ cm               | Serra de Campos - São Félix do Xingu; Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; Serra Leste; Redenção; Serra Arqueada                         |
| <i>Cerradão de Canga</i>                            | Canga nodular degradada ou basáltica  | Borda de canga ou ecótonos                  | Plintossolo Pétrico<br>Concrecionário<br>Litoplântico                                  | Bacaba, Babaçu, arbustos do cerrado, cerrado <i>strictu sensu</i> ou cerradão                                    | Transição campo-floresta, solo com matéria orgânica média, lençol freático oscilante, concreções médias                                     | Terraços e Patamares do Araguaia  |
| <i>Floresta de canga</i>                            | Basalto ou canga retrabalhada         | Encostas e colúvios                         | Latossolo Vermelho   | Floresta ombrófila com árvores de grande porte   | Horizonte A profundo, Bw espesso, estrutura granular forte, concreções pequenas, drenagem boa   | Serra da Bocaina - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos; Terraços e Patamares do Araguaia  |
| <i>Pastagem/Antropizado</i>                         | Metabásica                            | Encostas íngremes e ravinadas               | Cambissolos,<br>Nitossolo Vermelho,<br>Latosolos<br>Vermelhos                          | Vegetação secundária e pastagem (Capim-mombaça)  | Erosão, material bioturbado, ausência de canga, degradação e uso recente do solo  | Serra de Campos - São Félix do Xingu  |

## 4.3. Caracterização química dos solos

A partir das análises químicas realizadas é possível constatar que todos os solos dos geoambientes estudados apresentam acidez elevada, com os valores de pH baixos, com médias entre 3,44 e 5,79 (Tabela 2). Em todas as fitofisionomias os teores de fósforo

(P) disponível foram baixos, com exceção do Buritizal que apresentou uma média de 30,55 mg/dm<sup>3</sup>, mais do que o triplo das outras áreas (Tabela 2), evidenciando ambiente concentrador. O mesmo padrão foi observado para a presença de alumínio trocável e acidez potencial, com valores maiores no Buritizal. Os solos com acidez elevada estão relacionados com a deficiência extrema de nutrientes, que corrobora a baixa fertilidade geral e baixa capacidade de troca catiônica (CTC) em todas as fitofisionomias, com valores pouco maiores no Buritizal e Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo.

As áreas de Buritizal, Campo Rupestre Ferruginoso Aberto e Arbustivo destacam-se com valores maiores de potássio (K), sódio (Na) e matéria orgânica (MO) em relação aos outros geoambientes. Quanto aos teores de Ferro (Fe) disponíveis, todas as fitofisionomias de Campos Rupestres apresentaram valores bastante elevados, em áreas de canga, enquanto as áreas de florestas e a pastagem tiveram concentrações mais baixas.

A floresta de encosta apresentou a menor concentração de fósforo remanescente (P-rem), menos da metade dos valores médios apresentados nas demais áreas, denotando o extremo grau de intemperismo e alta fixação de P na matriz do solo. Outro destaque foi a concentração média de manganês (Mn), com valor muito alto na pastagem (117,20 mg/dm<sup>3</sup>). Os demais resultados da análise química não apresentaram variações mais relevantes entre os geoambientes, que são bastante comparáveis na canga.

**Tabela 2** Variáveis químicas dos perfis de solo em seis geoambientes amostrados no Pará. Os dados estão representados pelas médias entre os perfis de cada geoambiente. Os geoambientes são: Buritizal; CRF\_Ab (Campo Rupestre Ferruginoso Aberto); CRF\_Arb (Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo); CRF\_BG (Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso); Capão; Cerrado\_RF (Cerradão Rupestre Ferruginoso); FL (Floresta); FL\_encosta (Florestas de Encosta); Pasto\_antropizado (Pastagem/área antropizada). H+Al = Acidez Potencial; SB = Soma de Bases Trocáveis; V = Índice de Saturação de Bases; t = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; m = Índice de Saturação de Alumínio; ISNa = Índice de Saturação de Sódio; MO = Matéria Orgânica; P-rem = Fósforo remanescente.

| Variáveis do solo                                      | Buritizal     | CRF_Ab        | CRF_Arb       | CRF_BG        | Capão         | Cerrado_RF    | FL            | FL_encosta    | Pasto_antropizado |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| pH (H <sub>2</sub> O)                                  | 4,16 ± 0,50   | 4,74 ± 0,63   | 4,66 ± 0,51   | 5,14 ± 0,43   | 4,48 ± 0,43   | 4,56 ± 0,38   | 4,43 ± 0,43   | 4,50 ± 0,12   | 5,79 ± 0,18       |
| pH (KCL)   | 3,44 ± 0,69   | 3,65 ± 0,94   | 3,71 ± 0,75   | 4,97 ± 0,94   | 4,08 ± 0,49   | 3,93 ± 0,42   | 3,93 ± 0,11   | 4,54 ± 0,15   | 5,10 ± 0,19       |
| P (mg/dm <sup>3</sup> )                                | 30,55 ± 29,57 | 7,20 ± 7,61   | 9,38 ± 11,11  | 4,86 ± 3,68   | 6,10 ± 9,41   | 3,80 ± 3,05   | 5,36 ± 5,18   | 1,53 ± 0,51   | 1,37 ± 0,45       |
| K (mg/dm <sup>3</sup> )                                | 0,60 ± 0,52   | 0,26 ± 0,31   | 0,67 ± 1,75   | 0,09 ± 0,11   | 0,13 ± 0,13   | 0,16 ± 0,12   | 0,13 ± 0,07   | 0,05 ± 0,03   | 0,20 ± 0,20       |
| Na (mg/dm <sup>3</sup> )                               | 0,15 ± 0,04   | 0,06 ± 0,05   | 0,43 ± 1,27   | 0,04 ± 0,04   | 0,05 ± 0,03   | 0,05 ± 0,02   | 0,05 ± 0,01   | 0,03 ± 0,02   | 0,03 ± 0,02       |
| Ca (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )               | 1,11 ± 1,16   | 1,16 ± 1,75   | 1,05 ± 2,31   | 0,14 ± 0,32   | 0,73 ± 1,95   | 0,26 ± 0,52   | 0,17 ± 0,33   | 0,12 ± 0,07   | 3,67 ± 1,36       |
| Mg (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )               | 0,75 ± 0,40   | 0,51 ± 0,90   | 1,64 ± 4,64   | 0,06 ± 0,09   | 0,32 ± 0,93   | 0,18 ± 0,12   | 0,17 ± 0,14   | 0,05 ± 0,02   | 0,95 ± 0,59       |
| Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> ) | 3,69 ± 2,47   | 1,33 ± 1,00   | 1,78 ± 1,62   | 0,30 ± 0,53   | 0,99 ± 1,11   | 1,43 ± 1,08   | 1,58 ± 0,44   | 0,22 ± 0,21   | 0,00 ± 0,00       |
| H+Al (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )             | 44,12 ± 24,97 | 21,06 ± 17,40 | 19,12 ± 15,26 | 6,49 ± 7,98   | 13,55 ± 8,95  | 12,61 ± 7,64  | 11,32 ± 9,25  | 7,50 ± 2,62   | 2,93 ± 1,97       |
| SB (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )               | 2,61 ± 1,77   | 1,98 ± 2,96   | 3,79 ± 9,95   | 0,34 ± 0,55   | 1,22 ± 2,96   | 0,64 ± 0,63   | 0,51 ± 0,52   | 0,25 ± 0,14   | 4,85 ± 2,14       |
| t (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )                | 6,30 ± 3,85   | 3,31 ± 3,27   | 5,57 ± 9,70   | 0,64 ± 1,08   | 2,21 ± 3,22   | 2,07 ± 1,54   | 2,09 ± 0,88   | 0,47 ± 0,35   | 4,85 ± 2,14       |
| T (cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> )                | 46,74 ± 26,15 | 23,04 ± 19,51 | 22,91 ± 18,50 | 6,83 ± 8,53   | 14,78 ± 11,26 | 13,25 ± 8,07  | 11,83 ± 9,76  | 7,75 ± 2,75   | 7,78 ± 4,10       |
| V %  | 5,80 ± 3,00   | 7,55 ± 5,63   | 9,60 ± 18,54  | 4,80 ± 2,03   | 4,77 ± 6,29   | 4,47 ± 3,06   | 4,02 ± 0,95   | 3,07 ± 0,81   | 64,03 ± 4,97      |
| m %  | 58,92 ± 14,71 | 49,91 ± 25,61 | 64,28 ± 26,19 | 30,83 ± 27,55 | 59,45 ± 26,91 | 66,04 ± 16,00 | 78,60 ± 11,67 | 41,90 ± 14,03 | 0,00 ± 0,00       |
| ISNa %   | 0,43 ± 0,36   | 0,37 ± 0,36   | 1,16 ± 2,36   | 0,72 ± 0,27   | 0,33 ± 0,16   | 0,41 ± 0,19   | 0,57 ± 0,30   | 0,38 ± 0,18   | 0,35 ± 0,09       |

|                            |                 |                 |                 |                 |                |                 |               |               |                 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| MO (dag/kg <sup>-1</sup> ) | 31,53 ± 16,81   | 19,54 ± 19,52   | 16,41 ± 13,22   | 8,08 ± 8,32     | 9,55 ± 11,65   | 9,44 ± 7,97     | 5,33 ± 2,79   | 4,32 ± 2,29   | 2,66 ± 2,96     |
| P-rem (mg/L)               | 15,20 ± 18,68   | 26,64 ± 11,92   | 21,19 ± 9,39    | 16,83 ± 12,36   | 14,16 ± 8,00   | 17,13 ± 4,54    | 14,18 ± 4,12  | 6,17 ± 0,15   | 19,53 ± 0,78    |
| Cu (mg/dm <sup>3</sup> )   | 1,12 ± 1,14     | 0,61 ± 0,23     | 0,87 ± 0,35     | 1,14 ± 1,03     | 0,57 ± 0,40    | 1,44 ± 0,30     | 1,59 ± 0,76   | 8,57 ± 0,93   | 6,89 ± 2,43     |
| Mn (mg/dm <sup>3</sup> )   | 9,55 ± 5,51     | 16,58 ± 19,52   | 25,73 ± 32,04   | 6,29 ± 8,12     | 25,36 ± 35,71  | 17,27 ± 13,23   | 28,18 ± 18,78 | 19,07 ± 1,66  | 117,20 ± 120,86 |
| Fe (mg/dm <sup>3</sup> )   | 240,55 ± 208,40 | 503,48 ± 456,27 | 382,09 ± 367,31 | 267,35 ± 221,83 | 148,41 ± 96,56 | 165,51 ± 138,79 | 70,78 ± 37,59 | 56,57 ± 20,79 | 64,97 ± 18,06   |
| Zn (mg/dm <sup>3</sup> )   | 3,29 ± 1,68     | 4,82 ± 5,50     | 4,06 ± 4,98     | 8,12 ± 15,15    | 2,39 ± 3,93    | 3,66 ± 7,91     | 0,96 ± 0,64   | 1,85 ± 0,35   | 2,72 ± 3,61     |
| Cr (mg/dm <sup>3</sup> )   | 1,37 ± 1,31     | 0,91 ± 0,52     | 1,26 ± 0,72     | 0,98 ± 0,75     | 0,94 ± 0,54    | 0,87 ± 0,62     | 1,02 ± 1,18   | 1,02 ± 0,06   | 0,15 ± 0,16     |
| Ni (mg/dm <sup>3</sup> )   | 3,69 ± 3,97     | 2,16 ± 1,46     | 2,46 ± 0,73     | 2,03 ± 1,67     | 2,08 ± 1,35    | 2,32 ± 1,73     | 2,16 ± 1,94   | 2,65 ± 0,17   | 0,81 ± 1,14     |
| Cd (mg/dm <sup>3</sup> )   | 0,37 ± 0,09     | 0,29 ± 0,11     | 0,32 ± 0,13     | 0,32 ± 0,10     | 0,29 ± 0,12    | 0,29 ± 0,09     | 0,27 ± 0,13   | 0,40 ± 0,01   | 0,18 ± 0,04     |
| Pb (mg/dm <sup>3</sup> )   | 1,42 ± 0,72     | 0,64 ± 0,61     | 0,46 ± 0,63     | 0,79 ± 0,54     | 0,62 ± 0,43    | 0,92 ± 0,74     | 0,86 ± 0,77   | 0,75 ± 0,27   | 0,86 ± 0,34     |

#### 4.3.1. Análise de Componentes Principais (PCA) dos solos em todas as áreas

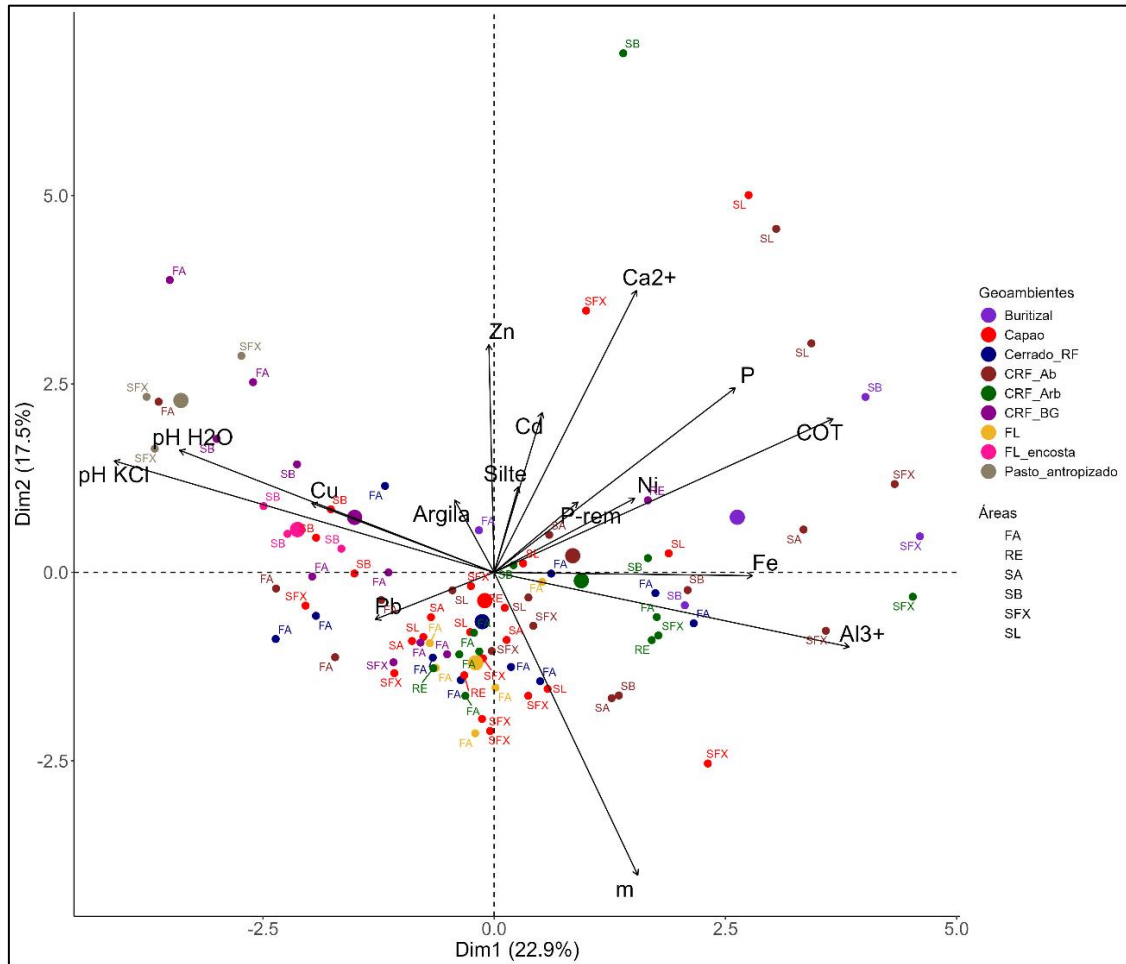
A análise de componentes principais (PCA) permite interpretar de forma sintetizada a variabilidade físico-química dos solos amostrados. Os dois primeiros eixos da PCA explicaram conjuntamente 40,4% da variância total dos dados (Fig. 14), sendo 22,9% atribuídos ao Eixo 1 (Dim1), com *loadings* de 3,6716; e 17,5% ao Eixo 2 (Dim2), com *loadings* de 2,8015. A análise revelou dois gradientes principais: um relacionado à acidez e ao carbono orgânico do solo (Eixo 1) e outro vinculado à fertilidade e ao acúmulo de micronutrientes (Eixo 2).

O primeiro eixo (Dim1) representou um gradiente de acidez e acúmulo de matéria orgânica, fortemente influenciado pelas variáveis pH em H<sub>2</sub>O e KCl (com cargas de  $r = -0,70$  e  $r = -0,85$ , respectivamente), e positivamente pelos teores de alumínio (Al<sup>3+</sup>) e carbono orgânico total (COT), com cargas de 0,79 e 0,76, respectivamente. Ambientes como pastagem (Pasto\_antropizado), floresta de encosta (FL\_encosta) e Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso (CRF\_BG) mostraram uma relação com o pH e cobre (Cu), bem como uma relação oposta ao Al<sup>3+</sup>, devido ao posicionamento na PCA. Contudo, os geoambientes de Buritizal, Campo Rupestre Ferruginoso Aberto (CRF\_Ab) e Arbustivo (CRF\_Arb) indicam uma possível relação com os vetores de carbono orgânico, alumínio e ferro (Fe).

O segundo eixo (Dim2) refletiu um gradiente de fertilidade potencial e acúmulo de micronutrientes, com influência positiva de Ca<sup>2+</sup> e Zn (cargas de 0,77 e 0,62, respectivamente), e influência negativa da saturação por alumínio (m) com carga de -0,83. Nesse eixo, ambientes de Floresta (FL), Cerrado (Cerrado\_RF) e Capão (Capao) parecem ter uma relação inversa com esses nutrientes.

A distribuição dos geoambientes no espaço multivariado da PCA não apresenta um padrão bem definido para os geoambientes, nem para a distribuição das áreas de

amostragem, o que indica uma heterogeneidade dos solos sobre a canga. Ademais, essa ausência de padrão no espaço multivariado da PCA pode ser reflexo de um baixo número de amostras coletadas.



**Figura 14** Análise de componentes principais (PCA) baseada em atributos físicos e químicos do solo nos diferentes geoambientes estudados. Bunitizal; CRF\_Ab = Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; CRF\_Arb = Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo; CRF\_BG = Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso; Capão; Cerrado\_RF = Cerradão Rupestre Ferruginoso; FL = Floresta; FL\_encosta = Florestas de Encosta; Pasto\_antropizado = Pastagem/área antropizada.

#### 4.3.2. Análises de Variância

A análise de variância comprovou que há diferenças entre os geoambientes, e os teste de médias para o pH em H<sub>2</sub>O ( $p = 0,00011$ ) evidenciou que a Pastagem foi estatisticamente diferente dos demais (“a”), apresentando o maior valor médio de pH em H<sub>2</sub>O (5,79), seguido por Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso - CRF\_BG (5,14) no grupo “b”. Os outros geoambientes formaram grupos estatisticamente semelhantes entre si (Fig. 15 - A).

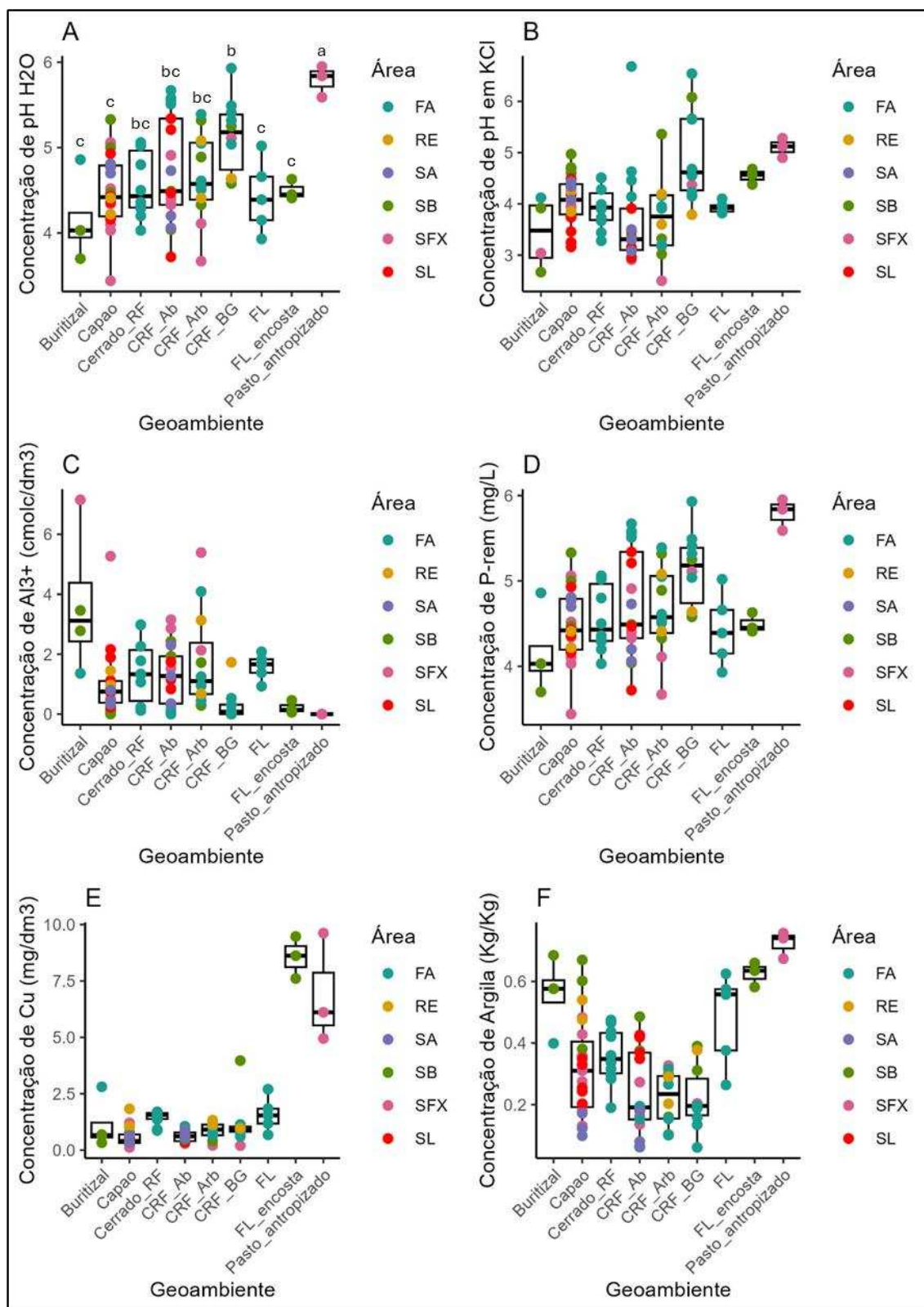
O pH em KCL também indicou diferenças significativas entre os geoambientes ( $p = 0.00013$ ), segundo o teste de Dunn; a Pastagem diferiu do Campo Rupestre Aberto – CRF\_Ab ( $p = 0,0364$ ), com solos bem mais ácidos, diferente da Pastagem. Esse mesmo teste também indicou que o Campo Rupestre Brejoso-graminoso é diferente dos CRF Aberto e Arbustivo ( $p = 0,0017$ ;  $p = 0,0439$ ) em relação ao pH em KCl (Fig. 15 - B).

De forma semelhante, analisando as concentrações de alumínio ( $Al^{3+}$ ,  $p = 0,000097$ ), o CRF Brejoso-graminoso também foi estatisticamente diferente do CRF Arbustivo ( $p = 0,0487$ ) e do Buritizal ( $p = 0,0054$ ), demonstrado no gráfico da Figura 15 - C. Também foi significativa a diferença estatística entre Pastagem e Buritizal ( $p = 0,0083$ ).

Em relação aos teores de fósforo remanescente do solo (P-rem,  $p = 0,00473$ ) (Fig. 15 - D), o Campo Rupestre Aberto (maior valor) apresentou diferença significativa dos ambientes de Capão ( $p = 0,0183$ ) e Floresta de encosta ( $p = 0,0332$ ) (menores valores). Já para as concentrações de cobre (Cu,  $p = 0,00000043$ ), o Campo Rupestre Aberto e o Capão apresentaram diferenças significativas da Floresta de encosta ( $p = 0,0234$ ;  $p = 0,0050$ ), do Pasto ( $p = 0,0295$ ;  $p = 0,0065$ ) e do Cerradão ( $p = 0,00935$ ;  $p = 0,00042$ ) (Fig. 15 - E).

A fração argila ( $p = 0,0000018$ ) (Fig. 15 - F) diferiu bem entre a Pastagem dos demais geoambientes (Campo Rupestre Ferruginoso Aberto, Arbustivo e Brejoso-graminoso) ( $p = 0,0264$ ;  $p = 0,0176$ ;  $p = 0,0306$ ).

As demais variáveis do solo apresentadas na PCA não indicaram diferenças significativas nas análises de variância entre os geoambientes estudados. Os resultados obtidos revelam que há poucas variações edáficas entre os geoambientes de canga. Contudo, os solos apresentam uma grande heterogeneidade em relação às profundidades do perfil, bem como de cada horizonte dentre, e entre, os geoambientes.



**Figura 15** Análise de variância dos atributos físicos e químicos dos solos de perfis que foram mais explicativas para a Análise de Componentes Principais (PCA). A = pH em H<sub>2</sub>O; B = pH em KCl; C = Al<sup>3+</sup> (cmolc/dm<sup>3</sup>); D = P-rem (mg/L); E = Cu (mg/dm<sup>3</sup>); F = Argila (Kg/Kg). Cada análise contém a distribuição das amostras de solos por área: FA = Floresta do Araguaia, RE = Redenção; SA = Serra Arqueada; SB = Serra da Bocaina; SFX = São Félix do Xingu; SL = Serra Leste.

#### 4.3.3. Relação entre Termiteiros e o solo adjacente

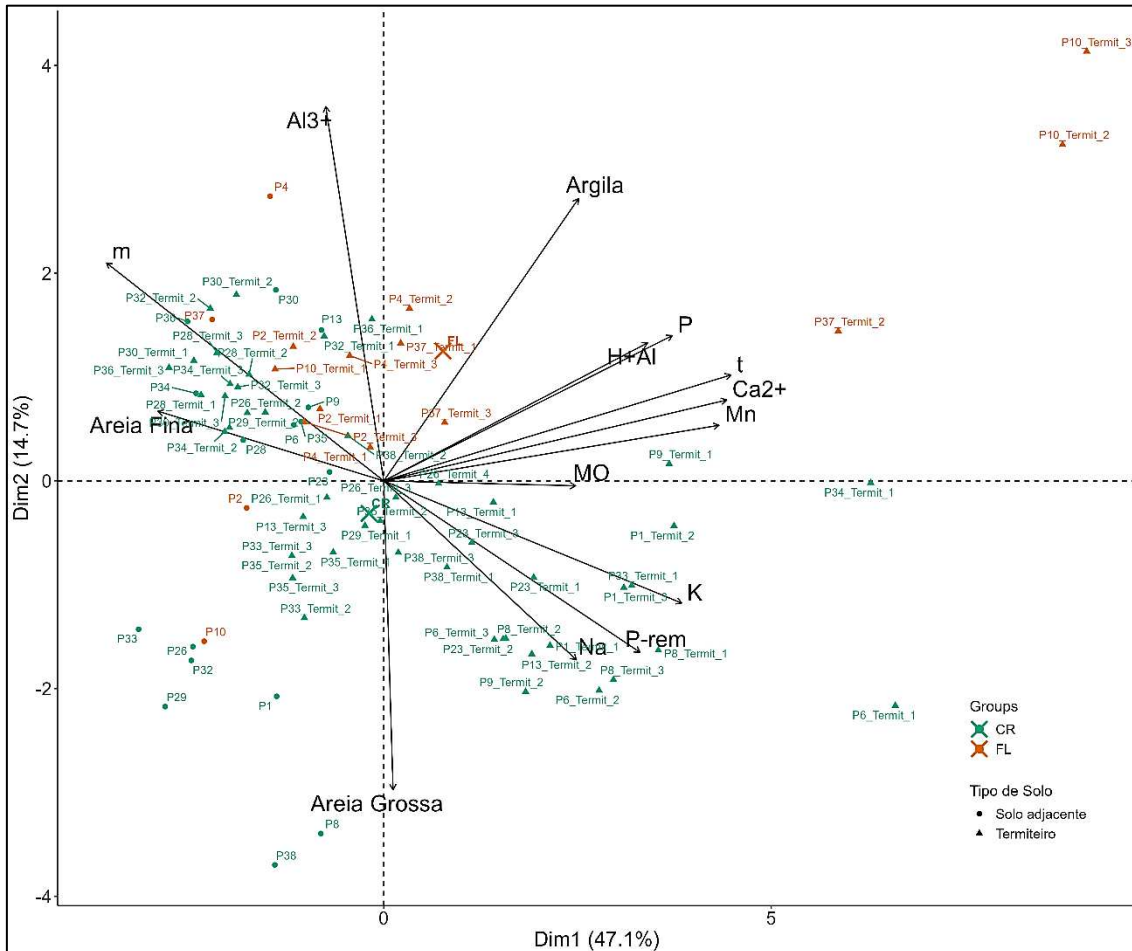
A Análise de Componentes Principais (PCA) sintetizou e ilustrou o efeito dos termiteiros em relação aos solos adjacentes, considerando a variabilidade físico-química dos solos amostrados (Fig. 16). Os dois primeiros eixos da PCA explicaram conjuntamente 61,8% da variância total dos dados, sendo 47,1% atribuídos ao primeiro componente (Dim1), com *loadings* de 6,5877; e 14,7% ao segundo componente (Dim2), com *loadings* de 2,0555.

O primeiro eixo (Dim1) mostrou forte influência de variáveis ligadas à fertilidade do solo, como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e manganês (Mn), todas apresentando cargas acima de 0,90. Por outro lado, o eixo 2 (Dim2) refletiu variações da textura, fortemente associadas à presença de argila (carga de 0,56), bem como alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ; carga de 0,75) e de areia grossa (carga de -0,62).

Visualmente, observa-se que os termiteiros (símbolos em triângulo) apresentaram separação evidente e marcante em relação aos solos adjacentes (círculos), principalmente ao longo do eixo 1, confirmando diferenças importantes na composição química. Notavelmente, alguns termiteiros (como P10\_Termit\_2 e P10\_Termit\_3) se afastam bastante do agrupamento geral, indicando perfis extremamente diferenciados, possivelmente refletindo atividade biológica mais intensa ou recursos acessados de maior riqueza (substrato original), como detritívoros preferenciais. Tal fato já foi bem evidenciado em Carajás por Schaefer et al., (2016), que demonstraram o papel chave das térmitas na ciclagem de nutrientes em Campo Rupestre nos Platôs de canga, com fortes incrementos de N, P, Ca, Mg, CTC e MO.

Entre os geoambientes avaliados, destacou-se no geral, os efeitos dos termiteiros associados a áreas de Campo Rupestre Ferruginoso (CR), amplamente distribuídos no gráfico, e com maior influência das variáveis de fertilidade química do solo, enquanto aqueles em áreas de Floresta (FL) indicam uma possível relação com os teores de alumínio e argila do solo, refletindo mais as condições naturais do ambiente.

No Campo Rupestre Aberto, somente foram observados termiteiros de *Nasutitermes minimus*, enquanto nos Campos Arbustivos e Capão houve notável diversidade de gêneros, inclusive coabitando em termiteiros de argila, de maior porte (*Cornitermes*, *Neocapritermes*, *Syntermes*, *Termes*, *Embiratermes*, *Armitermes*, além de duas espécies sem gênero identificável, possivelmente *Microcerotermes*).



**Figura 16** Análise de componentes principais (PCA) para as variáveis dos solos de termiteiros (▲) e os horizontes superficiais dos solos adjacentes (●), avaliando os dois principais grupos de ambientes amostrados: Campos Rupestres e Florestados. CR: Solos de Campos Rupestres Ferruginosos; FL: Solos de Florestas.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Geoambientes

Os geoambientes descritos nas áreas de estudo se assemelham muito aos identificados e estudados em outras áreas da Província Mineral de Carajás. Em geral os Campos Rupestres Ferruginosos apresentam diferentes fitofisionomias, variando de áreas abertas a campos arbustivos, nos locais mais altos e rochosos, e Capões/ou florestas em bolsões isolados ou conectados (Schaefer et al., 2016). As áreas descritas como Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso apresenta um padrão similar ao descrito em outros trabalhos (Schaefer et al., 2018), sendo caracterizado por uma vegetação herbácea com abundância de famílias como Cyperaceae, Rubiaceae e Eriocaulaceae, estabelecida sobre solos petroplínticos muito rasos, com lençol freático aflorante. O outro geoambiente de área inundável é o Buritizal, que assim como na Serra Sul em Carajás, se estabelece

em Organossolos, marcado pela presença de *Mauritia flexuosa* e Buritirana (*Mauritiella armata*), além de muitas outras plantas subordinadas (Schaefer et al., 2018).

O CRF Aberto também segue o padrão de outras áreas em Carajás, onde apresentam solos rasos, raramente excedendo a profundidade de 10 cm, e são classificados como Plintossolos Pétricos, Litoplínticos e distróficos, geralmente cobertos por uma vegetação aberta e com pequenos arbustos (Schaefer et al., 2008; Schaefer et al., 2016). Nesse ambiente são encontradas Orchidaceae e Velloziaceae, mas em São Félix o forte diferencial fisionômico foi a presença do *Syagrus* sp., que também já foi relatado em um trabalho anterior (Zappi, 2017). Nessas áreas, os cupinzeiros exercem um papel chave no processo de formação dos solos (Schaefer et al., 2016).

O CRF Arbustivo descrito neste estudo não difere de outros trabalhos, apresenta solos Plintossolos Pétricos, concrecionários ou litoplínticos mais profundos, alcançando 30 cm, e a atividade e composição de térmitas de solos é semelhante ao Campo Aberto (Schaefer et al., 2008; Schaefer et al., 2018). A vegetação dessa fitofisionomia conta com espécies de *Sobralia* sp., *Bauhinia pulchella*, *Byrsonima* sp. e *Mimosa acutistipula* var. *ferrea*, com a presença dominante do *Syagrus* sp. em São Félix (Zappi, 2017; Schaefer et al., 2016; Schaefer et al., 2018). Em solos semelhantes, com matéria orgânica de teores médios, lençol freático oscilante, e muitas concreções, estão os Cerradões de Canga, que apresenta uma cobertura vegetal de Bacaba, Babaçu e arbustos do cerrado, encontrados em áreas de transição para domínios mais secos.

Com a degradação da *canga*, os solos acumulados formam ilhas de floresta, que podem estar associadas a cavidades ou não, e são chamados de Capão Florestal (Schaefer et al., 2016). Assim como em outros estudos, os solos de Capão apresentam profundidades entre 30–120 cm, com importante atuação de outras espécies de térmitas, bem diversificado, e classificados como Latossolos, Cambissolos e Plintossolos Pétricos (profundos, concrecionários) (Schaefer et al., 2015; Schaefer et al., 2016; Schaefer et al., 2018). As principais espécies florestais encontradas nessas áreas são *Pouteria ramiflora*, *Sacoglottis mattogrossensis* e *Myrcia splendens* (Schaefer et al., 2018).

As Florestas de Canga são semelhantes ao Capão, embora com porte mais elevado, assim como já descrito em Carajás por Schaefer et al. (2018). Segundo o autor, elas possuem Latossolos Vermelhos com profundidade de horizonte Bw variando de 30 cm a 100 cm ou um pouco mais, que favorecem a retenção hídrica e de nutrientes, e estão conectadas com as Matas do entorno. Essas áreas também são ligadas às pastagens plantadas e fortemente ameaçadas pelo avanço da pecuária e exploração madeireira na

região (da Fonseca-da-Silva et al., 2020; Leal et al., 2020; Souza Filho et al., 2019; Silveira et al., 2016).

## 5.2. Solos dos geoambientes

As análises químicas, multivariadas, evidenciam uma ampla variação nos atributos do solo entre os geoambientes amostrados, refletindo a diversidade ambiental da região. De forma geral, os solos apresentaram acidez elevada, o que é compatível com os solos de Campos Rupestres Ferruginosos em Carajás e no Quadrilátero Ferrífero, caracterizados pela acidez elevada, baixa CTC efetiva, P disponível baixo e elevada saturação por alumínio (Schaefer et al., 2018; Schaefer et al., 2016). As análises corroboram esse padrão, resultado de intensa lixiviação, remoção de bases, pobreza do substrato e acidez proveniente de materiais orgânicos. Entretanto, a aplicação de corretivos na pastagem diferiu esse ambiente dos demais em análise (Schaefer et al., 2018).

O geoambiente de Buritizal destacou-se por apresentar características químicas singulares. Embora também apresente alta acidez, foi a única fitofisionomia com valores elevados de fósforo disponível ( $30,55 \text{ mg/dm}^3$ ), mais que o triplo dos demais ambientes. Esse ambiente também apresentou altas concentrações de alumínio trocável, além de maiores teores de potássio (K), sódio (Na) e matéria orgânica (MO). A combinação desses fatores indica um ambiente com maior acúmulo de nutrientes, possivelmente relacionado à deposição contínua de matéria orgânica em lençol freático elevado, bem como à constante deposição de dejetos de aves que nidificam ativamente nos buritizais, além de se alimentarem de seus frutos, como verificado por Schaefer et al., (2018) na Serra Sul.

Os geoambientes de Campo Rupestre Ferruginoso apresentaram altos teores de ferro (Fe) disponíveis, como esperado devido à sua ocorrência sobre canga em regime sazonalmente redutor (Schaefer et al., 2016). Esses ambientes também mostraram altos teores de matéria orgânica e variações marcantes na acidez. O CRF\_Ab e o CRF\_Arb estão associados a maiores teores de alumínio trocável e carbono orgânico total, como evidenciado pela PCA, o que deve estar associado à distrofia dos solos, com metabolismo microbiano lento, déficit hídrico no período de seca, toxidez de alumínio, retardando a decomposição dos resíduos vegetais (Schaefer et al., 2018). Destaca-se que o CRF\_BG apresentou pH significativamente maior que os demais CRFs e menor teor de alumínio, o que pode refletir diferenças microambientais locais.

Vale ressaltar que a forte adsorção do fósforo com ferro e alumínio em solos de canga pode ser fator agravante da deficiência em P para plantas (do Carmo et al., 2016).

As concentrações de P-rem refletem a natureza mineralógica oxidica, com forte retenção de P pela fração argila dos solos (Messias et al., 2013; do Carmo et al., 2016), corroborando o padrão encontrado para os geoambientes de Campo Rupestre Ferruginoso no Sudeste da Amazônia (Schaefer et al., 2016).

Os geoambientes de Capão e Cerradão mostraram valores intermediários nas variáveis químicas analisadas. Destaca-se que o Capão apresentou diferenças significativas nos teores de cobre em relação a outras fitofisionomias, evidenciando uma singularidade geoquímica. O Cerrado Rupestre Ferruginoso também mostrou uma relação inversa com os nutrientes associados ao Eixo 2 da PCA, indicando solos menos férteis e com maior saturação por alumínio.

As áreas florestais apresentaram solos com baixa fertilidade, caracterizados por menores teores de ferro e fósforo disponíveis e macro e micronutrientes, além de pH ácido. A Floresta de encosta (FL\_encosta), em especial, apresentou o menor valor de fósforo remanescente (P-rem) entre todos os geoambientes, refletindo uma alta capacidade de adsorção de fósforo e muito baixa disponibilidade desse nutriente (Schaefer et al., 2016). Este geoambiente também se posicionou próximo aos vetores de pH e cobre (Cu) na PCA, sugerindo uma composição mais estável e menos influenciada por acúmulo de matéria orgânica e ferro.

Os solos sob pastagem apresentaram o pH mais alto entre todos os geoambientes, o que pode ser reflexo direto da aplicação de corretivos agrícolas. Além disso, apresentou altas concentrações de manganês ( $117,2 \text{ mg/dm}^3$ ) e argila, significativamente distinta dos Campos Rupestres, que por sua vez apresentam alta proporção de cascalho, proporcionalmente reduzindo o teor de argila do solo, e reduzindo a retenção de água no solo (Schaefer et al., 2016). As concentrações de manganês podem ser resultado de atividade biológica de termiteiro que são capazes de elevar as concentrações desse nutriente, entre outros fatores (Schaefer et al., 2016).

### **5.3. Relação termiteiro e solo adjacente**

Avaliando a relação dos termiteiros com os perfis de solos adjacentes, fica clara a atuação dos cupins como "engenheiros de ecossistema", capazes de alterar a química do solo ao concentrar nutrientes em suas estruturas, sobretudo cálcio e manganês, e promovendo variações locais na textura e acidez (Schaefer et al., 2016). Os resultados obtidos revelam uma separação clara entre os perfis de solo associados a termiteiros e aqueles de solos adjacentes, principalmente por influência de variáveis como cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e manganês (Mn). Esses resultados,

sugerem que de uma forma geral, os termiteiros estão associados a uma maior disponibilidade de nutrientes, o que está em concordância com o papel dos cupins como engenheiros do solo, bem como reforça que a atividade biológica nos solos apresenta papel diferente em determinado contexto ambiental e corrobora os estudos anteriores (Schaefer et al., 2016).

Algumas espécies de cupins promovem a redistribuição de partículas do solo, matéria orgânica e nutrientes ao construírem seus ninhos, além de favorecerem a mistura vertical do perfil do solo por meio da bioturbação (Camacho et al., 2021). Esses processos contribuem para aumento da fertilidade local e alteram significativamente a estrutura e composição química do solo ao redor dos ninhos (Jouquet et al., 2016; Camacho et al., 2021).

Os solos de termiteiro como P10\_Termit\_2 e P10\_Termit\_3, que se distanciaram fortemente do agrupamento geral no espaço da PCA, podem representar casos de intensa atividade biológica ou o uso de materiais específicos na construção dos ninhos, como argilas ou matéria orgânica rica em nutrientes, o que resulta em perfis edáficos substancialmente diferentes dos solos circundantes (Jouquet et al., 2011; Oliveira et al., 2022).

Nos ambientes florestais, observou-se uma tendência dos termiteiros se associarem a maiores teores de argila e alumínio, possivelmente refletindo as condições edáficas mais ácidas e lixiviadas desses ambientes (Silva et al., 2020). Já os termiteiros dos Campos Rupestres Ferruginosos mostraram maior dispersão e associação com variáveis químicas, o que pode indicar uma maior heterogeneidade nesses ambientes, tanto em função da composição da canga hematítica quanto da variabilidade na disponibilidade de nutrientes (Schaefer et al., 2016).

Diversos autores destacam que a influência dos termiteiros sobre os solos é altamente dependente do contexto ambiental e do tipo de solo onde se desenvolvem (Jouquet et al., 2016; Lavelle et al., 2020). Em solos mais pobres, como os de Campos Rupestres, os termiteiros podem atuar como verdadeiros "hotspots" de fertilidade, promovendo maior acúmulo de matéria orgânica, bases trocáveis e micronutrientes, o que pode ter efeitos importantes sobre a vegetação e a microbiota local (Camacho et al., 2021). Dessa forma, os resultados obtidos reforçam que os termiteiros modificam a química do solo de maneira sistemática, criando microambientes com maior disponibilidade de nutrientes, especialmente em paisagens naturalmente empobrecidas.

Segundo Bandeira e Macambira (1988), em estudo pioneiro sobre os térmitas de Carajás, há forte presença de inquilinos em cupinzeiros de barro, enquanto em Campo Rupestre Aberto sobre canga ocorre ampla dominância de *Nasutitermes minimus*, confirmado no presente trabalho. Aparentemente, o alto grau de especialização da espécie de *N. minimus* em CR em Carajás, com uniformidade de padrões de termiteiros (escuros, ricos em MO e de porte similar) refletem um padrão de detritívora convergente, com elevada capacidade de concentração de recursos, onde a escassez é máxima. Esse efeito confirma a importância chave das térmitas na ciclagem, quanto mais pobre, ácido e lixiviado for o solo (Sarcinelli et al., 2013; Schaefer et al., 2016c).

## 6. CONCLUSÃO

Na comparação geral entre os geoambientes de canga no Complexo Rupestre Ferruginoso na Serra de São Félix, Serra Arqueada, Serra da Bocaina, Serra Leste e Patamares e Terraços do Araguaia, houve forte similaridade nos principais atributos químicos e físicos dos solos, com forte dissimilaridade entre os diferentes geoambientes sobre canga.

A atividade das térmitas para o Complexo Rupestre é fortemente associada à ciclagem de nutrientes, e seus efeitos são bem maiores nos Campos rupestres (Brejosos, Abertos ou arbustivos) em relação a todos os demais, notadamente os florestados.

Há fortes diferenças morfológicas e químicas (dissimilaridades) entre os solos dos geoambientes de canga associados a rochas metabásicas ou à sedimentos ferruginosos (ambos na depressão do Araguaia), em comparação ao Complexo Rupestre Ferruginoso em Carajás, onde a maior antiguidade e estabilidade da paisagem resulta em filtros ambientais específicos que induzem a forte geobiodiversidade encontrada nas Serras e Platôs da região da Grande Carajás.

Essas informações são essenciais para entender os processos de formação dos solos e geoambientes em áreas de canga, e pode subsidiar ações de manejo conservacionista para essas áreas da Província Mineral de Carajás, sudeste da Amazônia.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. C. C. **Contribuição à petrologia do granito central da serra dos Carajás**: 1-64. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém. 1980.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, 22(6), 711-728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ARAÚJO, O. J. B. & R. G. N. MAIA (Org.), **Serra dos Carajás**. Folha SB.22-Z-A: Estado do Pará: 1-164. DNPM-CPRM (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Grande Carajás), Brasília, 1991.

BEISIEGEL, V. D. R., BERNARDELLI, A. L., DRUMMOND, N. F., RUFF, A. W., & TREMAINE, J. W. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. *Brazilian Journal of Geology*, 3(4), 215-242, 1973.

CAMACHO, G. P., LOPES, J. M., COUTINHO, R. C., & SILVA, R. F. Termite mounds influence soil chemical properties and nutrient availability in Brazilian savannas. *Applied Soil Ecology*, 163, 103912, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103912>

COSTA, M. L., CARMO, M. S., & BEHLING, H. Mineralogia e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia brasileira. *Brazilian Journal of Geology*, 35(2), 165-176, 2005.

DA FONSECA-DA-SILVA, T.L., LOVO, J., ZAPPI, D.C. *et al.* Plant species on Amazonian *canga* habitats of Serra Arqueada: the contribution of an isolated outcrop to the floristic knowledge of the Carajás region, Pará, Brazil. *Braz. J. Bot*, 43, 315–330 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00608-5>

DE OLIVEIRA, B. A., DE OLIVEIRA, M. F., & MACIEL-SILVA, A. S. Vegetation mosaic shaping bryophyte diversity in a threatened ecosystem: A case study of Brazilian Cangas (ferruginous rupestrian fields). *Flora*, 313, 152474, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2024.152474>

DIAS, H. C. T., FERNANDES FILHO, E. I., SCHAEFER, C. E. G. R., FONTES, L. E. F., & VENTORIM, L. B. Geoambientes do parque estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. *Revista Árvore*, 26, 777-786. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600014>.

DINNO A “dunn.test” package: Dunn's test of multiple comparisons using rank sums. R Studio package version online: <https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>. 2017.

DORR, JOHN VAN NOSTRAND. Supergene iron ores of minas Gerais, Brazil. *Economic Geology*, v. 59, n. 7, p. 1203-1240, 1964. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.59.7.1203>

DUNCAN, D. B. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11(1), 1–42, 1955. <https://doi.org/10.2307/3001478>

DUNN, O. J. Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, 6(3), 241–252, 1964. <https://doi.org/10.1080/00401706.1964.10490181>

DOS SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., DOS ANJOS, L. H. C., DE OLIVEIRA, V. Á., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., DE ALMEIDA, J. A., DE ARAÚJO FILHO, J. C., DE OLIVEIRA, J. B., & CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (5th ed.). Embrapa. 2018.

DOS SANTOS, R. D., DOS SANTOS, H. G., KER, J. C., DOS ANJOS, L. H. C., & SHIMIZU, S. H. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (7°)**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

FERNANDES, G. W. (Ed.). **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil** (Vol. 1, pp. 3-14). Switzerland: Springer International Publishing. 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5>.

GAGEN, E. J., LEVETT, A., PAZ, A., GASTAUER, M., CALDEIRA, C. F., DA SILVA VALADARES, R. B., ... & SOUTHAM, G. Biogeochemical processes in canga ecosystems: Armoring of iron ore against erosion and importance in iron duricrust restoration in Brazil. **Ore Geology Reviews**, 107, 573-586, 2019.

GRAINGER, C. J., GROVES, D. I., TALLARICO, F. H., & FLETCHER, I. R. Metallogenesis of the Carajás mineral province, southern Amazon craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base-and precious-metal mineralisation. **Ore Geology Reviews**, 33(3-4), 451-489, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.10.010>.

HASUI, Y.; HARALY, N.L.E. & SCHOBENHAUS, C. Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. In: **Simpósio Geológico da Amazônia 1**. Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Norte, Belém. Pp 129-141, 1984.

JACOBI, C.M., DO CARMO, F.F. & DE CAMPOS, I.C. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. **AMBIO**, 40, 540–543, 2011. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0151-7>

JACOBI, C. M., & CARMO, F. F. D. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 25, 395-412, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200016>.

JOLLIFFE, I. T., & CADIMA, J. Principal component analysis: A review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**, 374(2065), 20150202, 2016. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

JOUQUET, P., BOTTINELLI, N., SHANBHAG, R. R., BOURGUIGNON, T., TRAORE, S., & ABBASI, S. A. Termites: The neglected soil engineers of tropical soils. **Soil Science**, 181(3/4), 157–165, 2016. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000179>

JOUQUET, P., TRAORÉ, S., CHOOSAI, C., HARTMANN, C., & BIGNELL, D. Influence of termites on ecosystem functioning: ecosystem services provided by termites. **European Journal of Soil Biology**, 47(4), 215–222, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.05.005>

KRUSKAL, W. H., & WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, 47(260), 583–621, 1952. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>

LAVELLE, P., DECAËNS, T., AUBERT, M., BAROT, S., BLOUIN, M., BUREAU, F., ... & ROSSI, J. P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, 55, 23–35, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2019.01.005>

LEAL, F.A., ALMEIDA, M.P., MEAL, A.S.A. Aplicação do modelo linear de mistura espectral para mapeamento de pastagens degradadas e solo exposto na Amazônia. **Nativa**, 8(3), 352-360, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.9495>

MOTA NF DE O, SILVA LVC, MARTINS FD, VIANA PL. Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. In: Carmo FF, Kamino LHY, eds. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 289–315, 2015.

MOTA, M.R., PINHEIRO, F., SANTOS LEAL, B.S.D. *et al.* Correction: From micro- to macroevolution: insights from a Neotropical bromeliad with high population genetic structure adapted to rock outcrops. **Heredity**, 125, 372, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-00359-9>

NUNES, J. A., SCHAEFER, C. E., FERREIRA JÚNIOR, W. G., NERI, A. V., CORREA, G. R., & ENRIGHT, N. J. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 87, 2097-2110, 2015. <https://doi.org/10.1590/0001-376520152014-0106>.

OGLE, D. H., DOLL, J. C., WHEELER, P., & DINNO, A. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version XX. <https://CRAN.R-project.org/package=FSA> Kembel, S. W., Cowan, P. D., Helmus, M. R., Cornwell, W. K., Morlon, H., Ackerly, D. D., Blomberg, S. P., & Webb, C. O. (2010). Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. **Bioinformatics**, 26(11), 1463–1464, 2024. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq166>.

OLIVEIRA, I. D., SOUZA, I. F., & SILVA, T. M. Biological agents and soil heterogeneity: Termite mounds as drivers of soil fertility in Neotropical landscapes. **Journal of Tropical Ecology**, 38, 75–87, 2022.

PEARSON, K. Note on regression and inheritance in the case of two parents. **Proceedings of the Royal Society of London**, 58, 240–242, 1895. <https://doi.org/10.1098/rspl.1895.0041>

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. <https://www.R-project.org/>

RIBEIRO, A. S. D. S. **Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica dos solos da serra Sul, Floresta Nacional de Carajás, Pará**. 2009.

SAHOO, P. K., GUIMARAES, J. T., SOUZA-FILHO, P. W., SILVA, M. S., SILVA JUNIOR, R. O., PESSIM, G., ... & DALL'AGNOL, R. Influence of seasonal variation on the hydro-biogeochemical characteristics of two upland lakes in the Southeastern Amazon, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 88, 2211-2227, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620160354>

SAMAMA, J.C. **Ore fields and continental weathering**. New York : Van Nostrand Reinhold Co., 1986. x, 326 p. QE390 .S36 ISBN: 0442280254, 1986. <https://lcn.loc.gov/85020203>

SARCINELLI TS, SCHAEFER CEGR, FERNANDES FILHO EI, MAFIA RG, NERI AV. Modificação do solo por cupins em uma vegetação de solo arenoso na Mata

Atlântica brasileira. **Journal of Tropical Ecology**. 29(5): 439-448. 2013. doi:10.1017/S0266467413000497

SCHAEFER, C.E.R.G. *et al.* The Physical Environment of Rupestrian Grasslands (Campos Rupestres) in Brazil: Geological, Geomorphological and Pedological Characteristics, and Interplays. In: Fernandes, G. (eds) Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil. **Springer, Cham**. 2016b. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5_2)

SCHAEFER, C. E. G. R., MENDONÇA, B. A. F., & RIBEIRO, A. S. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Simpósio Afloramentos Ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: Biodiversidade, Conservação e Perspectivas de Sustentabilidade. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)/Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Belo Horizonte**, 109-121. 2008.

SCHAEFER, C.E.G.R., MARINS, A., CORRÊA, G.R., DESOUSA, O., NUNES, J.A. Termite Role in Soil Nutrient Cycling in Ironstone Rupestrian Grasslands (*Canga*) in Carajás, Brazilian Amazonia. In: Fernandes, G. (eds) Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil. **Springer, Cham**. 2016c. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5_16)

SCHAEFER, C. E., CÂNDIDO, H. G., CORRÊA, G. R., PEREIRA, A., NUNES, J. A., SOUZA, O. F., ... & KER, J. C. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. **Geossistemas ferruginosos do Brasil: Áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora**, 77-102. 2015.

SCHAEFER, C. E., CANDIDO, H. G., CORRÊA, G. R., SIMAS, F. N. B., & CAMPOS, J. C. F. Ecossistemas e geoambientes de canga ferruginosa em Carajás: paisagens singulares em risco de extinção. In F. D. Martins, L. H. Y. Kamino, & K. T. Ribeiro (Orgs.), **Projeto Cenários: conservação de campos ferruginosos diante da mineração em Carajás** (Cap. 2, pp. 39–105). Tubarão, SC: Copiart. 2018.

SCHAEFER, C.E.R.G. *et al.* Relações SoloVegetação em alguns ambientes brasileiros: Fatores Edáficos e Florística. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV. 2ª edição. 2012.

SCHAEFER, C. E. G., DE LIMA NETO, E., CORRÊA, G. R., SIMAS, F. N. B., CAMPOS, J. F., DE MENDONÇA, B. A. F., & NUNES, J. A. Geoambientes, solos e estoques de carbono na Serra Sul de Carajás, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, 11(1), 85-101, 2016a. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v11i1.462>

SCHAEFER CEGR, SIMAS FNB, MENDONÇA BAF, SABOYA AS, FERREIRA JÚNIOR WG, NUNES JA, CORREA GR Geodiversidade dos ambientes de canga na região de Carajás – Pará. **Relatório Técnico**. parte 2. Vale Empresa Brasileira, 2009.

SCHETTINI AT, LEITE MGP, MESSIAS MCTB, GAUTHIER A, LI H, KOZOVITS AR Explorando a fitoextração de Al, Mn e Fe em 27 espécies de plantas de afloramentos rochosos ferruginosos. **Flora**, 238: 175-182, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.004>

SHAPIRO, S. S., & WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 52(3/4), 591–611, 1965. <https://doi.org/10.2307/2333709>

SHUSTER, D. L., FARLEY, K. A., VASCONCELOS, P. M., BALCO, G., MONTEIRO, H. S., WALTENBERG, K., & STONE, J. O. Cosmogenic <sup>3</sup>He in hematite and goethite from Brazilian “canga” duricrust demonstrates the extreme stability of these surfaces. **Earth and Planetary Science Letters**, 329, 41-50, 2012.

SILVA, A. R., RESENDE-MOREIRA, L. C., CARVALHO, C. S., LANES, E. C. M., ORTIZ-VERA, M. P., VIANA, P. L., & JAFFÉ, R. Range-wide neutral and adaptive genetic structure of an endemic herb from Amazonian Savannas. **AoB PLANTS**, 12(1), plaa003, 2020. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaa003>

SILVEIRA, F.A.O., NEGREIROS, D., BARBOSA, N.P.U. *et al.* Ecology and evolution of plant diversity in the endangered *campo rupestre*: a neglected conservation priority. **Plant Soil**, 403, 129–152, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2637-8>

SOUZA-FILHO, P. W. M., GIANNINI, T. C., JAFFÉ, R., GIULIETTI, A. M., SANTOS, D. C., NASCIMENTO JR, W. R., ... & SIQUEIRA, J. O. Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: A challenge for biodiversity conservation. **PLoS One**, 14(1), e0211095, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211095>

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo** (P. C. Teixeira, G. K. Donagemma, A. Fontana, & W. G. Teixeira, Eds.; 3<sup>o</sup>), 2017. Embrapa. <https://www.embrapa.br>

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, 5(2), 99–114, 1949. <https://doi.org/10.2307/3001913>

VIANA, P. L., MOTA, N. F. D. O., GIL, A. D. S. B., SALINO, A., ZAPPI, D. C., HARLEY, R. M., ... & GIULIETTI, A. M. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. **Rodriguésia**, 67(5 spe), 1107-1124, 2016.

## APÊNDICE A

Tabelas das análises de perfis de solos de todas as áreas:

**Tabela 1** Análise química e física dos perfis da Serra de Campos em São Félix do Xingu.

| Perfil   | Horizonte | Símbolo | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila | Textura               | pH H <sub>2</sub> O | pH KCl | P                         | K   | Na    | Ca <sup>2+</sup>                               | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | SB   | t             | T      | V    | m                              | ISNa | MO    | P_Rem | Cu   | Mn    | Fe    | Zn   | Cr   | Ni   | Cd   | Pb   |
|--|-----------|---------|--------------|------------|-------|--------|-----------------------|---------------------|--------|---------------------------|-----|-------|--|------------------|------------------|------|------|---------------|--------|------|--------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|  |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        | ---mg/dm <sup>3</sup> --- |     |       | ----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ----- |                  |                  |      |      | ----- % ----- | dag/kg | mg/L | ----- mg/dm <sup>3</sup> ----- |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P1 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto           |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                           |     |       |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P1   | Ac        | 0-8     | 0,709        | 0,018      | 0,11  | 0,163  | Franco-Arenosa        | 4,91                | 3,29   | 4,5                       | 81  | 15,54 | 0,84   | 0,42             | 1,52             | 15,6 | 1,54 | 3,06          | 17,14  | 9,0  | 49,7                           | 0,39 | 8,88  | 28,7  | 0,29 | 10,4  | 249,1 | 2,05 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 1,10 |
| P2- Plintossolo Pétrico Concrecionário Litoplântico – Capão Florestal de Canga                     |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                           |     |       |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P2   | Ac        | 0-17    | 0,447        | 0,03       | 0,248 | 0,275  | Franco-Argilo-Arenosa | 4,10                | 3,74   | 15,0                      | 59  | 23,10 | 0,23   | 0,13             | 1,90             | 18,6 | 0,61 | 2,51          | 19,21  | 3,2  | 75,7                           | 0,52 | 4,41  | 11,6  | 0,32 | 10,1  | 166,1 | 2,64 | 0,22 | 0,00 | 0,14 | 1,18 |
| P2   | Bc        | 17-25   | 0,505        | 0,031      | 0,154 | 0,31   | Franco-Argilo-Arenosa | 4,16                | 3,97   | 4,0                       | 51  | 12,13 | 0,02   | 0,10             | 1,09             | 14,6 | 0,30 | 1,39          | 14,90  | 2,0  | 78,4                           | 0,35 | 9,84  | 14,2  | 0,12 | 4,5   | 171,1 | 1,08 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,99 |
| P3- Plintossolo Pétrico Concrecionário Litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                           |     |       |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P3   | Ac        | 0-10    | 0,737        | 0,002      | 0,057 | 0,204  | Franco-Argilo-Arenosa | 5,11                | 4,37   | 3,8                       | 33  | 8,75  | 0,11   | 0,06             | 0,32             | 7,0  | 0,29 | 0,61          | 7,29   | 4,0  | 52,5                           | 0,52 | 4,41  | 15,2  | 0,20 | 1,4   | 507,9 | 0,48 | 0,08 | 0,00 | 0,14 | 0,52 |
| P4 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Latossólico - Capão Florestal de Canga                     |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                           |     |       |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P4   | A1        | 0-5     | 0,26         | 0,097      | 0,215 | 0,428  | Argila                | 3,44                | 3,23   | 1,7                       | 92  | 21,46 | 0,47   | 0,30             | 5,27             | 33,4 | 1,10 | 6,37          | 34,5   | 3,2  | 82,7                           | 0,27 | 13,37 | 8,6   | 0,25 | 11,9  | 229,4 | 1,31 | 0,12 | 0,00 | 0,14 | 0,42 |
| P4   | A2        | 5-30    | 0,537        | 0,048      | 0,233 | 0,182  | Franco-Arenosa        | 4,03                | 3,93   | 2,1                       | 32  | 6,94  | 0,04   | 0,06             | 1,03             | 12,2 | 0,21 | 1,24          | 12,41  | 1,7  | 83,1                           | 0,24 | 4,71  | 20,3  | 0,20 | 6,5   | 112,5 | 0,51 | 0,05 | 0,00 | 0,14 | 0,48 |
| P4   | Bwc       | 30-55   | 0,343        | 0,064      | 0,234 | 0,359  | Franco-Argilosa       | 4,52                | 4,26   | 2,0                       | 34  | 12,66 | 0,14   | 0,08             | 0,51             | 9,9  | 0,36 | 0,87          | 10,26  | 3,5  | 58,6                           | 0,54 | 4,54  | 8,4   | 0,27 | 31,2  | 119,5 | 0,74 | 0,25 | 0,00 | 0,15 | 0,72 |
| P4   | Bwc2      | 55-80   | 0,202        | 0,046      | 0,437 | 0,315  | Franco-Argilosa       | 5,06                | 4,68   | 1,7                       | 23  | 12,14 | 0,06   | 0,03             | 0,10             | 7,8  | 0,20 | 0,30          | 8,00   | 2,5  | 33,3                           | 0,66 | 5,37  | 5,7   | 0,23 | 29,2  | 65,8  | 0,65 | 0,16 | 0,00 | 0,14 | 1,00 |
| P5 - Organossolo - Buritizal   |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                           |     |       |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P5   | H         | 0-40    | 0,347        | 0,009      | 0,068 | 0,576  | Argila                | 4,03                | 3,04   | 62,3                      | 536 | 42,20 | 1,56   | 0,73             | 7,15             | 77,6 | 3,85 | 11,00         | 81,45  | 4,7  | 65,0                           | 0,23 | 36,73 | 12,1  | 0,64 | 12,9  | 91,4  | 2,50 | 0,11 | 0,43 | 0,24 | 1,09 |
| P6 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto-arbustivo |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                           |     |       |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P6   | Ac        | 3-10    | 0,229        | 0,04       | 0,403 | 0,327  | Franco-Argilosa       | 4,11                | 3,17   | 6,1                       | 88  | 17,91 | 1,04   | 0,4              | 2,13             | 28,6 | 1,74 | 3,87          | 30,34  | 5,7  | 55,0                           | 0,26 | 13,47 | 12,6  | 0,21 | 12,5  | 964,6 | 3,51 | 0,00 | 0,51 | 0,17 | 0,67 |
| P7 - Nitossolo Vermelho – Pastagem/Antropizado   |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                           |     |       |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |       |       |      |      |      |      |      |
| P7   | A         | 0-10    | 0,113        | 0,049      | 0,082 | 0,757  | Muito Argilosa        | 5,59                | 4,9    | 1,8                       | 167 | 12,27 | 5,15   | 1,63             | 0,00             | 5,2  | 7,26 | 7,26          | 12,46  | 58,3 | 0,0                            | 0,43 | 6,07  | 20,4  | 6,11 | 253,7 | 83,8  | 6,88 | 0,32 | 2,12 | 0,21 | 1,22 |

|   |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |       |        |       |      |      |      |      |
|---|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|------|------|------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|--------|-------|------|------|------|------|
| P7  | AB | 10-30 | 0,041 | 0,025 | 0,261 | 0,674 | Muito Argilosa        | 5,84 | 5,12 | 1,4  | 40  | 3,44  | 3,38 | 0,59 | 0,00 | 2,0  | 4,09 | 4,09 | 6,09  | 67,2 | 0,0  | 0,25 | 1,17  | 18,9 | 9,62 | 74,1  | 63,3   | 0,90  | 0,13 | 0,32 | 0,18 | 0,55 |
| P7  | Bt | 30-60 | 0,036 | 0,026 | 0,197 | 0,741 | Muito Argilosa        | 5,95 | 5,28 | 0,9  | 28  | 4,17  | 2,48 | 0,62 | 0,00 | 1,6  | 3,19 | 3,19 | 4,79  | 66,6 | 0,0  | 0,38 | 0,74  | 19,3 | 4,95 | 23,8  | 47,8   | 0,38  | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,81 |
| P8 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Litoplíntico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de Lajeiro |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |       |        |       |      |      |      |      |
| P8  | Ac | 0-8   | 0,83  | 0,003 | 0,031 | 0,136 | Franco-Arenosa        | 4,33 | 3,10 | 4,6  | 80  | 23,10 | 1,32 | 0,38 | 0,83 | 12,3 | 2,01 | 2,84 | 14,31 | 14,0 | 29,2 | 0,70 | 6,47  | 40,2 | 0,40 | 11,6  | 314,5  | 2,37  | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 0,34 |
| P9 - Plintossolo Pétrico Litoplíntico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto                           |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |       |        |       |      |      |      |      |
| P9  | A  | 0-5   | 0,48  | 0,059 | 0,188 | 0,273 | Franco-Argilo-Arenosa | 4,34 | 2,96 | 5,2  | 78  | 16,55 | 0,64 | 0,16 | 3,15 | 49,8 | 1,07 | 4,22 | 50,87 | 2,1  | 74,6 | 0,14 | 33,95 | 14,3 | 0,82 | 11,3  | 1432,4 | 3,29  | 1,35 | 3,38 | 0,25 | 0,00 |
| P9  | A  | 0-5   | 0,628 | 0,028 | 0,162 | 0,183 | Franco-Arenosa        | 4,40 | 2,91 | 8,2  | 136 | 12,95 | 2,14 | 0,60 | 2,86 | 46,9 | 3,15 | 6,01 | 50,05 | 6,3  | 47,6 | 0,11 | 50,57 | 23,2 | 0,65 | 39,3  | 1458,4 | 5,76  | 1,54 | 4,07 | 0,43 | 0,00 |
| P10 - Plintossolo Pétrico Concrecionário - Capão Florestal de Canga                                 |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |       |        |       |      |      |      |      |
| P10   | A  | 0-10  | 0,472 | 0,055 | 0,349 | 0,125 | Franco-Arenosa        | 4,34 | 4,32 | 22,9 | 25  | 8,73  | 0,24 | 0,04 | 0,43 | 8,2  | 0,38 | 0,81 | 8,58  | 4,4  | 53,1 | 0,44 | 3,80  | 10,4 | 0,65 | 11,4  | 113,9  | 2,26  | 1,32 | 2,93 | 0,25 | 1,40 |
| P10   | AF | 10-35 | 0,613 | 0,05  | 0,206 | 0,131 | Franco-Arenosa        | 4,21 | 4,07 | 3,3  | 36  | 13,80 | 0,07 | 0,05 | 0,87 | 9,6  | 0,27 | 1,14 | 9,87  | 2,7  | 76,3 | 0,61 | 2,91  | 18,8 | 0,34 | 7,0   | 168,9  | 1,30  | 1,13 | 2,50 | 0,42 | 1,36 |
| P11 - Plintossolo Pétrico Litoplíntico - Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo                       |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |       |        |       |      |      |      |      |
| P11   | A  | 0-5   | 0,362 | 0,046 | 0,302 | 0,29  | Franco-Argilosa       | 3,67 | 2,50 | 6,7  | 112 | 19,82 | 1,32 | 1,37 | 5,39 | 57,9 | 3,06 | 8,45 | 60,96 | 5,0  | 63,8 | 0,14 | 25,39 | 13,5 | 0,72 | 92,5  | 1136,4 | 13,38 | 1,24 | 3,36 | 0,27 | 0,00 |
| P12 - Plintossolo Pétrico Litoplíntico - Capão Florestal de Borda                                   |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |       |        |       |      |      |      |      |
| P12   | A  | 0-25  | 0,304 | 0,029 | 0,184 | 0,483 | Argila                | 5,05 | 4,08 | 5,8  | 184 | 14,04 | 5,71 | 0,97 | 0,47 | 25,5 | 7,21 | 7,68 | 32,71 | 22,0 | 6,1  | 0,19 | 54,08 | 15,3 | 1,21 | 151,4 | 171,4  | 6,85  | 1,74 | 3,82 | 0,26 | 0,00 |

**Tabela 2** Análise química e física dos perfis da Serra da Bocaina-PA.

| Perfil  | Horizonte<br>Símbolo | Horizonte<br>(cm) | Areia  | Areia | Silte | Argila | Textura         | pH<br>H <sub>2</sub> O | pH<br>KCl | P                         | K    | Na      | Ca <sup>2+</sup>                         | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | SB   | t             | T      | V    | m                              | ISNa | MO    | P_Rem | Cu   | Mn   | Fe    | Zn    | Cr   | Ni   | Cd   | Pb   |
|---|----------------------|-------------------|--------|-------|-------|--------|-----------------|------------------------|-----------|---------------------------|------|---------|--|------------------|------------------|------|------|---------------|--------|------|--------------------------------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
|   |                      |                   | Grossa | Fina  |       |        |                 |                        |           | ---mg/dm <sup>3</sup> --- |      |         | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ----- |                  |                  |      |      | ----- % ----- | dag/kg | mg/L | ----- mg/dm <sup>3</sup> ----- |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P13 - Plintossolo pétrico concrecionário litoplíntico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto |                      |                   |        |       |       |        |                 |                        |           |                           |      |         |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P13   | A                    | 0-15              | 0,18   | 0,064 | 0,27  | 0,486  | Argila          | 4,49                   | 3,11      | 6,6                       | 104  | 17,61   | 0,70                                     | 0,35             | 2,43             | 33,9 | 1,39 | 3,82          | 35,29  | 3,9  | 63,6                           | 0,22 | 23,68 | 15,2  | 0,78 | 9,8  | 949,1 | 2,14  | 0,88 | 2,51 | 0,38 | 0,96 |
| P13   | AF                   | 15-25             | 0,288  | 0,046 | 0,291 | 0,375  | Franco-Argilosa | 4,04                   | 3,36      | 1,6                       | 46   | 11,46   | 0,13                                     | 0,09             | 1,93             | 20,1 | 0,39 | 2,32          | 20,49  | 1,9  | 83,2                           | 0,24 | 9,78  | 11,9  | 0,34 | 1,7  | 751,0 | 0,97  | 0,82 | 1,89 | 0,3  | 1,08 |
| P14 - Plintossolo pétrico litoplíntico - Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo de topo     |                      |                   |        |       |       |        |                 |                        |           |                           |      |         |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P14   | A                    | 0-15              | 0,282  | 0,028 | 0,391 | 0,299  | Franco-Argilosa | 5,32                   | 5,36      | 41,8                      | 2426 | 1029,50 | 8,23                                     | 16,31            | 0,29             | 16,9 | 35,2 | 35,53         | 52,14  | 67,6 | 0,8                            | 8,58 | 48,04 | 29    | 0,40 | 69,5 | 171,7 | 14,55 | 1,00 | 2,74 | 0,56 | 0,00 |
| P14   | AF                   | 15-25             | 0,851  | 0,006 | 0,041 | 0,103  | Areia Franca    | 4,89                   | 3,32      | 5,5                       | 59   | 23,15   | 0,64                                     | 0,41             | 0,64             | 8,6  | 1,30 | 1,94          | 9,90   | 13,1 | 33,0                           | 1,02 | 4,92  | 42,3  | 0,66 | 5,2  | 309,4 | 1,77  | 0,91 | 1,94 | 0,37 | 0,00 |
| P14   | F                    | 20+               | 0,751  | 0,018 | 0,071 | 0,16   | Franco-Arenosa  | 4,33                   | 3,02      | 18,3                      | 137  | 19,89   | 0,80                                     | 0,58             | 1,72             | 26,6 | 1,82 | 3,54          | 28,42  | 6,4  | 48,6                           | 0,30 | 7,86  | 22,6  | 1,29 | 56,2 | 689,6 | 6,91  | 0,95 | 2,69 | 0,44 | 0,84 |
| P15 - Latossolo - Capão Florestal de canga de topo  |                      |                   |        |       |       |        |                 |                        |           |                           |      |         |  |                  |                  |      |      |               |        |      |                                |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P15   | C                    | 0-20              | 0,415  | 0,073 | 0,131 | 0,381  | Argilo-Arenosa  | 5,00                   | 4,60      | 0,7                       | 13   | 2,69    | 0,09                                     | 0,06             | 0,14             | 4,4  | 0,20 | 0,34          | 4,60   | 4,3  | 41,2                           | 0,25 | 2,17  | 20,1  | 0,78 | 10,5 | 107,1 | 0,90  | 1,05 | 2,16 | 0,38 | 0,47 |
| P15   | A                    | 20-30             | 0,192  | 0,022 | 0,184 | 0,602  | Muito Argilosa  | 5,33                   | 4,71      | 0,4                       | 19   | 0,68    | 0,04                                     | 0,04             | 0,06             | 7,1  | 0,13 | 0,19          | 7,23   | 1,8  | 31,6                           | 0,04 | 4,08  | 9,9   | 1,03 | 21,6 | 76,4  | 0,82  | 1,06 | 2,38 | 0,36 | 0,06 |
| P15   | Bw                   | 30-70             | 0,137  | 0,021 | 0,173 | 0,67   | Muito Argilosa  | 4,47                   | 4,97      | 0,1                       | 16   | 1,48    | 0,08                                     | 0,03             | 0,00             | 4,9  | 0,16 | 0,16          | 5,06   | 3,2  | 0,0                            | 0,13 | 2,98  | 6,0   | 0,74 | 13,3 | 47,7  | 0,84  | 1,10 | 2,31 | 0,40 | 0,00 |

| P16 - Plintossolo pétrico concrecionário litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso |    |        |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |     |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
|--|----|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|------|------|------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| P16  | A  | 0-10   | 0,076 | 0,048 | 0,564 | 0,311 | Franco-Argilo-Siltosa | 4,58 | 5,66 | 8,3  | 22  | 10,59 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 6,0  | 0,15 | 0,15 | 6,15  | 2,4 | 0,0  | 0,75 | 6,52  | 0,4  | 0,87 | 0,8  | 70,2  | 2,33 | 1,32 | 2,76 | 0,42 | 1,77 |
| P16  | B  | 10-15  | 0,143 | 0,03  | 0,436 | 0,39  | Franco-Argilo-Siltosa | 5,25 | 6,08 | 11,7 | 16  | 5,23  | 0,06 | 0,01 | 0,00 | 4,4  | 0,13 | 0,13 | 4,53  | 2,9 | 0,0  | 0,50 | 4,00  | 0,4  | 3,97 | 0,2  | 64,1  | 1,65 | 1,22 | 2,20 | 0,32 | 0,45 |
| P17 - Organossolo - Buritizal  |    |        |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |     |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
| P17  | A  | 0-20   | 0,047 | 0,023 | 0,244 | 0,685 | Muito Argilosa        | 4,03 | 2,67 | 49,1 | 170 | 31,49 | 2,55 | 1,27 | 3,46 | 43,7 | 4,39 | 7,85 | 48,09 | 9,1 | 44,1 | 0,28 | 39,47 | 42,4 | 0,33 | 14,9 | 64,7  | 4,86 | 0,91 | 2,17 | 0,38 | 0,61 |
| P18 - Organossolo - Buritizal  |    |        |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |     |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
| P18  | A  | 0-20   | 0,15  | 0,021 | 0,252 | 0,577 | Argila                | 3,70 | 3,92 | 3,8  | 129 | 22,43 | 0,12 | 0,30 | 2,78 | 37,7 | 0,85 | 3,63 | 38,55 | 2,2 | 76,6 | 0,25 | 43,29 | 1,3  | 0,69 | 2,6  | 513,3 | 4,50 | 1,26 | 2,71 | 0,43 | 1,72 |
| P19 - Latossolo - Floresta de encosta  |    |        |       |       |       |       |                       |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |     |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
| P19  | A  | 10-35  | 0,115 | 0,021 | 0,229 | 0,635 | Muito Argilosa        | 4,45 | 4,38 | 2,1  | 33  | 13,40 | 0,20 | 0,07 | 0,46 | 10,3 | 0,41 | 0,87 | 10,71 | 3,8 | 52,9 | 0,54 | 6,82  | 6,0  | 7,61 | 20,8 | 79,8  | 2,25 | 1,08 | 2,78 | 0,40 | 0,84 |
| P19  | Bw | 35-95  | 0,084 | 0,015 | 0,319 | 0,582 | Argila                | 4,41 | 4,57 | 1,4  | 13  | 3,05  | 0,08 | 0,03 | 0,14 | 7,1  | 0,16 | 0,30 | 7,26  | 2,2 | 46,7 | 0,18 | 3,84  | 6,2  | 9,47 | 17,5 | 39,7  | 1,63 | 0,96 | 2,71 | 0,40 | 0,96 |
| P19  | Bw | 95-160 | 0,091 | 0,017 | 0,232 | 0,66  | Muito Argilosa        | 4,63 | 4,68 | 1,1  | 15  | 5,25  | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 5,1  | 0,17 | 0,23 | 5,27  | 3,2 | 26,1 | 0,43 | 2,31  | 6,3  | 8,62 | 18,9 | 50,2  | 1,66 | 1,01 | 2,45 | 0,39 | 0,45 |

**Tabela 3** Análise química e física dos perfis da Serra Leste-PA.

| Perfil  | Horizonte | Símbolo | (cm)  | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila                | Textura | pH H <sub>2</sub> O | pH KCl | P                  |                      | K    | Na   | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al  | SB    | t    | T    | V    | m     | ISNa | MO   | P_Rem | Cu    | Mn    | Fe   | Zn   | Cr   | Ni   | Cd | Pb |
|---|-----------|---------|-------|--------------|------------|-------|-----------------------|---------|---------------------|--------|--------------------|----------------------|------|------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|----|----|
|   |           |         |       |              |            |       |                       |         |                     |        | mg/dm <sup>3</sup> | cmol/dm <sup>3</sup> |      |      |                  |                  |                  |       |       |      |      |      |       |      |      |       |       |       |      |      |      |      |    |    |
| P20 - Neossolo litólico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto                           |           |         |       |              |            |       |                       |         |                     |        |                    |                      |      |      |                  |                  |                  |       |       |      |      |      |       |      |      |       |       |       |      |      |      |      |    |    |
| P20   | A         | 0-10    | 0,224 | 0,036        | 0,321      | 0,419 | Argila                | 4,47    | 3,15                | 31,3   | 485                | 36,88                | 5,49 | 3,42 | 0,85             | 47,3             | 10,3             | 11,16 | 57,61 | 17,9 | 7,6  | 0,28 | 45,96 | 37,9 | 0,61 | 59,7  | 464,3 | 13,72 | 1,06 | 2,90 | 0,44 | 0,10 |    |    |
| P20   | C         | 10-35   | 0,324 | 0,05         | 0,278      | 0,349 | Franco-Argilosa       | 3,72    | 2,95                | 18,2   | 306                | 22,99                | 5,64 | 2,15 | 1,74             | 42,8             | 8,67             | 10,41 | 51,47 | 16,8 | 16,7 | 0,19 | 40,48 | 32,5 | 0,74 | 60,3  | 589,3 | 10,92 | 0,99 | 2,99 | 0,38 | 0,66 |    |    |
| P21 - Cambissolo - Capão Florestal de Canga   |           |         |       |              |            |       |                       |         |                     |        |                    |                      |      |      |                  |                  |                  |       |       |      |      |      |       |      |      |       |       |       |      |      |      |      |    |    |
| P21   | A1        | 0-10    | 0,123 | 0,085        | 0,442      | 0,349 | Franco-Argilosa       | 4,42    | 3,25                | 40,9   | 219                | 27,25                | 7,89 | 4,47 | 1,12             | 37,1             | 13               | 14,16 | 50,14 | 26,0 | 7,9  | 0,24 | 28,77 | 33,1 | 0,53 | 104,3 | 346,1 | 18,46 | 1,06 | 2,90 | 0,29 | 0,85 |    |    |
| P21   | C2        | 10-30   | 0,343 | 0,083        | 0,372      | 0,202 | Franca                | 4,16    | 3,16                | 13,0   | 51                 | 13,14                | 0,98 | 0,40 | 2,16             | 20,1             | 1,57             | 3,73  | 21,67 | 7,2  | 57,9 | 0,26 | 11,84 | 24,7 | 0,54 | 40,8  | 374,0 | 7,23  | 0,93 | 2,61 | 0,37 | 0,00 |    |    |
| P21   | Bw        | 30-60   | 0,295 | 0,094        | 0,408      | 0,203 | Franca                | 4,93    | 3,46                | 5,6    | 35                 | 5,57                 | 0,29 | 0,16 | 0,75             | 8,1              | 0,56             | 1,31  | 8,66  | 6,5  | 57,3 | 0,28 | 3,95  | 33,2 | 0,35 | 11,7  | 363,0 | 2,09  | 1,36 | 3,58 | 0,41 | 0,73 |    |    |
| P22 - Latossolo vermelho humico - Capão Florestal de Canga                            |           |         |       |              |            |       |                       |         |                     |        |                    |                      |      |      |                  |                  |                  |       |       |      |      |      |       |      |      |       |       |       |      |      |      |      |    |    |
| P22   | A         | 0-10    | 0,433 | 0,037        | 0,275      | 0,255 | Franco-Argilo-Arenosa | 4,18    | 3,74                | 4,8    | 50                 | 13,85                | 0,22 | 0,09 | 1,89             | 18,0             | 0,50             | 2,39  | 18,50 | 2,7  | 79,1 | 0,33 | 8,86  | 13,0 | 0,49 | 12,5  | 151   | 1,58  | 1,07 | 2,22 | 0,18 | 0,57 |    |    |
| P22   | AB        | 10-40   | 0,432 | 0,033        | 0,291      | 0,243 | Franca                | 4,43    | 4,18                | 1,3    | 24                 | 11,36                | 0,00 | 0,03 | 0,73             | 10,0             | 0,14             | 0,87  | 10,14 | 1,4  | 83,9 | 0,49 | 7,19  | 11,6 | 0,40 | 6,2   | 88,3  | 0,87  | 1,21 | 2,42 | 0,51 | 0,80 |    |    |
| P22   | Bw        | 40-60   | 0,445 | 0,028        | 0,197      | 0,33  | Franco-Argilo-Arenosa | 4,36    | 4,49                | 0,5    | 16                 | 2,63                 | 0,03 | 0,01 | 0,23             | 7,1              | 0,09             | 0,32  | 7,19  | 1,3  | 71,9 | 0,16 | 4,19  | 10,4 | 0,34 | 4,4   | 102,3 | 0,78  | 1,56 | 2,94 | 0,40 | 0,83 |    |    |
| P23 - Plintossolo pétrico litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto de Lajeiro |           |         |       |              |            |       |                       |         |                     |        |                    |                      |      |      |                  |                  |                  |       |       |      |      |      |       |      |      |       |       |       |      |      |      |      |    |    |
| P23   | A1        | 0-10    | 0,33  | 0,04         | 0,204      | 0,426 | Argila                | 5,21    | 3,47                | 7,1    | 127                | 27,90                | 1,13 | 0,33 | 1,75             | 28,0             | 1,91             | 3,66  | 29,91 | 6,4  | 47,8 | 0,41 | 1,05  | 16,3 | 0,39 | 16,5  | 906   | 5,19  | 0,80 | 1,00 | 0,17 | 0,44 |    |    |
| P23   | A2        | 10-20   | 0,157 | 0,048        | 0,426      | 0,369 | Franco-Argilosa       | 5,34    | 3,91                | 11,8   | 76                 | 22,59                | 0,32 | 0,14 | 1,15             | 16,8             | 0,75             | 1,90  | 17,55 | 4,3  | 60,5 | 0,56 | 3,39  | 9,2  | 0,36 | 7,8   | 480,2 | 6,87  | 0,56 | 0,64 | 0,15 | 0,49 |    |    |

**Tabela 4** Análise química e física dos perfis em Terraços do Araguaia.

| Perfil  | Horizonte |         | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila | Textura               | pH H <sub>2</sub> O | pH KCl | P                                  | K  | Na    | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | SB   | t    | T     | V    | m    | ISNa   | MO    | P_Rem              | Cu   | Mn   | Fe    | Zn    | Cr   | Ni   | Cd   | Pb   |
|---|-----------|---------|--------------|------------|-------|--------|-----------------------|---------------------|--------|------------------------------------|----|-------|------------------|------------------|------------------|------|------|------|-------|------|------|--------|-------|--------------------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
|   | Símbolo   | (cm)    | Kg/Kg        |            |       |        |                       |                     |        | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> |    |       |                  |                  |                  |      |      |      |       | %    |      | dag/kg | mg/L  | mg/dm <sup>3</sup> |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P24 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Litoplúntico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto inundável |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                                    |    |       |                  |                  |                  |      |      |      |       |      |      |        |       |                    |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P24   | A         | 0-8     | 0,514        | 0,14       | 0,151 | 0,195  | Franco-Arenosa        | 5,51                | 4,14   | 1,9                                | 28 | 1,30  | 0,00             | 0,06             | 0,31             | 4,2  | 0,14 | 0,45 | 4,34  | 3,2  | 68,9 | 0,13   | 0,86  | 36,0               | 0,90 | 12,5 | 86,6  | 0,41  | 0,16 | 0,39 | 0,19 | 1,38 |
| P24   | Bi        | 8-25    | 0,442        | 0,19       | 0,176 | 0,191  | Franco-Arenosa        | 5,58                | 4,63   | 0,5                                | 14 | 0,43  | 0,01             | 0,02             | 0,06             | 1,9  | 0,07 | 0,13 | 1,97  | 3,6  | 46,2 | 0,09   | 0,91  | 34,3               | 1,06 | 0,7  | 49,3  | 0,52  | 0,45 | 0,99 | 0,35 | 1,99 |
| P25 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Latossólico - Cerradão Rupestre Ferruginoso Em Moitas      |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                                    |    |       |                  |                  |                  |      |      |      |       |      |      |        |       |                    |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P25   | A         | 0-10    | 0,296        | 0,1        | 0,139 | 0,466  | Argila                | 4,36                | 3,73   | 6,1                                | 82 | 9,06  | 0,13             | 0,38             | 2,26             | 18,8 | 0,76 | 3,02 | 19,56 | 3,9  | 74,8 | 0,20   | 11,09 | 15,0               | 1,55 | 46,9 | 143,6 | 0,97  | 0,32 | 1,66 | 0,13 | 0,00 |
| P25   | AF        | 10-25   | 0,317        | 0,128      | 0,134 | 0,421  | Argila                | 4,5                 | 3,99   | 3,0                                | 48 | 7,98  | 0,00             | 0,16             | 1,32             | 12,0 | 0,32 | 1,64 | 12,32 | 2,6  | 80,5 | 0,28   | 19,01 | 17,0               | 1,44 | 21,5 | 108,4 | 0,56  | 0,50 | 1,94 | 0,17 | 0,00 |
| P25   | Bc        | 25-40   | 0,292        | 0,097      | 0,135 | 0,475  | Argila                | 5,03                | 4,51   | 0,4                                | 16 | 6,50  | 0,00             | 0,05             | 0,19             | 5,0  | 0,12 | 0,31 | 5,12  | 2,3  | 61,3 | 0,55   | 1,59  | 12,8               | 1,67 | 7,3  | 28,7  | 0,67  | 0,16 | 0,35 | 0,39 | 0,87 |
| P25   | CC        | 40+     | 0,302        | 0,096      | 0,165 | 0,437  | Argila                | 5,06                | 4,51   | 0,3                                | 16 | 7,92  | 0,01             | 0,03             | 0,12             | 4,6  | 0,12 | 0,24 | 4,72  | 2,5  | 50,0 | 0,73   | 1,79  | 14,0               | 1,61 | 7,0  | 27,9  | 0,42  | 0,13 | 0,40 | 0,23 | 2,07 |
| P26 - Plintossolo Pétrico - Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso                            |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                                    |    |       |                  |                  |                  |      |      |      |       |      |      |        |       |                    |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P26   | A         | 0-10    | 0,355        | 0,207      | 0,244 | 0,194  | Franco-Arenosa        | 4,63                | 4,23   | 0,4                                | 21 | 10,31 | 0,06             | 0,03             | 0,31             | 3,7  | 0,19 | 0,50 | 3,89  | 4,9  | 62,0 | 1,15   | 10,57 | 34,2               | 0,93 | 3,5  | 213,5 | 0,63  | 0,37 | 0,62 | 0,23 | 1,36 |
| P26   | AF        | 10-15   | 0,466        | 0,131      | 0,205 | 0,197  | Franco-Arenosa        | 5,32                | 4,55   | 0,5                                | 17 | 1,52  | 0,02             | 0,03             | 0,06             | 1,9  | 0,10 | 0,16 | 2,00  | 5,0  | 37,5 | 0,33   | 2,51  | 34,7               | 1,14 | 1,0  | 113,0 | 0,54  | 0,47 | 0,64 | 0,34 | 1,34 |
| P26   | F         | 20+     | 0,584        | 0,098      | 0,13  | 0,188  | Franco-Arenosa        | 5,93                | 6,54   | 5,6                                | 11 | 2,08  | 0,00             | 0,04             | 0,00             | 0,8  | 0,08 | 0,08 | 0,88  | 9,1  | 0,0  | 1,03   | 6,80  | 12,5               | 0,61 | 2,4  | 27,0  | 46,08 | 0,58 | 1,34 | 0,37 | 0,59 |
| P27 - Latossolo - Floresta de canga   |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                                    |    |       |                  |                  |                  |      |      |      |       |      |      |        |       |                    |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P27   | A         | 0-10    | 0,175        | 0,118      | 0,149 | 0,558  | Argila                | 5,02                | 3,92   | 3,5                                | 52 | 11,71 | 0,00             | 0,16             | 1,38             | 7,6  | 0,34 | 1,72 | 7,94  | 4,3  | 80,2 | 0,64   | 6,57  | 19,1               | 1,54 | 51,8 | 77,9  | 0,50  | 0,41 | 0,82 | 0,16 | 0,00 |
| P27   | A2        | 0-10    | 0,316        | 0,066      | 0,242 | 0,376  | Franco-Argilosa       | 4,15                | 3,97   | 14,3                               | 92 | 9,82  | 0,76             | 0,39             | 2,08             | 27,4 | 1,43 | 3,51 | 28,83 | 5,0  | 59,3 | 0,15   | 9,47  | 8,7                | 0,68 | 42,3 | 38,8  | 1,84  | 1,01 | 2,69 | 0,45 | 1,35 |
| P27   | AB        | 10-40   | 0,159        | 0,122      | 0,143 | 0,575  | Argila                | 3,93                | 3,85   | 1,8                                | 30 | 9,15  | 0,01             | 0,05             | 1,83             | 7,1  | 0,18 | 2,01 | 7,28  | 2,5  | 91,0 | 0,55   | 2,47  | 14,7               | 1,84 | 19,7 | 70,0  | 0,39  | 0,28 | 0,81 | 0,21 | 1,38 |
| P27   | Bwc1      | 40-70   | 0,348        | 0,287      | 0,102 | 0,264  | Franco-Argilo-Arenosa | 4,39                | 3,82   | 5,2                                | 52 | 12,49 | 0,04             | 0,18             | 1,66             | 10,3 | 0,41 | 2,07 | 10,71 | 3,8  | 80,2 | 0,51   | 4,83  | 16,8               | 2,70 | 4,8  | 129,7 | 1,42  | 3,07 | 5,34 | 0,16 | 1,52 |
| P27   | Bwc2      | 70-110+ | 0,132        | 0,087      | 0,156 | 0,625  | Muito Argilosa        | 4,66                | 4,10   | 2,0                                | 25 | 10,06 | 0,03             | 0,06             | 0,93             | 4,2  | 0,20 | 1,13 | 4,40  | 4,5  | 82,3 | 0,99   | 3,33  | 11,6               | 1,18 | 22,3 | 37,5  | 0,64  | 0,35 | 1,13 | 0,38 | 0,03 |
| P28 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Latossólico - Cerradão Sujo                                |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                                    |    |       |                  |                  |                  |      |      |      |       |      |      |        |       |                    |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P28   | A         | 0-8     | 0,141        | 0,231      | 0,332 | 0,297  | Franco-Argilosa       | 4,20                | 3,67   | 2,6                                | 45 | 10,01 | 1,64             | 0,23             | 1,78             | 14,4 | 2,03 | 3,81 | 16,43 | 12,4 | 46,7 | 0,26   | 8,84  | 22,9               | 0,92 | 22,5 | 165,3 | 1,42  | 1,26 | 2,93 | 0,33 | 0,78 |
| P28   | A2        | 8-25    | 0,097        | 0,226      | 0,316 | 0,36   | Franco-Argilosa       | 5,02                | 3,90   | 2,7                                | 71 | 17,14 | 0,00             | 0,09             | 1,34             | 11,4 | 0,35 | 1,69 | 11,75 | 3,0  | 79,3 | 0,63   | 5,66  | 14,6               | 1,65 | 7,7  | 354,1 | 0,97  | 1,09 | 2,03 | 0,28 | 2,04 |
| P28   | Bi        | 25-30   | 0,126        | 0,239      | 0,319 | 0,316  | Franco-Argilosa       | 4,32                | 3,96   | 1,5                                | 55 | 12,19 | 0,02             | 0,09             | 1,07             | 8,9  | 0,30 | 1,37 | 9,20  | 3,3  | 78,1 | 0,58   | 3,25  | 14,1               | 1,36 | 5,0  | 222,8 | 0,73  | 0,77 | 1,47 | 0,26 | 1,12 |
| P29 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Latossólico - Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso |           |         |              |            |       |        |                       |                     |        |                                    |    |       |                  |                  |                  |      |      |      |       |      |      |        |       |                    |      |      |       |       |      |      |      |      |

|  |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
|--|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|------|------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| P29  | A  | 0-5   | 0,556 | 0,232 | 0,151 | 0,061 | Areia Franca          | 5,04 | 4,15 | 2,3 | 38  | 11,84 | 0,10 | 0,06 | 0,53 | 6,6  | 0,31 | 0,84 | 6,91  | 4,5  | 63,1 | 0,74 | 6,45  | 24,3 | 0,81 | 9,1  | 528,8 | 0,65  | 0,95 | 2,21 | 0,19 | 0,91 |
| P29  | AF | 5-20  | 0,7   | 0,12  | 0,022 | 0,158 | Franco-Arenosa        | 5,41 | 4,68 | 2,5 | 22  | 9,97  | 0,00 | 0,02 | 0,10 | 4,3  | 0,12 | 0,22 | 4,42  | 2,7  | 45,5 | 0,98 | 6,07  | 22,0 | 1,07 | 2,6  | 502,4 | 0,84  | 1,28 | 3,06 | 0,38 | 0,42 |
| P29  | F  | 20+   | 0,491 | 0,127 | 0,248 | 0,135 | Franco-Arenosa        | 5,49 | 5,65 | 5,4 | 16  | 3,34  | 0,01 | 0,05 | 0,00 | 1,8  | 0,12 | 0,12 | 1,92  | 6,2  | 0,0  | 0,76 | 2,70  | 18,2 | 0,82 | 20,5 | 110,6 | 23,98 | 0,81 | 1,61 | 0,41 | 0,58 |
| P30 - Plintossolo Pétrico - Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P30  | A  | 0-10  | 0,214 | 0,136 | 0,334 | 0,316 | Franco-Argilosa       | 4,54 | 3,20 | 9,3 | 91  | 19,66 | 0,40 | 0,20 | 4,09 | 28,2 | 0,92 | 5,01 | 29,12 | 3,2  | 81,6 | 0,29 | 24,74 | 15,7 | 0,80 | 48,9 | 121,4 | 3,25  | 0,77 | 2,35 | 0,44 | 1,77 |
| P30  | AF | 10-30 | 0,289 | 0,191 | 0,254 | 0,266 | Franco-Argilo-Arenosa | 4,61 | 3,95 | 2,6 | 41  | 10,02 | 0,00 | 0,05 | 1,25 | 10,2 | 0,20 | 1,45 | 10,40 | 1,9  | 86,2 | 0,42 | 10,16 | 18,7 | 1,02 | 5,2  | 74,6  | 0,86  | 0,97 | 2,12 | 0,39 | 1,14 |
| P31 - Organossolo - Buritizal                                    |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P31  | H  | 0-20  | 0,09  | 0,138 | 0,374 | 0,399 | Franco-Argilosa       | 4,86 | 4,12 | 7,0 | 100 | 42,54 | 0,22 | 0,70 | 1,36 | 17,5 | 1,36 | 2,72 | 18,86 | 7,2  | 50,0 | 0,98 | 6,64  | 5,0  | 2,81 | 7,8  | 292,8 | 1,32  | 3,19 | 9,46 | 0,42 | 2,25 |
| P32 - Latossolo - Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo           |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P32  | A  | 0-10  | 0,609 | 0,176 | 0,06  | 0,155 | Franco-Arenosa        | 5,05 | 3,91 | 8,0 | 47  | 15,81 | 0,01 | 0,06 | 0,95 | 8,0  | 0,26 | 1,21 | 8,26  | 3,1  | 78,5 | 0,83 | 8,62  | 27,0 | 1,07 | 2,6  | 125,7 | 0,83  | 1,95 | 2,67 | 0,26 | 1,13 |
| P32  | AF | 10-30 | 0,591 | 0,211 | 0,044 | 0,154 | Franco-Arenosa        | 4,51 | 4,19 | 3,1 | 24  | 9,49  | 0,00 | 0,04 | 0,68 | 5,5  | 0,14 | 0,82 | 5,64  | 2,5  | 82,9 | 0,73 | 3,07  | 21,4 | 1,16 | 3,4  | 176,7 | 0,57  | 2,84 | 2,56 | 0,19 | 0,00 |
| P33 - Plintossolo pétrico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto    |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P33  | A  | 0-8   | 0,349 | 0,384 | 0,167 | 0,101 | Franco-Arenosa        | 5,39 | 4,16 | 2,5 | 27  | 13,05 | 0,02 | 0,02 | 0,45 | 5,4  | 0,17 | 0,62 | 5,57  | 3,1  | 72,6 | 1,02 | 12,14 | 28,7 | 0,66 | 1,5  | 559,9 | 0,60  | 1,96 | 2,57 | 0,19 | 0,00 |
| P33  | AF | 8-25  | 0,513 | 0,283 | 0,142 | 0,062 | Areia Franca          | 5,55 | 4,46 | 1,7 | 11  | 1,50  | 0,02 | 0,01 | 0,14 | 1,9  | 0,06 | 0,20 | 1,96  | 3,1  | 70,0 | 0,33 | 2,04  | 41,0 | 0,49 | 0,6  | 146,4 | 0,63  | 1,50 | 2,17 | 0,37 | 0,31 |
| P33  | F  | 25+   | 0,542 | 0,154 | 0,152 | 0,152 | Franco-Arenosa        | 5,67 | 6,68 | 3,1 | 4   | 0,88  | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,2  | 0,04 | 0,04 | 0,24  | 16,7 | 0,0  | 1,59 | 3,49  | 12,3 | 0,50 | 0,3  | 24,2  | 20,40 | 1,25 | 2,43 | 0,38 | 1,53 |
| P34 - Plintossolo pétrico litoplântico - Cerradão de Canga       |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| P34  | A  | 0-15  | 0,359 | 0,264 | 0,093 | 0,284 | Franco-Argilo-Arenosa | 4,03 | 3,44 | 9,2 | 65  | 11,54 | 0,09 | 0,27 | 2,98 | 16,6 | 0,58 | 3,56 | 17,18 | 3,4  | 83,7 | 0,29 | 22,50 | 16,8 | 1,70 | 7,2  | 114,3 | 2,09  | 2,09 | 6,38 | 0,40 | 0,21 |
| P34  | AF | 15-35 | 0,089 | 0,23  | 0,344 | 0,337 | Franco-Argilosa       | 4,29 | 3,28 | 7,9 | 180 | 20,67 | 0,60 | 0,32 | 2,98 | 29,2 | 1,47 | 4,45 | 30,67 | 4,8  | 67,0 | 0,29 | 18,47 | 16,8 | 1,59 | 26,8 | 442,3 | 2,64  | 1,34 | 3,33 | 0,40 | 1,05 |
| P34  | F  | 35+   | 0,506 | 0,145 | 0,159 | 0,19  | Franco-Arenosa        | 4,80 | 4,28 | 4,3 | 30  | 3,22  | 0,14 | 0,13 | 0,23 | 5,2  | 0,36 | 0,59 | 5,56  | 6,5  | 39,0 | 0,25 | 2,22  | 27,3 | 0,87 | 20,8 | 47,7  | 26,09 | 1,06 | 2,69 | 0,31 | 1,10 |

**Tabela 5** Análise química e física dos perfis de Redenção.

| Perfil  | Horizonte<br>Símbolo | (cm) | Areia  | Areia | Silte | Argila | Textura         | pH<br>H <sub>2</sub> O | pH<br>KCl | P                         | K   | Na          | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup>              | H+Al  | SB    | t     | T     | V     | m     | ISNa  | MO    | P_Rem | Cu    | Mn    | Fe    | Zn    | Cr    | Ni    | Cd    | Pb    |
|---|----------------------|------|--------|-------|-------|--------|-----------------|------------------------|-----------|---------------------------|---|-------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   |                      |      | Grossa | Fina  |       |        |                 |                        |           | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | -----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ----- | -----%----- | dag/kg           | mg/L             | -----mg/dm <sup>3</sup> ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| P35 - Plintossolo Pétrico Litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Brejoso-graminoso |                      |      |        |       |       |        |                 |                        |           |                           |   |             |                  |                  |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| P35   | A                    | 0-3  | 0,183  | 0,231 | 0,209 | 0,377  | Franco-Argilosa | 4,64                   | 3,79      | 8,1                       | 156   | 32,20       | 1,04             | 0,32             | 1,73                          | 28,4  | 1,90  | 3,63  | 30,30 | 6,3   | 47,7  | 0,46  | 30,79 | 6,4   | 0,97  | 21,4  | 536,0 | 3,97  | 2,77  | 5,88  | 0,42  | 0,00  |
| P36 - Plintossolo Pétrico - Campo Rupestre Ferruginoso Arbustivo                      |                      |      |        |       |       |        |                 |                        |           |                           |   |             |                  |                  |                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

|  |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |    |       |      |      |      |      |      |      |       |     |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
|--|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|------|------|-----|----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| P36  | A  | 0-10  | 0,241 | 0,325 | 0,143 | 0,291 | Franco-Argilo-Arenosa | 4,41 | 3,60 | 6,4 | 65 | 14,79 | 0,08 | 0,18 | 3,13 | 24,7 | 0,49 | 3,62 | 25,19 | 1,9 | 86,5 | 0,26 | 30,33 | 9,1  | 1,33 | 7,6  | 125,9 | 1,92 | 1,08 | 3,16 | 0,35 | 0,00 |
| P36  | AF | 15-25 | 0,282 | 0,388 | 0,126 | 0,203 | Franco-Argilo-Arenosa | 5,08 | 4,19 | 2,2 | 26 | 2,07  | 0,01 | 0,06 | 0,68 | 8,8  | 0,15 | 0,83 | 8,95  | 1,7 | 81,9 | 0,10 | 8,12  | 13,7 | 1,12 | 3,7  | 129,2 | 0,59 | 1,46 | 2,85 | 0,19 | 0,00 |
| P37 - Plintossolo Pétrico Litoplântico - Capão Florestal |    |       |       |       |       |       |                       |      |      |     |    |       |      |      |      |      |      |      |       |     |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
| P37  | A1 | 0-10  | 0,134 | 0,133 | 0,193 | 0,54  | Argila                | 4,41 | 3,85 | 1,6 | 28 | 5,06  | 0,03 | 0,06 | 1,45 | 7,0  | 0,18 | 1,63 | 7,18  | 2,5 | 89,0 | 0,31 | 2,79  | 11,8 | 1,83 | 58,1 | 72,9  | 0,79 | 1,13 | 2,41 | 0,34 | 0,97 |
| P37  | A2 | 10-35 | 0,23  | 0,086 | 0,208 | 0,476 | Argila                | 4,22 | 4,25 | 8,1 | 57 | 9,36  | 0,09 | 0,13 | 0,97 | 22,6 | 0,41 | 1,38 | 23,01 | 1,8 | 70,3 | 0,18 | 13,29 | 1,4  | 1,05 | 22,8 | 24,4  | 1,07 | 1,37 | 3,60 | 0,36 | 0,03 |

**Tabela 3** Análise química e física dos perfis da Serra Arqueada.

| Perfil   | Horizonte<br>Símbolo | Horizonte<br>(cm) | Areia  | Areia | Silte | Argila | Textura        | pH<br>H <sub>2</sub> O | pH<br>KCl | P                         | K                         | Na                        | Ca <sup>2+</sup>          | Mg <sup>2+</sup>          | Al <sup>3+</sup>          | H+Al                      | SB                        | t                         | T                         | V                         | m                         | ISNa                      | MO                        | P_Rem                     | Cu                        | Mn                        | Fe                        | Zn                        | Cr                        | Ni                        | Cd                        | Pb                        |
|--|----------------------|-------------------|--------|-------|-------|--------|----------------|------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|  |                      |                   | Grossa | Fina  |       |        |                |                        |           | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- | ---mg/dm <sup>3</sup> --- |
| P38 - Plintossolo Pétrico Litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto |                      |                   |        |       |       |        |                |                        |           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
| P38  | A                    | 0-5               | 0,854  | 0,007 | 0,058 | 0,08   | Areia Franca   | 4,73                   | 3,50      | 3,6                       | 29                        | 1,82                      | 0,54                      | 0,13                      | 0,35                      | 5,9                       | 0,75                      | 1,10                      | 6,65                      | 11,3                      | 31,8                      | 0,12                      | 22,83                     | 45,9                      | 0,57                      | 4,8                       | 134,5                     | 1,28                      | 1,40                      | 3,38                      | 0,37                      | 0,00                      |
| P39 - Plintossolo Pétrico Litoplântico - Campo Rupestre Ferruginoso Aberto |                      |                   |        |       |       |        |                |                        |           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
| P39  | A                    | 0-8               | 0,353  | 0,211 | 0,256 | 0,18   | Franco-Arenosa | 4,20                   | 3,08      | 9,3                       | 75                        | 15,93                     | 0,70                      | 0,30                      | 2,30                      | 22,2                      | 1,26                      | 3,56                      | 23,46                     | 5,4                       | 64,6                      | 0,30                      | 58,55                     | 20,9                      | 0,91                      | 32,2                      | 392,7                     | 4,27                      | 1,42                      | 4,85                      | 0,35                      | 0,00                      |
| P39  | AF                   | 8-30              | 0,751  | 0,056 | 0,127 | 0,065  | Areia Franca   | 4,06                   | 3,31      | 3,2                       | 33                        | 8,70                      | 0,03                      | 0,05                      | 1,27                      | 8,2                       | 0,20                      | 1,47                      | 8,40                      | 2,4                       | 86,4                      | 0,45                      | 19,24                     | 33,0                      | 0,64                      | 2,4                       | 131,1                     | 1,11                      | 1,22                      | 3,17                      | 0,19                      | 0,49                      |
| P40 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Cambissólico - Capão Florestal    |                      |                   |        |       |       |        |                |                        |           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
| P40  | A                    | 0-20              | 0,53   | 0,144 | 0,203 | 0,123  | Franco-Arenosa | 4,70                   | 4,08      | 3,6                       | 30                        | 9,00                      | 0,12                      | 0,06                      | 0,80                      | 9,1                       | 0,30                      | 1,10                      | 9,40                      | 3,2                       | 72,7                      | 0,42                      | 20,00                     | 17,2                      | 0,65                      | 5,2                       | 68,0                      | 0,70                      | 1,69                      | 3,77                      | 0,19                      | 0,23                      |
| P40  | Bi                   | 20-50             | 0,238  | 0,089 | 0,574 | 0,099  | Franco-Siltosa | 4,77                   | 4,34      | 0,7                       | 23                        | 9,04                      | 0,01                      | 0,02                      | 0,43                      | 9,1                       | 0,13                      | 0,56                      | 9,23                      | 1,4                       | 76,8                      | 0,43                      | 3,67                      | 11,2                      | 0,33                      | 4,8                       | 132,6                     | 0,75                      | 1,05                      | 2,80                      | 0,38                      | 0,72                      |
| P40  | Bc                   | 50-70             | 0,34   | 0,137 | 0,351 | 0,172  | Franca         | 4,81                   | 4,43      | 0,4                       | 12                        | 4,40                      | 0,01                      | 0,02                      | 0,33                      | 7,3                       | 0,08                      | 0,41                      | 7,38                      | 1,1                       | 80,5                      | 0,26                      | 2,74                      | 8,8                       | 0,39                      | 3,8                       | 141,1                     | 0,71                      | 1,09                      | 2,51                      | 0,37                      | 0,53                      |

## **CAPÍTULO 2: Análise Florística e Filogenética em Geoambientes da Serra de Campos, São Félix do Xingu**

### **1. INTRODUÇÃO**

Os Campos Rupestres Ferruginosos da região de Carajás, são formados por diversas fitofisionomias denominadas de geoambientes. Eles são compartimentos paisagísticos de extensão territorial homogênea com fatores ambientais de interesse das espécies, associados à variação na profundidade do solo, drenagem, estabilidade e evolução da paisagem (Dias et al., 2002; Meier et al., 2023; Fernandes, 2016; Silveira et al., 2016; Schaefer et al., 2016). Esses ecossistemas apresentam desde áreas abertas cobertas por gramíneas e outras ervas, a habitats com adensamento de arbustos e árvores (de Oliveira et al., 2024; Vasconcelos, 2011). Contudo, em áreas remanescentes que contém esses ecossistemas, como a Serra de Campos em São Félix do Xingu, na Amazônia Oriental, ainda são escassos os estudos a respeito da estrutura das comunidades dos diferentes habitats que ocupam no seu ambiente natural (Andrino et al., 2020).

A Serra de Campos ou Serra de São Félix, é uma área de canga isolada e em bom estado de conservação (Giulietti et al., 2019), que enfrenta forte ameaça diante do avanço da pecuária na região (Leal et al., 2020). Ademais, o avanço da mineração, principalmente na região de Carajás, é protagonista da degradação dessas áreas de Campos Rupestres Ferruginosos (Nunes et al., 2015), visto que geralmente são associados a uma grande dinâmica mineral, em especial as formações ferríferas (Schaefer et al., 2016). Essas formações são caracterizadas pela alta diversidade de plantas e endemismo, geralmente, influenciada por condições extremas como alta exposição solar, nebulosidade, ventos constantes, amplitudes térmicas diárias acentuadas, baixa profundidade do solo, elevada acidez, alta concentração de metais pesados, pobreza de nutrientes, pouca disponibilidade hídrica e elevada taxa de erosão (Jacobi et al., 2011; Skiryecz et al., 2014; Mota et al., 2015; Silveira et al., 2016; Silva et al., 2020; Campos et al., 2022).

Nos ecossistemas rupestres, os filtros ambientais podem determinar a diversidade e estrutura taxonômica e filogenética (Pinto-Junior et al., 2024); bem como a diversidade funcional das comunidades vegetais (Pinto-Junior et al., 2023; Pontara et al., 2018; Zappi et al., 2017). Variações ambientais em pequenas escalas podem determinar diferenças morfoanatômicas e fisiológicas em distintas populações (Negreiros et al., 2014). Portanto, a abordagem filogenética auxilia a entender a montagem, funcionamento e manutenção das comunidades vegetais em diferentes geoambientes, sendo fundamental para a

conservação do nicho das espécies, pois atua como indicador de potencial evolutivo futuro das comunidades (Zappi et al., 2017). Dessa forma, é possível elaborar estratégias de conservação específicas para essas áreas remanescentes e em estado de vulnerabilidade.

Para melhorar nossa compreensão, é essencial utilizar métricas filogenéticas mais adequadas, como índices de diversidade beta filogenética (filobetadiversidade), para capturar a troca de espécies e revelar padrões sobre os processos biogeográficos das espécies (Rezende et al., 2021). A filobetadiversidade pode ser entendida em duas dimensões da pesquisa em biodiversidade, espaço e tempo (Graham & Fine 2008). Espaço, em analogia com a diversidade beta (mudança no conjunto de espécies através do espaço), e tempo, porque populações e espécies têm diferentes idades de ancestralidade comum e histórias divergentes (Graham & Fine, 2008).

A estrutura dos geoambientes de Campos Rupestres Ferruginosos, também é fortemente influenciada pela profundidade dos solos, reforçando a importância dos cupins, formigas e minhocas que atuam na pedobioturbação, formando solos mais profundos e aumentando a disponibilidade de nutrientes provenientes da serrapilheira acumulada (Schaefer et al., 2015, Schaefer et al., 2016; Di Lonardo et al., 2018; Smith et al., 2019). Dessa forma, tendo em vista a complexidade desses ecossistemas, sua clara importância ecológica e a dificuldade de conservá-los frente ao avanço das pressões antrópicas (Souza-Filho et al., 2019), esse trabalho teve como objetivo determinar e entender os padrões da estrutura e diversidade taxonômica e filogenética das comunidades vegetais de cada geoambiente, bem como investigar a relação solo planta nos geoambientes de Campos Rupestres Ferruginosos da Serra de Campos em São Félix do Xingú, Brasil.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Determinar e entender os padrões da estrutura e diversidade taxonômica e filogenética das comunidades vegetais de cada geoambiente, bem como investigar a relação solo planta nos geoambientes de Campos Rupestres Ferruginosos da Serra de Campos em São Félix do Xingú, Brasil.

## 2.2. Objetivos específicos

- Determinar e comparar os padrões da estrutura das comunidades vegetais em cada geoambiente;
- Apresentar os padrões de diversidade taxonômica e filogenéticas das comunidades vegetais;
- Avaliar a influência das propriedades químicas e físicas do solo, bem como a ciclagem de nutrientes (serrapilheira) na estrutura filogenética de cada geoambiente;

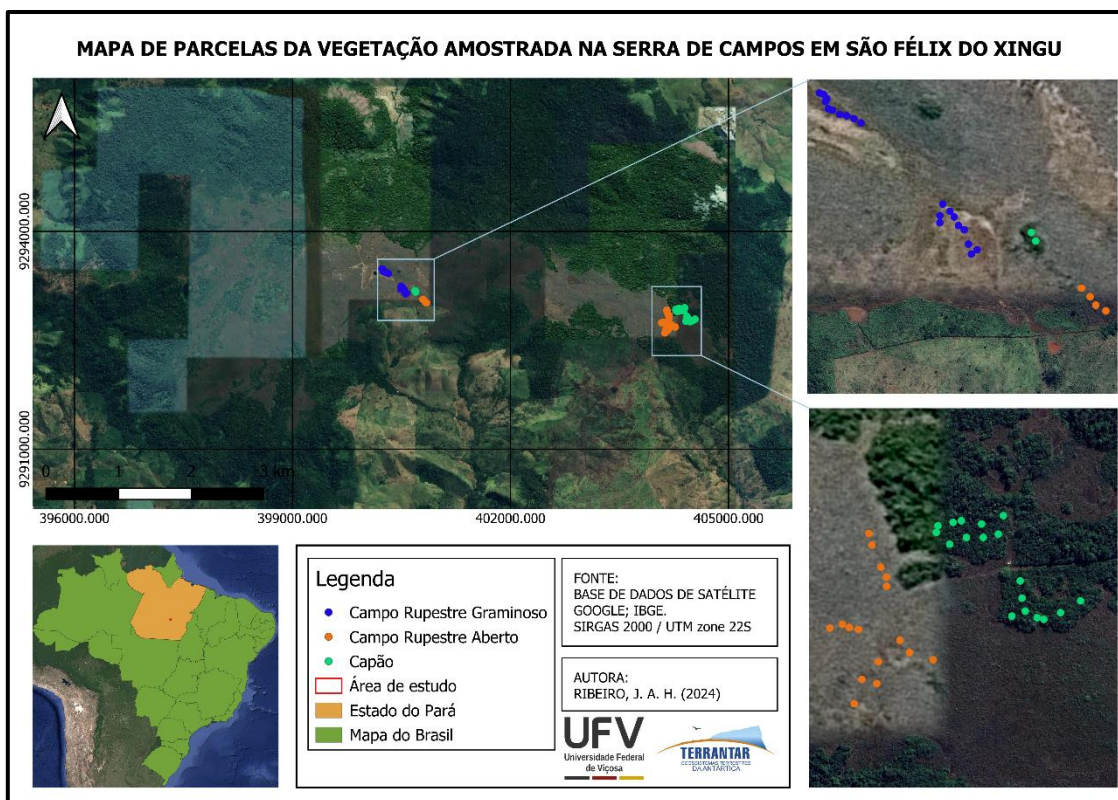
## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1. Área de estudo

A Serra de Campos, também chamada de Serra de São Félix, é um afloramento de canga ferruginosa localizado no município de São Félix do Xingu, sudeste do estado do Pará, Amazônia oriental brasileira. É formada por dois platôs medindo 9 km<sup>2</sup>, distantes cerca de 1 km um do outro, sendo o maior dos dois planaltos a área de desenvolvimento do estudo (Figura 1). O maior platô estende-se por 8,5 km, cobrindo uma área de 7,6 km<sup>2</sup>, enquanto o menor possui 2,5 km de extensão, medindo 1,4 km<sup>2</sup>. Os planaltos estão localizados a 6°23'41"S, 51°52'25"W, com altitudes variando de 580 m a 730 m (Andrino et al., 2020).

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw (Alvares et al., 2013), com precipitação anual elevada (~2.000 mm), onde a estação chuvosa apresenta seu pico entre janeiro e março, enquanto a estação mais seca ocorre entre junho e agosto (Souza-Filho et al., 2019). As temperaturas mensais variam entre 25°C e 26°C, com a temperatura mínima absoluta entre 16°C e 18°C entre julho e outubro, e a temperatura máxima entre 34°C e 38°C durante todos os outros meses (Sahoo et al., 2016). O levantamento dos dados foi realizado durante a estação chuvosa, no mês de abril de 2024.

A Serra de Campos está inserida na Província Mineral de Carajás, geologicamente complexa onde ocorrem diversas formações ferríferas bandadas representadas por jaspilitos, com rochas máficas situadas acima e abaixo dela (andesitos, basaltos, materiais vulcanoclásticos e gabros) (Grainger et al., 2008; Souza-Filho et al., 2019).



**Figura 17** Localização da área de estudos e distribuição dos pontos de amostragem florística na Serra de Campos em São Félix do Xingu.

**Fonte:** Autora, 2025.

### 3.2. Levantamento florístico

Foram avaliados três geoambientes, o Campo Rupestre Graminoso – CRG, Campo Rupestre Aberto – CRA e Capão - CAP, em cada um deles foram estabelecidas 20 parcelas (totalizando 60 parcelas) para amostragem da vegetação. Para o levantamento florístico da vegetação herbácea e arbustiva foi utilizada a metodologia de Braun-Blanquet (1979) que considera como principal índice fitossociológico a cobertura da espécie sobre a área da parcela. Foram amostradas parcelas de 2 m x 2 m no Campo Rupestre Graminoso e 5 m x 5 m no Campo Rupestre Aberto. Já a vegetação florestal encontrada no Capão foi utilizada parcelas de 10 m x 10 m, considerando todos os indivíduos arbóreos e arbustivos com circunferência à altura do peito (CAP; 1,30 m acima do solo)  $\geq 10$  cm. A identificação das espécies foi realizada em campo com o auxílio de especialistas e através da identificação do material botânico coletado. A nomenclatura das espécies e autores foi padronizada de acordo com a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2024). O material coletado foi depositado no Herbário VIC da Universidade Federal de Viçosa.

### 3.3. Coleta e análise de solo

Foram realizadas coletas de amostras compostas (3 pra 1) de solos superficiais em cada parcela estabelecida para a vegetação. Os métodos de coleta, descrição e análises utilizados foram estabelecidos pela Embrapa (Teixeira et al., 2017). As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, esse material foi submetido às seguintes análises: pH em água e KCl;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis (extraídos com KCl 1 mol/L); P, Na, K, Fe, Zn, Mn e Cu disponíveis (extraídos com Mehlich-1); acidez extraível ( $\text{H}^+$   $\text{Al}^{3+}$ ); Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu determinados por espectrometria de absorção atômica; e o teor de matéria orgânica (MO), e Carbono Orgânico estimado pela equação:  $\text{COT} = \text{MO} / 1,724$  (WalkleyBlack). A granulometria foi obtida segundo o método da pipeta para quantificar as frações areia grossa (2 – 0,2 mm), areia fina (0,2 – 0,05 mm), silte (0,05 – 0,002 mm) e argila (>0,002mm). A profundidade do solo foi amostrada a partir de três pontos aleatórios nas parcelas, adaptando o método mecânico do penetrômetro (Michel & Kobiyama, 2015). Dessa forma obtivemos a menor e maior profundidade de cada parcela, sendo utilizado a média desses valores.

### 3.4. Análise da serrapilheira acumulada

Em cada uma das 60 parcelas (20 em cada geoambiente) foi alocado um gabarito de  $0,4 \times 0,4$  m para a coleta de todo o material orgânico (folhas, ramos, frutos e flores) contido no interior do gabarito. Posteriormente, o material foi transferido para sacos de papel com a identificação de cada amostra para serem colocados em estufa a  $65^\circ \text{C}$  durante 72 horas, até obterem massa seca constante. Após a secagem, foi pesado em balança analítica de precisão para obtenção da massa seca em gramas (g). A serrapilheira seca foi moída e analisadas quimicamente quanto aos teores de macro e micronutrientes (Piontekowski Ribeiro et al., 2017).

### 3.5. Mapa de geoambientes da Serra de Campos

Para facilitar a compreensão do mosaico de geoambientes existentes na Serra de Campos em São Félix do Xingú, foi utilizado o programa QGis para a confecção de um mapa. A divisão das fitofisionomias foi delimitada a partir das imagens de satélite e de drone que foram tiradas durante a expedição de campo.

### 3.6. Análises estatísticas

Para a quantificação da diversidade taxonômica de cada área amostral, foi considerada a riqueza de espécies, a diversidade de Shannon-Wiener (H') e o índice de Pielou (J). A riqueza é o número total de espécies registradas na estrutura fitossociológica de cada comunidade.

A relação solo-vegetação foi analisada através de Análises de Coordenadas Principais (PCoA) para verificar a relação da composição de espécies com as variáveis abióticas (físico-químicas e serrapilheira) em cada geoambiente. Também foram realizadas análises de permutação (PERMANOVA) e dispersão dos dados (PERMADISP) através de matrizes de distâncias.

As variáveis dos solos de cada geoambiente foram filtradas pela multicolinearidade (análise de correlação superior à 0,7) (Pearson, 1895) e submetidos a uma Análise de Componentes Principais (PCA) (Jolliffe & Cadima, 2016) para melhor entender a influência das variáveis físico-químicas da PCA sobre os geoambientes.

A estrutura e diversidade filogenética foram calculadas através dos seguintes índices: diversidade filogenética (PD), distância média entre pares (MPD) e a distância média do táxon mais próximo (MNTD), juntamente com uma padronização dos seus tamanhos de efeito padronizados (sesPD, sesMPD e sesMNTD). Todos os índices de diversidade foram calculados usando o programa estatístico R e os pacotes *vegan* (Oksanen et al., 2020) e *picante* (Kembel et al., 2010).

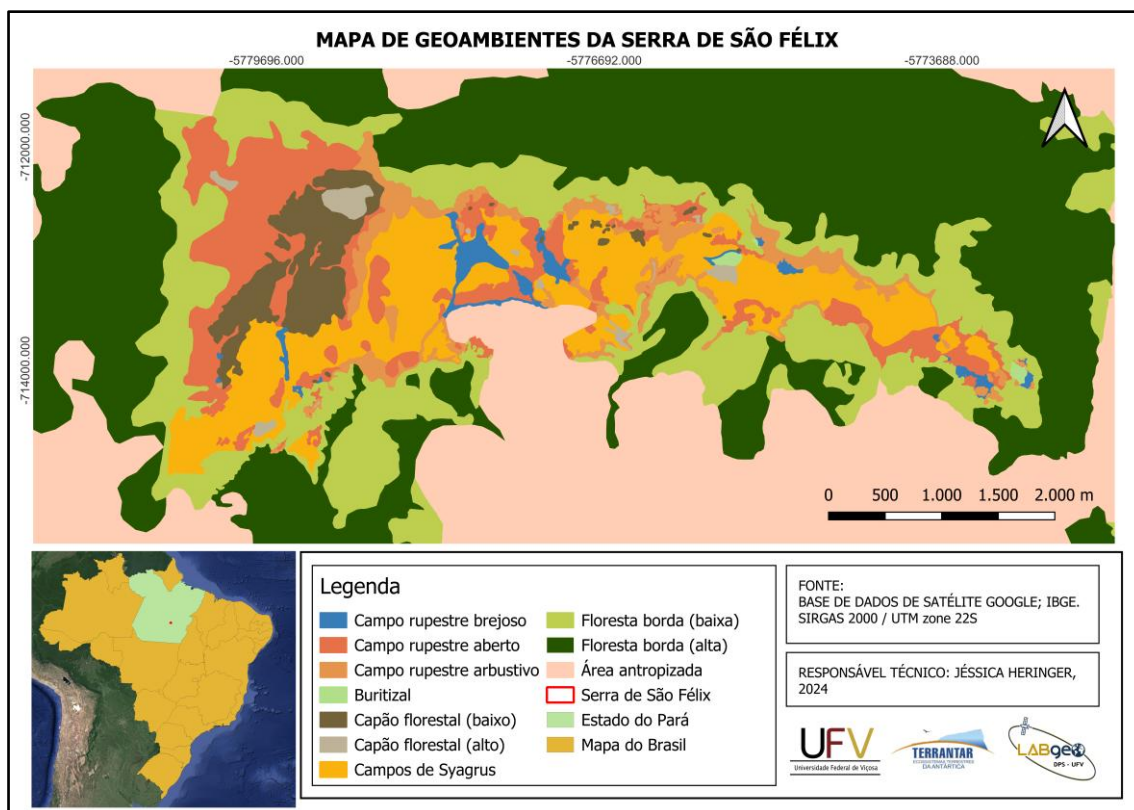
Os efeitos da relação solo-filogenia foram testados através de modelos generalizados lineares (GLM), utilizando como variável resposta as métricas filogenéticas (MPD, sesMPD, MNTD, sesMNTD, PD e sesPD) e como variáveis explicativas a profundidade de cada parcela e os *scores* da PCA das variáveis do solo (Eixo 1 e 2) e da PCA das análises da serrapilheira (Eixo 1 e 2).

A normalidade e a distribuição dos dados foram verificadas por meio do teste de Shapiro-Wilk e de gráficos Q-Q (Crawley, 2013). As análises foram realizadas utilizando a função 'glm' do pacote *stats* no programa R (R Core Team, 2024). Foram calculados o critério de informação de Akaike (AIC) para cada modelo, com correção para tamanhos amostrais finitos (AICc) e pesos de AIC (Burnham & Anderson, 2002). Por fim, utilizamos o pacote *ggplot2* para a confecção das figuras (Wickham et al., 2024).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Mapa dos Geoambientes da Serra de Campos em São Félix do Xingu

Com base nas imagens de drone e satélite foi confeccionado um mapa de distribuição dos geoambientes ao longo do platô da Serra de Campos em São Félix do Xingu (Fig. 2). Dessa forma é possível visualizar a diversidade existente na área, bem como o avanço das pressões antrópicas sobre a área de *canga*.



**Figura 218** Mapa dos Geoambientes da Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará.

Fonte: A Autora (2025).

### 4.2. Composição Florística

Foram amostradas 120 espécies, 84 gêneros e 53 famílias, sendo 27 espécies alocadas no Campo Rupestre Graminoso e as demais distribuídos em Capão e Campo Rupestre Aberto, totalizando 6230 indivíduos. Dentre as três áreas estudadas, a maior riqueza de espécies foi observada em CR Aberto (Tabela 3), bem como a riqueza de famílias e gêneros, apresentando 32 famílias, 52 gêneros e 75 espécies (3 spp. não identificadas). Nas outras duas áreas foram quantificadas 15 famílias, 21 gêneros e 27 espécies em CR Graminoso, e 30 famílias, 32 gêneros e 46 espécies (3 spp. não identificadas) em Capão (Tabela 1 – Apêndice B). As famílias mais ricas em geral foram Fabaceae (15 spp.) e Poaceae (11 spp.), seguidas por Cyperaceae e Myrtaceae com 6 spp. cada. O gênero mais rico foi *Myrcia* (Myrtaceae) com 4 spp., seguido pelos gêneros *Axonopus* (Poaceae),

*Bauhinia* (Fabaceae), *Mimosa* (Fabaceae), *Paspalum* (Poaceae) e *Rhynchospora* (Cyperaceae) que apresentaram 3 spp. cada, já os demais apresentaram 2 spp. ou 1 spp. apenas.

### 4.3. Estrutura fitossociológica

As comunidades florísticas das três áreas foram organizadas em uma estrutura oligárquica (Tabela 1), onde são denominadas de espécies dominantes as que juntas representam mais de 60% do Valor de Importância (VI).

**Tabela 1** Tabela contendo os resultados da estrutura fitossociológica dos três geoambientes estudados na Serra de Campos, Pará, Brasil.

| Geoambientes  | Campo Rupestre Graminoso                        | Campo Rupestre Aberto          | Capão   |
|---|---|--------------------------------|---|
| Número de espécies  | 27  | 75                             | 46  |
| Número de gêneros   | 21  | 52                             | 32  |
| Número de famílias  | 15  | 32                             | 30  |
| Famílias mais ricas   | Poaceae (6),<br>Cyperaceae (4),<br>Fabaceae (3) | Fabaceae (10),<br>Poaceae (10) | Fabaceae (6),<br>Malvaceae (4),<br>Annonaceae (3),<br>Euphorbiaceae (3) |
| Nº de espécies dominantes                                     | 7   | 18                             | 7   |
| Valor de importância do grupo de espécies dominantes – VI (%) | 62,75   | 65,89                          | 62,49   |
| Famílias com uma espécie                                      | 66,66%  | 50%                            | 83,33%  |
| Gêneros com uma espécie                                       | 66,66%  | 57%                            | 66,66%  |
| Área amostrada (m <sup>2</sup> )                              | 80  | 500                            | 2000  |
| Índice de Shannon H'  | 2,15  | 5,12                           | 5,77  |

Fonte: Os autores (2025)

Dentre as três áreas amostradas foi observado que o Campo Rupestre Aberto possui maior número de espécies, bem como maior número de espécies dominantes. Entretanto, ele apresenta uma menor porcentagem de famílias e gêneros com apenas uma espécie. As especificidades de cada geoambiente é melhor descrita nos tópicos a seguir:

#### 4.3.1. Campo rupestre Graminoso

No CR Graminoso, um grupo de sete espécies (*Rhynchospora barbata* (Vahl) Kunth, *Mesosetum annuum* Swallen, *Rhynchospora* sp., *Mimosa skinneri* Benth., *Bulbostylis conifera* (Kunth) C.B.Clarke, *Mimosa dasilvae* A.S.Silva & R.Secco, *Rhynchospora secco* C.S. Nunes, P.J.S. Silva Filho & A. Gil) apresentaram dominância com um total de 62,75% do VI (Tabela 2 – Apêndice B). Nessa área as famílias mais importantes foram Cyperaceae, Poaceae e Fabaceae.

#### 4.3.2. Campo rupestre Aberto

No CR Aberto 65,89% do VI (Tabela 3 – Apêndice B) foi distribuído entre dezoito espécies dominantes (*Perama carajensis* J.H.Kirkbr., *Borreria* sp., *Cuphea carajasensis* Lourteig, *Mimosa dasilvae* A.S.Silva & R.Secco, *Myrtaceae* sp., *Pleroma carajasense* K.Rocha, R.Goldenb. & F.S.Mey, *Byrsonima chrysophylla* Kunth, *Monogereion* sp., *Bauhinia pulchella* Benth., *Brasilianthus carajensis* Almeda & Michelangeli, *Bulbostylis conifera* (Kunth) C.B.Clarke, *Ananas* sp., *Periandra mediterranea* (Vell.) Taub., *Cuphea annulata* Koehne, *Cuscuta insquamata* Yunck., *Axonopus* sp., *Rhynchospora secco* C.S. Nunes P.J.S. Silva Filho & A. Gil, *Sobralia liliastrum* Lindl.). O grupo de famílias mais importantes em CR Aberto também foi maior, formado por Rubiaceae, Fabaceae, Poaceae, Lythraceae, Melastomataceae, Myrtaceae e Cyperaceae.

#### 4.3.3. Capão

A comunidade florística do Capão também foi dominada por sete espécies (*Aparisthmium cordatum* (A.Juss.) Baill., *Protium* sp., Indet, *Fabaceae* sp., *Myrtaceae* sp., *Mabea angustifolia* Spruce ex Benth., *Inga* sp.) que representaram 62,49% do VI (Tabela 4 – Apêndice B). Nessa comunidade as famílias mais importantes foram Euphorbiaceae, Fabaceae, Myrtaceae e Burseraceae.

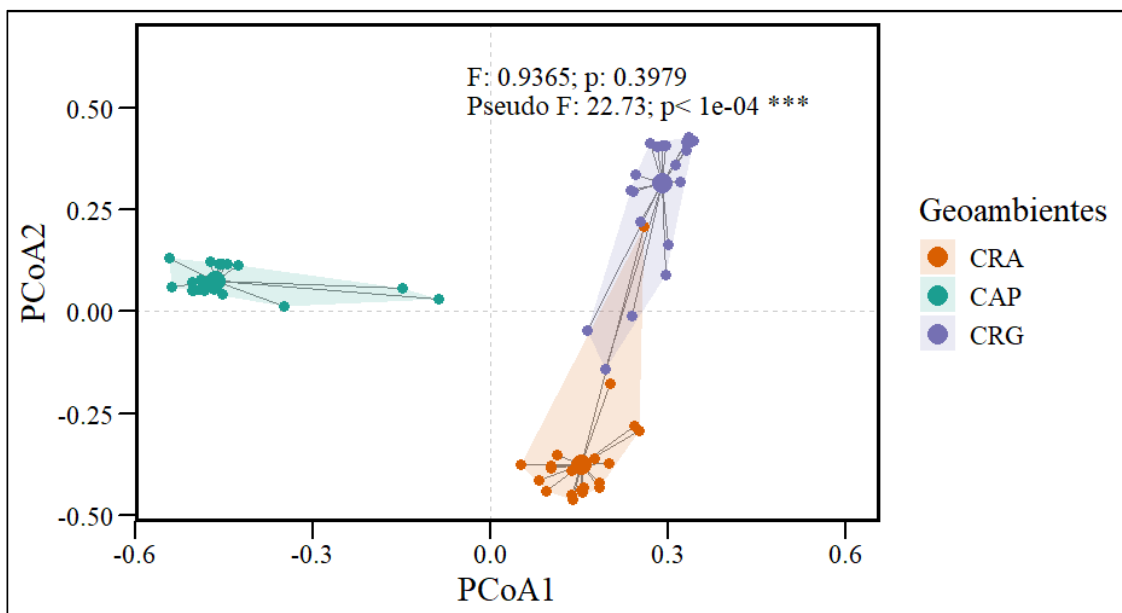
### 4.4. Relação solo vegetação nos Geoambientes da Serra de Campo

#### 4.4.1. Análise de Coordenadas Principais (PCoA)

Os resultados da PCoA para a composição de espécies são apresentados na figura 3. A PERMANOVA indica diferenças estatisticamente significativas (Pseudo-F = 22.73;  $p < 1e-04^*$ ) na composição de espécies entre os ambientes amostrados (Campo Rupestre Graminoso – CRG; Campo Rupestre Aberto – CRA; Capão - CAP). Enquanto o resultado não significativo da PERMDISP (0.3979), indica que os ambientes diferem em composição de espécies, mas a variabilidade interna de cada ambiente é semelhante.

As áreas sombreadas indicam a dispersão dos dados dentro de cada grupo, e as linhas conectam os pontos individuais ao centróide do grupo, facilitando a visualização da variabilidade interna de cada parcela (Fig. 3). O Capão, como pode ser observado na PCoA, é o mais distinto dos demais e aparenta ter baixa dispersão, indicando que sua composição de espécies é mais homogênea. Entretanto, os demais geoambientes apesar da proximidade, apresentam centróides bem distantes, sugerindo que há uma diferença entre eles, porém menor do que em relação ao Capão.

A dispersão das espécies dentro dos geoambientes é homogênea, indicando que a diferença encontrada na PERMANOVA não é apenas efeito da variabilidade interna. Portanto, a separação clara dos grupos indica que fatores ambientais podem estar influenciando fortemente a composição de espécies em cada fitofisionomia.

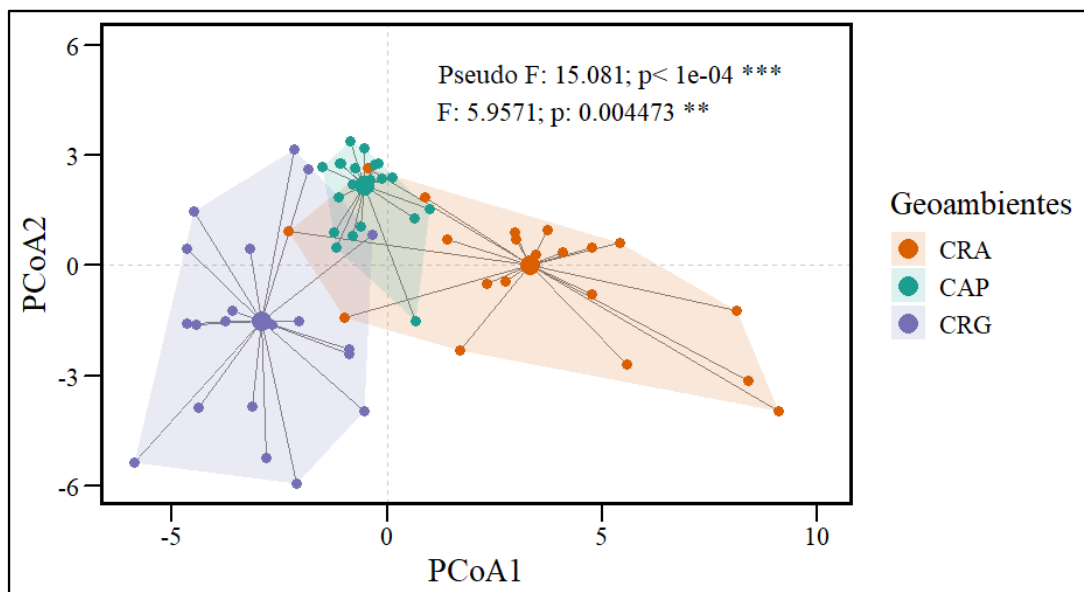


**Figura 3** Gráfico da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) para a composição florística dos três geoambientes estudados na Serra de Campos, Pará, Brasil.

O resultado da PCoA para as variáveis abióticas, juntamente com a PERMANOVA (Pseudo-F = 15.081;  $p < 1e-04^*$ ) (Fig. 4) indicam que há diferenças estatisticamente significativas entre os geoambientes em relação às variáveis analisadas. Eles possuem composições físico-químicas do solo e massa da serrapilheira significativamente diferentes (Tabela 5 e 6 – Apêndice B). O resultado da PERMDISP (F = 5.9571;  $p$ -valor (0.004473) indica que os geoambientes possuem variações internas diferentes. Isso sugere que a significância observada na PERMANOVA pode estar influenciada não apenas pelas diferenças médias entre os geoambientes, mas também pela variabilidade interna entre as parcelas de cada geoambiente.

O Campo Rupestre Graminoso (CRG) e o Campo Rupestre Aberto (CRA) apresentam maior dispersão, indicando alta variabilidade nas variáveis físico-químicas do solo e serrapilheira. Enquanto o Capão (CAP) tem uma dispersão menor, sugerindo que suas características são mais homogêneas. Dessa forma, as diferenças significativas detectadas pela PERMANOVA entre os grupos, e os resultados da PERMDISP indicam heterogeneidade na dispersão multivariada intragrupo. Essa distinção pode refletir tanto

diferenças reais nos centróides quanto ser parcialmente influenciada pela variabilidade interna dos grupos, influenciando na separação dos grupos.



**Figura 4** Gráfico da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) para as variáveis abióticas dos três geoambientes estudados na Serra de Campos, Pará, Brasil.

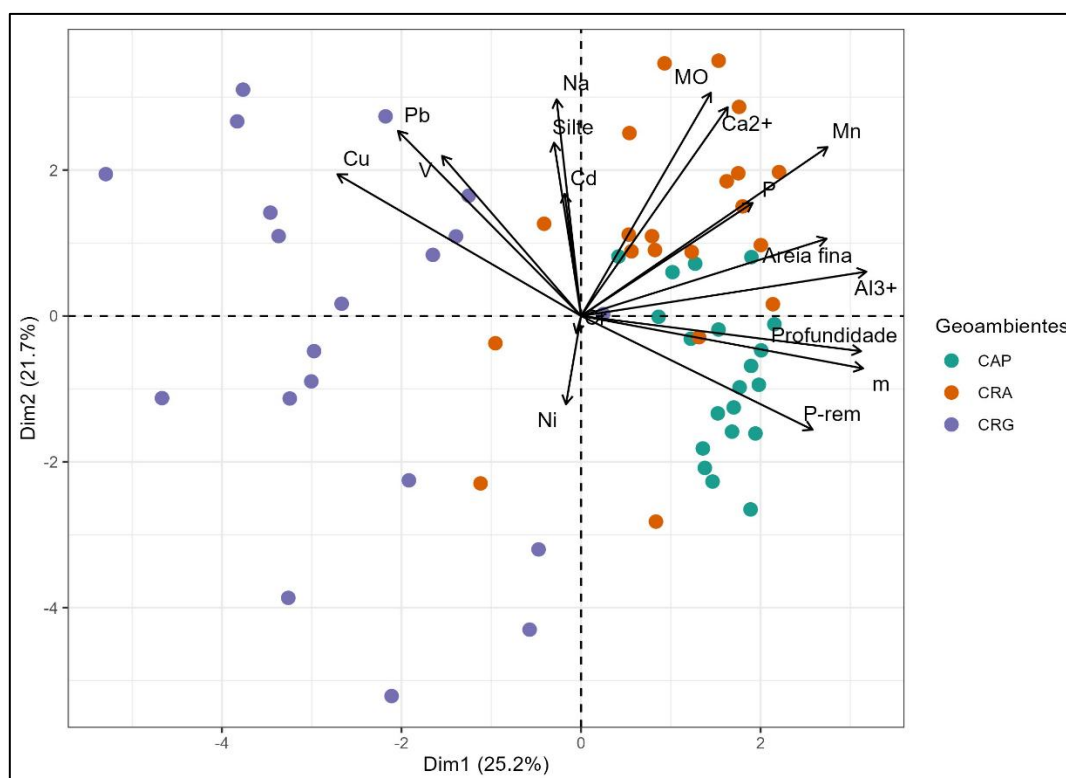
#### 4.4.2. Análise de Componentes Principais (PCA) dos solos dos geoambientes da Serra de Campos

Os dois primeiros eixos da PCA explicaram, conjuntamente, 46,9% da variância total dos dados abióticos das parcelas (Fig. 5), sendo 25,2% atribuídos ao eixo 1 (Dim1), com *loadings* de 4,2765; e 21,7% atribuídos ao eixo 2 (Dim 2), com *loadings* de 3,6910. O eixo 1 da PCA foi fortemente influenciado pelas variáveis de profundidade (Depth), Alumínio ( $Al^{3+}$ ) e Índice de Saturação por Alumínio (m) com cargas de 0,75, 0,76 e 0,75, respectivamente. O eixo 2, por sua vez, foi positivamente influenciado por Sódio (Na), Cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e matéria orgânica (OM), com cargas de 0,71, 0,68 e 0,73, respectivamente.

As parcelas de capão florestal (CAP) agruparam-se próximas aos vetores de profundidade do solo, alumínio trocável e saturação por alumínio. Os dados de campo confirmam essa tendência, mostrando que o capão florestal apresenta solos mais profundos, com maior acúmulo de matéria orgânica e teores relativamente elevados de cálcio (Tabela 5 – Apêndice B). Essa profundidade e maior fertilidade permitem o desenvolvimento de uma vegetação florestal mais densa, com espécies arbóreas de grande porte. A presença de maior teor de matéria orgânica (OM) também favorece a retenção de água e nutrientes, criando um microambiente mais estável e permitindo maior diversidade florística.

As parcelas de Campo Rupestre Ferruginoso Aberto (CRA) localizaram-se em posições intermediárias na PCA. Este grupo foi caracterizado por profundidades moderadas de solo, com níveis ainda consideráveis de alumínio trocável e saturação, mas com melhor disponibilidade de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$  em comparação ao campo graminoso (Tabela 5 – Apêndice B). Essa configuração edáfica está diretamente associada à presença de uma vegetação aberta e baixa, composta por arbustos esparsos e subarbustos. A moderada fertilidade e a profundidade intermediária do solo permitem alguma sustentação de biomassa, mas limitam a formação de estruturas florestais contínuas.

O Campo Rupestre Ferruginoso Graminoso (CRG) agrupou-se em áreas da PCA associadas a solos extremamente rasos, altamente ácidos e com elevada saturação por alumínio. Os dados confirmam que o campo graminoso é caracterizado pelo elevado teor de areia grossa, baixo P-rem, baixo teor de cálcio e menor conteúdo de matéria orgânica. Essas condições físicas e químicas severas favorecem uma vegetação exclusivamente herbácea, com domínio de gramíneas adaptadas a solos pedregosos, com baixa retenção de nutrientes e inundações recorrentes, condições que impedem o estabelecimento de espécies arbustivas ou arbóreas. Diante desses resultados, é clara a distinção entre os geoambientes com base nas suas características abióticas, o que corrobora os resultados das análises anteriores.



**Figura 5** Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis do solo das parcelas amostradas na Serra de São Félix do Xingu. CAP: Capão Florestal; CRA: Campo Rupestre Ferruginoso Aberto; CRG: Campo Rupestre Ferruginoso Graminoso.

#### 4.5. Estrutura filogenética e filobetadiversidade dos geoambientes da Serra de Campos

##### 4.5.1. Estrutura filogenética dos geoambientes

Os resultados da estrutura filogenética demonstram um padrão característico para os geoambientes da Serra de Campos em São Félix do Xingu. Todas as unidades amostrais que apresentaram valores filogenéticos significativos ( $p$ -valor  $\leq 0.05$  e valor  $z$  observado maior que  $-1.96$  ou  $1.96$ ) tiveram como resultado valores negativos maiores que  $-1.96$ , indicando agrupamento filogenético das famílias, gêneros e espécies analisados. Dessa forma, podemos afirmar que não houve sobredispersão filogenética, ou seja, não tivemos muitas trocas de espécies durante o processo evolutivo. Todas as unidades amostrais que apresentaram valores filogenéticos significativos são do geoambiente Campo Rupestre Graminoso.

Em relação aos índices filogenéticos calculados, a distância média entre pares de ramos da árvore filogenética (MPD) apresentou somente 12% de valores significativos. Quando analisamos intra geoambiente (CRG) esse percentual sobe para 35% das unidades amostrais. Os resultados para a distância média do táxon mais próximo (MNTD) apresentaram diminuição desses valores, sendo 8% quando consideramos todos os geoambientes e 25% intra geoambiente CRG. A diversidade filogenética (PD) também apresentou valores similares ao MNTD, sendo 8% quando consideramos todos os geoambientes e 25% intra geoambiente CRG.

##### 4.5.2. Filobetadiversidade dos geoambientes

De forma geral, os resultados da filobetadiversidade para sesMPD entre os geoambientes da Serra de Campos apresentaram baixos valores de unidades amostrais filogeneticamente significativas. De um total possível de combinações inter e intra geoambientes (1770 combinações), somente 113 foram significativas. Estes valores em porcentagem, refletem somente 6% do total de combinações. Quando analisamos estes resultados intra geoambiente, podemos ter valores menores ou maiores que o inter grupos.

O resultado intra geoambiente para a relação Capão x Capão apresentou somente uma combinação, ou seja, somente 1% é filogeneticamente significativa. Para a relação Capão x CRG esse valor aumenta para 7%. As maiores porcentagens são encontradas entre CRA x CRG com 11% e CRG x CRG com 22%. Assim como a estrutura filogenética dos geoambientes (alfa), os resultados da filobetadiversidade também

apresentaram valores negativos maiores que -1.96, indicando agrupamento filogenético das famílias, gêneros e espécies analisados. Dessa forma, também podemos afirmar que não houve sobredispersão filogenética, ou seja, não tivemos muitas trocas de espécies durante o processo evolutivo.

Em relação ao resultado intra geoambiente Capão x Capão, temos praticamente um agrupamento de espécies filogeneticamente próximas, indicando uma ausência de trocas (*turnover*) e uma estrutura homogênea da comunidade em relação à filogenia. Quando analisamos a relação inter geoambiente Capão x CRG, temos um resultado interessante, pois algumas combinações apresentaram um agrupamento filogenético (valores negativos). Isso pode ser devido às mesmas famílias ou gêneros, ou famílias e gêneros próximos.

O mesmo padrão pode ser verificado para os demais resultados, pois somente obtivemos valores negativos. É importante destacar uma maior porcentagem para o CRG, pois é um ambiente que poucas famílias conseguem se estabelecer. Era esperado uma maior troca de espécies entre CRA x CRG, entretanto isso não foi confirmado devido aos valores relativos ao agrupamento filogenético.

Em relação aos resultados da filobetadiversidade para sesMNTD entre os geoambientes da Serra de Campos, foram obtidas uma maior porcentagem de combinações filogeneticamente significativas (11%). Assim como o sesMPD, o sesMNTD apresentou somente valores negativos, indicando agrupamento filogenético. De forma geral, as porcentagens apresentaram um aumento para um maior agrupamento dos ramos mais recentes da árvore filogenética. Analisando as relações intra geoambientes esse padrão também é evidente: Capão x Capão com 28%, Capão x CRG com 2%, CRA x CRA com 46%, CRA x CRG com 1% e CRG x CRG com 24%. Diante dos resultados apresentados é possível afirmar que temos uma maior prevalência de agrupamentos recentes quando comparados com as porcentagens apresentadas pelos ramos mais antigos.

Esses resultados indicam que somente algumas famílias e/ou gêneros estão adaptados aos filtros ambientais existentes nos Campos Rupestres Ferruginosos. Também indicam um processo de isolamento biogeográfico durante o processo evolutivo desta paisagem. As demais combinações par a par de unidades amostrais que não apresentaram valores filogeneticamente significativos são consideradas como um processo aleatório da montagem da comunidade.

#### 4.5.3. Efeitos da relação solo-filogenia

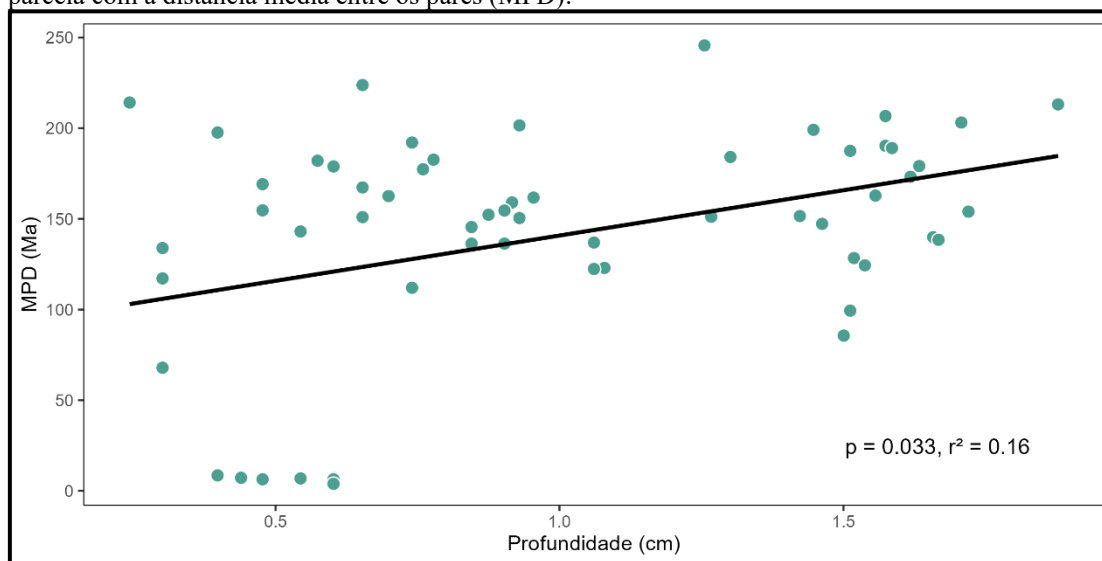
Somente um modelo apresentou resultados significativos dentre as métricas analisadas (Tabela 2). A relação entre a profundidade de cada parcela apresentou efeito positivo com a distância média entre os pares (MPD) ( $p = 0.033$ ,  $r^2 = 0.16$ ) (Figura 6).

**Tabela 2** Modelos testados para avaliar a relação solo-filogenia, incluindo as variáveis do solo (Soil), serrapilheira (Lit) e profundidade (Depth).

| Response variable | Modelos    | d.f. | LogLikelihood | AICc   | DeltaAICc | AICcWt |
|-------------------|------------|------|---------------|--------|-----------|--------|
| MPD               | ~ Depth*   | 7    | -327,2        | 670,56 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Lit  | 7    | -327,2        | 670,56 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Lit  | 7    | -327,2        | 670,56 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Soil | 7    | -327,2        | 670,56 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Soil | 7    | -327,2        | 670,56 | 0         | 0,2    |
| sesMPD            | ~ Depth    | 7    | -92,23        | 200,61 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Lit  | 7    | -92,23        | 200,61 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Lit  | 7    | -92,23        | 200,61 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Soil | 7    | -92,23        | 200,61 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Soil | 7    | -92,23        | 200,61 | 0         | 0,2    |
| MNTD              | ~ Depth    | 7    | -307,25       | 630,65 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Lit  | 7    | -307,25       | 630,65 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Lit  | 7    | -307,25       | 630,65 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Soil | 7    | -307,25       | 630,65 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Soil | 7    | -307,25       | 630,65 | 0         | 0,2    |
| sesMNTD           | ~ Depth    | 7    | -91,3         | 198,75 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Lit  | 7    | -91,3         | 198,75 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Lit  | 7    | -91,3         | 198,75 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Soil | 7    | -91,3         | 198,75 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Soil | 7    | -91,3         | 198,75 | 0         | 0,2    |
| PD                | ~ Depth    | 7    | -427,62       | 871,39 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Lit  | 7    | -427,62       | 871,39 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Lit  | 7    | -427,62       | 871,39 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Soil | 7    | -427,62       | 871,39 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Soil | 7    | -427,62       | 871,39 | 0         | 0,2    |
| sesPD             | ~ Depth    | 7    | -89,76        | 195,67 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Lit  | 7    | -89,76        | 195,67 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Lit  | 7    | -89,76        | 195,67 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA1Soil | 7    | -89,76        | 195,67 | 0         | 0,2    |
|                   | ~ PCA2Soil | 7    | -89,76        | 195,67 | 0         | 0,2    |

OBS.: (\*) representa significância do modelo.

**Figura 6** Gráfico do efeito significativamente positivo do modelo de relação entre a profundidade de cada parcela com a distância média entre os pares (MPD).



## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Diversidade florística e estrutura dos geoambientes da Serra de Campos

Os resultados deste estudo evidenciam que os geoambientes da Serra de Campos apresentam padrões de cobertura vegetal, estrutura fitossociológica, riqueza de espécies, e índice de diversidade de Shannon distintos. Especificamente, o Campo Rupestre Ferruginoso Aberto (CRA) se distinguiu por registrar a maior riqueza de espécies, gêneros e famílias, o que corrobora o padrão observado em outros estudos que descrevem os Campos Rupestres como hotspots de biodiversidade, atribuída à heterogeneidade microambiental e condições edáficas variadas que favorecem a coexistência de diferentes estratégias adaptativas (Nunes et al., 2015; Schaefer et al., 2016; Campos et al., 2018).

De maneira geral, as famílias e gêneros mais ricos seguem o padrão dos resultados de outros estudos da flora de Campos Rupestres (Campos et al., 2022; Pereira et al., 2019; da Fonseca-da-Silva et al., 2020). A dominância de Fabaceae, Poaceae e Myrtaceae, observada especialmente no CRA e Capão, reflete padrões já descritos em outras áreas de Campos Rupestres Ferruginosos brasileiros, cujas espécies apresentam adaptações morfofisiológicas a solos pobres em nutrientes e condições de estresse hídrico e químico (Carmo et al., 2024; Santana et al., 2016; Males e Griffiths 2017). A dominância da família Cyperaceae no Campo Graminoso também corrobora com estudos realizados em áreas semelhantes (Campos et al., 2022; da Fonseca-da-Silva et al., 2020; Nunes et al., 2015; Silva et al., 2024).

Essas famílias e gêneros, comuns entre regiões e diferentes locais de campos rupestres, Cerrado e Caatinga, provavelmente estão ligadas aos filtros ambientais dessas áreas, como baixa disponibilidade de nutrientes e água, altos níveis de radiação, grande amplitude de temperatura e profundidade do solo (Nunes et al., 2015; Giuliatti et al., 2019; Pinto-Junior et al., 2020). Dessa forma, só se estabelecem os táxons com características morfológicas, fisiológicas e anatômicas adaptativas, como roseta caulescente, suculência, pseudocaulis, raízes adventícias, tolerância à dessecação, espécies esclerofílicas, paquicáulicas e caudiciformes (Skirycz et al., 2014; Santana et al., 2016; Males e Griffiths 2017; Alcântara et al., 2015), bem como atributos funcionais associados à história de vida (ou seja, forma de vida, aquisição de recursos, crescimento, reprodução e dispersão) (Negreiros et al., 2014; Pinto-Junior et al., 2020).

Este estudo obteve uma alta porcentagem de espécies raras, além de uma elevada porcentagem de famílias e gêneros com apenas uma espécie. Esse padrão confere à Serra de Campos uma estrutura fitossociológica oligárquica e um alto grau de diversidade e riqueza florística, onde poucas espécies dominam o Valor de Importância (VI) com elevado número de espécies raras, conforme observado em outros estudos (Pinto-Junior et al., 2020; Campos et al., 2018). É importante destacar a presença de espécies endêmicas nos geoambientes estudados, como a *Mimosa dasilvae* A.S.Silva & R.Secco que ocorre apenas na Serra de Campos, e outras espécies restritas à Província Mineral de Carajás e aos Campos Rupestres (Andrino et al., 2020).

Em relação à diferença florística observada entre os geoambientes na PCoA, acredita-se que o Capão apresenta maior discrepância dos demais devido a sua composição de espécies mais arbóreas, padrão observado em outros estudos na região de Carajás (Schaefer et al., 2018). Vale ressaltar que a estrutura e profundidade dos solos nessas áreas é bem maior quando comparada aos outros geoambientes, e permite o estabelecimento de espécies de porte elevado (Schaefer et al., 2016), o que pode explicar também os resultados encontrados para as variáveis abióticas, onde o Capão mostra-se diferente dos demais com menor dispersão e uma variabilidade interna homogênea.

As espécies de Campo Rupestre Ferruginoso Aberto e Graminoso são mais comuns entre si, onde as famílias Fabaceae e Poaceae apresentam maior riqueza, formando uma vegetação mais aberta que ocorre em solos extremamente rasos. Esse padrão corrobora os resultados florísticos da PCoA, porém os solos dessas áreas sofrem maior variação química, física e de massa da serrapilheira, conferindo uma variabilidade

interna heterogênea para cada geoambiente, refletindo os padrões observados em estudos de relação solo-planta na região de Carajás (Schafer et al., 2015).

Ainda nesse sentido, a PCA evidenciou que as características edáficas, como profundidade do solo, teor de alumínio e saturação por alumínio, são determinantes para a composição florística. No Capão, solos mais profundos e com maior acúmulo de matéria orgânica favoreceram maior diversidade florística e presença de espécies arbóreas de grande porte, corroborando estudos que destacam a profundidade como fator-chave para retenção de água e nutrientes, essenciais ao desenvolvimento de formações florestais (Nunes et al., 2015). De forma contrastante, o Campo Rupestre Graminoso apresentou solos rasos, altamente ácidos, ricos em alumínio trocável e baixíssimo teor de fósforo, criando condições que favorecem espécies herbáceas especializadas e limitam o estabelecimento de arbustos e árvores (Schaefer et al., 2016).

## **5.2. Padrões filogenéticos e relação solo-filogenia nos geoambientes da Serra de Campos**

Os resultados negativos da análise filogenética para sesMPD e sesMNTD, indicam forte agrupamento filogenético entre as espécies presentes. Esse padrão sugere que as comunidades são compostas por linhagens próximas evolutivamente, adaptadas a condições restritivas, refletindo filtros ambientais que limitam a diversificação, padrão já observado em ecossistemas de altitude na Amazônia (Campos et al., 2022). A ausência de sobredispersão filogenética reforça que poucas linhagens conseguiram atravessar as barreiras edáficas impostas pelos micro-habitats dos Campos Rupestres Ferruginosos da Serra de Campos (Kraft et al., 2015; Silveira et al., 2016; Zappi et al., 2019).

Os resultados da filobetadiversidade mostram baixa proporção de combinações filogeneticamente significativas entre os geoambientes, sugerindo poucas trocas de linhagens entre eles. Por outro lado, a maior filobetadiversidade intra-geoambiente observada no CRA e CRG pode ser explicada pela variabilidade microambiental desses ambientes, que mantém diferenças filogenéticas mesmo dentro de um mesmo tipo de vegetação (Campos et al., 2022). No Capão, a menor filobetadiversidade reflete maior homogeneidade ambiental e florística, corroborando os resultados observados nas análises anteriores para esse ambiente (Campos et al., 2018; Nunes et al., 2015; Schaefer et al., 2016).

Entre os modelos testados, apenas a profundidade do solo apresentou correlação positiva significativa com o índice MPD, indicando que a profundidade do solo tem uma contribuição positiva para aumento na diversidade filogenética média. Esse resultado corrobora os já observados em estudos que destacam atributos edáficos, especialmente os atributos físicos, como preditores importantes da diversidade filogenética em ecossistemas tropicais (Campos et al., 2022; Nunes et al., 2015; Yates et al., 2011). O trabalho de Schaefer et al. (2009) já apontava que a profundidade do solo pode desempenhar um papel fundamental na definição das fitofisionomias de CRF em Carajás. De forma semelhante, Nunes et al. (2015) também observaram o efeito da profundidade do solo como um fator-chave na separação dos geoambientes em campo rupestre, com solos mais profundos cobertos por ambientes florestais de idade filogenética mais antiga.

De forma geral, esses resultados corroboram o que já foi apresentado anteriormente, ressaltando que os filtros ambientais moldam a paisagem através da seleção de espécies que melhor se estabelecem em habitats específicos associados à profundidade do solo.

## **6. CONCLUSÃO**

A análise dos geoambientes da Serra de Campos, em São Félix do Xingu, permitiu compreender como as condições ambientais, especialmente as características edáficas, influenciam diretamente a composição florística e a estrutura filogenética das comunidades vegetais. A investigação revelou que as fitofisionomias analisadas apresentam padrões distintos de riqueza e dominância, refletindo a forte atuação de filtros ambientais que favorecem espécies adaptadas a solos rasos, ácidos e com alta saturação por alumínio.

As análises filogenéticas indicaram um claro agrupamento de espécies evolutivamente próximas, evidenciando que poucos grupos conseguiram se adaptar às condições extremas desses ambientes. Além disso, a relação significativa entre profundidade do solo e diversidade filogenética reforça a importância dos atributos edáficos na estruturação dessas comunidades.

De modo geral, os resultados ressaltam a relevância dos Campos Rupestres Ferruginosos como áreas que concentram espécies especializadas e importantes linhagens evolutivas, reforçando a necessidade de conservação desses ambientes singulares. O que contribui não apenas para preservar a flora local, mas também para melhor elucidar os processos ecológicos e históricos que moldaram a biodiversidade na região.

## REFERÊNCIAS

- ALCANTARA S, MELLO-SILVA R, TEODORO GS, et al. Carbon assimilation and habitat segregation in resurrection plants: comparison between desiccation- and non-desiccationtolerant species of neotropical Velloziaceae (Pandanales). **Funct Ecol** 29(12):1499-1512, 2015. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12462>
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, 22(6), 711-728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, p. 32–46, 2001.
- ANDRINO, C. O., BARBOSA-SILVA, R. G., LOVO, J., VIANA, P. L., MORO, M. F., & ZAPPI, D. C. Iron islands in the Amazon: investigating plant beta diversity of canga outcrops. **PhytoKeys**, 165, 1–25, 2020. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.165.54819>
- BRAUN-BLANQUET, J. **Fitosociologia: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. 3.ed. Madrid: Aum. Blume;1979.
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Model selection and multi-model inference: a practical informationtheoretic approach. **Springer**, New York, 2002.
- CAMPOS, P.V., SCHAEFER, C.E.G.R., PONTARA, V. *et al.* Local-scale environmental filtering shape plant taxonomic and phylogenetic diversity in an isolated Amazonian *tepui* (Tepequém table mountain). **Evol Ecol**, 36, 55–73, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10682-021-10141-w>
- CAMPOS, PV, VILLA, PM, NUNES, JA *et al.* Diversidade de plantas e estrutura da comunidade dos *Páramos* brasileiros. **J. Mt. Sci.** 15, 1186–1198, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4674-7>
- CRAWLEY, M.J. **The R book**. John Wiley & Sons, Chichester, 2013.
- WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L. *et al.* **R ggplot2 package**: an implementation of the grammar of graphics. 2024. Available online: <https://github.com/tidyverse/ggplot2>
- DIAS, H. C. T., FERNANDES FILHO, E. I., SCHAEFER, C. E. G. R., FONTES, L. E. F., & VENTORIM, L. B. Geoambientes do parque estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. **Revista Árvore**, 26, 777-786, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600014>.
- DOS SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., DOS ANJOS, L. H. C., DE OLIVEIRA, V. Á., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., DE ALMEIDA, J. A., DE ARAÚJO FILHO, J. C., DE OLIVEIRA, J. B., & CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (5th ed.). Embrapa. 2018.
- DOS SANTOS, R. D., DOS SANTOS, H. G., KER, J. C., DOS ANJOS, L. H. C., & SHIMIZU, S. H. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (7°)**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2015.
- FERNANDES, G. W. (Ed.). **Ecology and conservation of mountaintop grasslands in Brazil** (Vol. 1, pp. 3-14). Switzerland: Springer International Publishing. 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5>.

GIULIETTI, A.M., GIANNINI, T.C., MOTA, N.F.O. *et al.* Edaphic Endemism in the Amazon: Vascular Plants of the *canga* of Carajás, Brazil. **Bot. Rev.** 85, 357–383, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12229-019-09214-x>

GRAHAM, C. H., & FINE, P. V. Phylogenetic beta diversity: linking ecological and evolutionary processes across space in time. **Ecology letters**, 11(12), 1265-1277. 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01256.x>.

GRAINGER, C. J., GROVES, D. I., TALLARICO, F. H., & FLETCHER, I. R. Metallogenesis of the Carajás mineral province, southern Amazon craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base-and precious-metal mineralisation. **Ore Geology Reviews**, 33(3-4), 451-489, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.10.010>.

JACOBI, C.M., DO CARMO, F.F. & DE CAMPOS, I.C. Soaring Extinction Threats to Endemic Plants in Brazilian Metal-Rich Regions. **AMBIO**, 40, 540–543, 2011. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0151-7>

JACOBI, C. M., & CARMO, F. F. D. Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 25, 395-412, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200016>.

KEMBEL, S. W., COWAN, P. D., HELMUS, M. R., CORNWELL, W. K., MORLON, H., ACKERLY, D. D., BLOMBERG, S. P., & WEBB, C. O. Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. **Bioinformatics**, 26(11), 1463–1464, 2010. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq166>.

KRAFT NJB, ADLER PB, GODOY O, JAMES EC, FULLER S, LEVINE JM Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. **Funct Ecol** 29:592–599, 2015. doi: 10.1111/1365-2435.12345

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. Numerical Ecology. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.

LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2024. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>

MALES J., GRIFFITHS H. Functional types in the Bromeliaceae: relationships with drought-resistance traits and bioclimatic distributions. **Funct Ecol** 31(10):1868-1880, 2017. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12900>

MICHEL, G. P., & KOBİYAMA, M. Estimativa da profundidade do solo: Parte 1-Métodos de campo. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife. Vol. 8, n. 4 (2015), p. 1206-1224, 2015.

MOTA NF DE O, SILVA LVC, MARTINS FD, VIANA PL. Vegetação sobre sistemas ferruginosos da Serra dos Carajás. In: Carmo FF, Kamino LHY, eds. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte: 3i Editora, 289–315, 2015.

MOTA, M.R., PINHEIRO, F., SANTOS LEAL, B.S.D. *et al.* Correction: From micro- to macroevolution: insights from a Neotropical bromeliad with high population genetic structure adapted to rock outcrops. **Heredity**, 125, 372, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-00359-9>

NEGREIROS, D., LE STRADIC, S., FERNANDES, G.W. *et al.* CSR analysis of plant functional types in highly diverse tropical grasslands of harsh environments. **Plant Ecol**, 215, 379–388, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0302-6>

NUNES, J. A., SCHAEFER, C. E., FERREIRA JÚNIOR, W. G., NERI, A. V., CORREA, G. R., & ENRIGHT, N. J. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 87, 2097-2110, 2015. <https://doi.org/10.1590/0001-376520152014-0106>.

OKSANEN, J., GUILLAUME BLANCHET, F., FRIENDLY, M., KINDT, R., LEGENDRE, P., MCGLINN, D., MINCHIN, P.R., O'HARA, R.B., SIMPSON, G.L., SOLYMOS, P., STEVENS, M.H.H., SZOECES E., WAGNER H. **vegan: community Ecology Package**. R package version 2.5-7, 2020. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

PEREIRA CC, SANTOS SOARES FF, FONSECA RS, HENRIQUES NR, ARRUDA DM. Ferruginous Rupestrian Savannah: a floristic and structural analysis of these rare environments. **Neotropical Biology and Conservation**, 14(4): 381-397, 2019. <https://doi.org/10.3897/neotropical.14.e47228>

PINTO-JUNIOR, H. V., DE CARVALHO MÜLLER, L. A., & NERI, A. V. Turnover is the dominant process of taxonomic and functional  $\beta$ -diversity on Neotropical inselbergs. **Flora**, 305, 152319, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152319>.

PINTO-JUNIOR, H. V., HERINGER, G., DINIZ, É. S., MÜLLER, L. A. D. C., VILLA, P. M., MEIRA-NETO, J. A. A., & NERI, A. V. Biogeographic isolation and climate shape the evolutionary heritage of Neotropical inselbergs. **Global Ecology and Biogeography**, 33, e13860, 2024. <https://doi.org/10.1111/geb.13860>

PONTARA, V., BUENO, M.L., REZENDE, V.L. *et al.* Evolutionary history of *campo rupestre*: an approach for conservation of woody plant communities. **Biodivers Conserv**, 27, 2877–2896, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1574-2>

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024. <https://www.R-project.org/>

REZENDE, V. L., PONTARA, V., BUENO, M. L., VAN DEN BERG, E., SILVA DE MIRANDA, P. L., DE OLIVEIRA-FILHO, A. T., & DEXTER, K. G. Phylogenetic regionalization of tree assemblages reveals novel patterns of evolutionary affinities in the Atlantic Forest. **Journal of Biogeography**, 48(4), 798-810, 2021. <https://doi.org/10.1111/jbi.14038>.

PINTO-JUNIOR, H. V., VILLA, P. M., PEREIRA, M. C. A., & MENEZES, L. F. T. D. The pattern of high plant diversity of Neotropical inselbergs: highlighting endemic, threatened and unique species. **Acta Botanica Brasilica**, 34, 645-661, 2020.

PIONTEKOWSKI RIBEIRO, F., PEREIRA BUSSINGUER, A., REIS HODECKER, B. E., & GATTO, A. Conteúdo de nutrientes na serapilheira em três fisionomias do Cerrado do Distrito Federal. **Brazilian Journal of Forest Research/Pesquisa Florestal Brasileira**, 37 (92), 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.92.1312>

SANTANA KC, SOUZA IM, MIRANDA LAP, *et al.* Phenodynamics of five orchids species growing on rock outcrops in the Chapada Diamantina Mountains in

northeastern Brazil. **Acta Bot. Bras.** 30(3):508-513, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0132>

SAHOO, P. K., GUIMARAES, J. T., SOUZA-FILHO, P. W., SILVA, M. S., SILVA JUNIOR, R. O., PESSIM, G., ... & DALL'AGNOL, R. Influence of seasonal variation on the hydro-biogeochemical characteristics of two upland lakes in the Southeastern Amazon, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 88, 2211-2227, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620160354>

SCHAEFER, C.E. *et al.* The Physical Environment of Rupestrian Grasslands (Campos Rupestres) in Brazil: Geological, Geomorphological and Pedological Characteristics, and Interplays. In: Fernandes, G. (eds) Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil. **Springer, Cham**, 2016. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29808-5_2)

SILVA, A. R., RESENDE-MOREIRA, L. C., CARVALHO, C. S., LANES, E. C. M., ORTIZ-VERA, M. P., VIANA, P. L., & JAFFÉ, R. Range-wide neutral and adaptive genetic structure of an endemic herb from Amazonian Savannas. **AoB PLANTS**, 12(1), plaa003, 2020. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaa003>

SILVA, L. G., LOVO, J., FONSECA-DA-SILVA, T. L. D., RIUL, P., SILVA-LUZ, C. L. D., & ZAPPI, D. C. Floristic data to support conservation in the Amazonian canga. **Biota Neotropica**, 23, e20231517, 2024. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2023-1517>

SILVEIRA, F.A.O., NEGREIROS, D., BARBOSA, N.P.U. *et al.* Ecology and evolution of plant diversity in the endangered *campo rupestre*: a neglected conservation priority. **Plant Soil**, 403, 129–152. 2016. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2637-8>

SKIRYCYZ, A., CASTILHO, A., CHAPARRO, C., CARVALHO, N., TZOTZOS, G., & SIQUEIRA, J. O. Canga biodiversity, a matter of mining. **Frontiers in plant science**, 5, 653, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00653>

SOUZA-FILHO, P. W. M., GIANNINI, T. C., JAFFÉ, R., GIULIETTI, A. M., SANTOS, D. C., NASCIMENTO JR, W. R., ... & SIQUEIRA, J. O. Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: A challenge for biodiversity conservation. **PLoS One**, 14(1), e0211095, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211095>

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo** (P. C. Teixeira, G. K. Donagemma, A. Fontana, & W. G. Teixeira, Eds.; 3<sup>o</sup>), 2017. Embrapa. <https://www.embrapa.br>

VASCONCELOS, M. F. D. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil?. **Brazilian Journal of Botany**, 34, 241-246. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042011000200012>

VASCONCELOS, T. N. C. *et al.* Floristic diversity and endemism in Brazilian campos rupestres... *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. Disponível via Elsevier. 2020.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

ZAPPI, D. C., MORO, M. F., MEAGHER, T. R., & NIC LUGHADHA, E. Plant Biodiversity Drivers in Brazilian *Campos Rupestres*: Insights from Phylogenetic Structure. **Frontiers in plant science**, 8, 2141, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02141>

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho ampliou a compreensão sobre os diferentes geoambientes de campos rupestres ferruginosos na Serra de Campos, no sudeste do Pará, destacando sua grande diversidade de paisagens e relações estreitas com as características dos solos. A descrição detalhada dos perfis, aliada à análise físico-química, mostrou como fatores como profundidade, acidez, teor de alumínio e matéria orgânica influenciam diretamente na composição e estrutura das comunidades vegetais.

Verificou-se que geoambientes como capões florestais apresentam solos mais profundos e férteis, favorecendo maior diversidade de espécies arbóreas, enquanto áreas abertas e brejosas, de solos rasos e ácidos, concentram espécies adaptadas a condições mais extremas. Além disso, observou-se a relevância de processos naturais, como a atuação da fauna do solo, em especial os cupins, que contribuem para alterações na estrutura do solo e na ciclagem de nutrientes.

Os resultados também evidenciaram padrões de agrupamento filogenético, indicando que filtros ambientais têm papel importante ao restringir o número de linhagens capazes de se estabelecer nesses ambientes. Apesar disso, há diferenças marcantes entre os geoambientes, que juntos compõem um mosaico de alta complexidade ecológica.

De modo geral, este trabalho reforça a relevância dos campos rupestres ferruginosos como ecossistemas únicos e vulneráveis, que abrigam espécies especializadas e processos ecológicos próprios. Além disso, os resultados apresentados aqui podem servir de base para orientar iniciativas de conservação e manejo mais eficazes. Ao mesmo tempo, espera-se que este estudo desperte o interesse por novas pesquisas na região, contribuindo para aprofundar o conhecimento sobre sua biodiversidade e os serviços ambientais que esses ambientes oferecem.

## APÊNDICE B

**Tabela 1** Lista de espécies para cada uma das três áreas amostradas estudadas na Serra de Campos, Amazônia, Brasil.

| CAPÃO            |  |
|------------------|--|
|                  | <i>Annona</i> sp.  |
| ANNONACEAE       | Annonaceae   |
|                  | <i>Guatteria</i> sp.   |
| APOCYNACEAE      | <i>Lacmellea arborescens</i> (Müll.Arg.) Markgr.                           |
| ARALIACEAE       | <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al. var. <i>morototoni</i> |
| ARECACEAE        | <i>Bactris</i> sp.   |
| BIGNONIACEAE     | <i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don                                      |
| BIXACEAE         | <i>Cochlospermum regium</i> (Mart. ex Schrank) Pilg.                       |
| BURSERACEAE      | <i>Protium</i> sp.   |
| CARYOCARACEAE    | Caryocaraceae  |
| CONNARACEAE      | <i>Connarus</i> sp.  |
| ELAEOCARPACEAE   | <i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.                                   |
| ERYTHROXYLACEAE  | <i>Erythroxylum</i> sp.  |
|                  | <i>Aparisthium cordatum</i> (A.Juss.) Baill.                               |
| EUPHORBIACEAE    | <i>Mabea angustifolia</i> Spruce ex Benth.                                 |
|                  | <i>Mabea fistulifera</i> Mart.   |
|                  | <i>Bauhinia longicuspis</i> Benth.   |
|                  | <i>Bauhinia</i> sp.  |
|                  | <i>Cassia fastuosa</i> Willd. ex Benth.                                    |
| FABACEAE         | Fabaceae   |
|                  | <i>Inga</i> sp.  |
|                  | <i>Tachigali</i> sp.   |
| HUMIRIACEAE      | <i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.                                    |
| HYPERICACEAE     | <i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy                                    |
| LAMIACEAE        | <i>Vitex polygama</i> Cham.  |
|                  | <i>Aniba ferrea</i> Kubitzki   |
| LAURACEAE        | <i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez                             |
| MALPIGHIACEAE    | <i>Byrsonima crispera</i> A.Juss.  |
|                  | <i>Pachira insignis</i> (Sw.) Sw. ex Savigny                               |
|                  | <i>Sterculia excelsa</i> Mart.   |
| MALVACEAE        | <i>Sterculia</i> sp.   |
|                  | <i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng.                               |
| MELASTOMATAACEAE | Melastomataceae  |
| MORACEAE         | <i>Brosimum rubescens</i> Taub.  |
|                  | <i>Myrcia bracteata</i> (Rich.) DC.  |
| MYRTACEAE        | Myrtaceae  |
| NYCTAGINACEAE    | <i>Neea oppositifolia</i> Ruiz & Pav.                                      |
| QUIINACEAE       | <i>Lacunaria jenmanii</i> (Oliv.) Ducke                                    |
| RUBIACEAE        | Rubiaceae  |
| RUTACEAE         | Rutaceae   |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| SALICACEAE                   | <i>Casearia</i> sp.   |
| SAPOTACEAE                   | <i>Chrysophyllum</i> sp.  |
| URTICACEAE                   | <i>Cecropia distachya</i> Huber   |
| <b>CAMPO RUPESTRE ABERTO</b> |   |
| APOCYNACEAE                  | <i>Mandevilla</i> sp.<br><i>Mandevilla tenuifolia</i> (J.C.Mikan) Woodson   |
| ARACEAE                      | <i>Anthurium</i> sp.  |
| ARECACEAE                    | <i>Syagrus</i> sp.  |
| ASTERACEAE                   | <i>Monogereion</i> sp.  |
| BIGNONIACEAE                 | <i>Anemopaegma carajasense</i> A.H. Gentry ex Firetti-Leggieri  |
| BIGNONIACEAE                 | <i>Jacaranda ulei</i> Bureau & K.Schum.   |
| BROMELIACEAE                 | <i>Ananas</i> sp.<br><i>Dyckia duckei</i> L.B.Sm.   |
| BURMANNIACEAE                | <i>Burmannia flava</i> Mart.  |
| CONVOLVULACEAE               | <i>Cuscuta insquamata</i> Yunck.<br><i>Ipomoea marabaensis</i> D.F.Austin & Secco<br><i>Bulbostylis conifera</i> (Kunth) C.B.Clarke   |
| CYPERACEAE                   | Cyperaceae<br><i>Rhynchospora seccoi</i> C.S. Nunes, P.J.S. Silva Filho & A. Gil<br><i>Scleria</i> sp.  |
| DIOSCOREACEAE                | <i>Dioscorea</i> sp.  |
| ERIOCAULACEAE                | Eriocaulaceae   |
| ERYTHROPALACEAE              | <i>Heisteria ovata</i> Benth.   |
| ERYTHROXYLACEAE              | Erythroxylaceae<br><i>Erythroxylum</i> sp.  |
| EUPHORBIACEAE                | <i>Alchornea discolor</i> Poepp.<br>Euphorbiaceae<br><i>Bauhinia pulchella</i> Benth.<br><i>Bauhinia</i> sp.<br><i>Chamaecrista</i> sp.<br><i>Crotalaria</i> sp.<br><i>Dioclea</i> sp.<br><i>Mimosa dasilvae</i> A.S.Silva & R.Secco<br><i>Mimosa skinneri</i> Benth.<br><i>Mimosa</i> sp.<br><i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.<br><i>Periandra</i> sp. |
| LENTIBULARIACEAE             | <i>Utricularia</i> sp.  |
| LYTHRACEAE                   | <i>Cuphea annulata</i> Koehne<br><i>Cuphea carajasensis</i> Lourteig  |
| MALPIGHIACEAE                | <i>Byrsonima chrysophylla</i> Kunth<br>Malpighiaceae  |
| MARCGRAVIACEAE               | <i>Norantea guianensis</i> Aubl.  |
| MELASTOMATACEAE              | <i>Brasilianthus carajasensis</i> Almeda & Michelangeli<br><i>Miconia discolor</i> DC.  |

*Pleroma carajasense* K.Rocha, R.Goldenb. & F.S.Mey

*Tibouchina* sp.

*Eugenia* sp.

MYRTACEAE

*Myrcia multiflora* (Lam.) DC.

*Myrcia* sp.

Myrtaceae

*Catasetum* sp.

ORCHIDACEAE

Orchidaceae

*Sobralia liliastrum* Lindl.

OROBANCHACEAE

*Buchnera carajasensis* Scatigna & N.Mota

*Axonopus capillaris* (Lam.) Chase

*Axonopus longispicus* (Döll) Kuhlm.

*Axonopus* sp.

*Mesosetum annuum* Swallen

POACEAE

*Paspalum axillare* Swallen

*Paspalum reticulinerve* Renvoize

*Paspalum* sp.

Poaceae

*Trachypogon spicatus* (L.f.) Kuntze

*Trichantheicum cyanescens* (Nees ex Trin.) Zuloaga & Morrone

POLYGALACEAE

*Caamembeca spectabilis* (DC.) J.F.B.

*Senega adenophora* (DC.) J.F.B.Pastore

*Borreria carajasensis* E.L.Cabral & L.M.M

RUBIACEAE

*Borreria* sp.

*Perama carajensis* J.H.Kirkbr.

SMILACACEAE

*Smilax* sp.

TURNERACEAE

*Turnera glaziovii* Urb.

VELLOZIACEAE

*Vellozia glauca* Pohl

VERBENACEAE

*Lippia grata* Schauer

VITACEAE

*Cissus erosa* Rich.

XYRIDACEAE

*Xyris brachysepala* Kral

### CAMPO RUPESTRE GRAMINOSO

ASTERACEAE

*Riencourtia pedunculosa* (Rich.) Pruski

BURMANNIACEAE

*Burmannia flava* Mart.

*Bulbostylis conifera* (Kunth) C.B.Clarke

CYPERACEAE

*Rhynchospora seccoii* C.S. Nunes, P.J.S. Silva Filho & A. Gil

*Rhynchospora* sp.

*Rhynchospora barbata* (Vahl) Kunth

ERIOCAULACEAE

*Eriocaulaceae* sp.

*Mimosa dasilvae* A.S.Silva & R.Secco

FABACEAE

*Mimosa skinneri* Benth.

*Mimosa* sp.

GENTIANACEAE

*Schultesia guianensis* (Aubl.) Malme LC

LENTIBULARIACEAE

*Utricularia* sp.

MELASTOMATACEAE

*Brasilianthus carajensis* Almeda & Michelangeli

|                |   |
|----------------|---|
| MYRTACEAE      | <i>Myrcia floribunda</i> Miq.                                     |
| OROBANCHACEAE  | <i>Buchnera carajasensis</i> Scatigna & N.Mota                    |
| PHYLLANTHACEAE | <i>Phyllanthus</i> sp.  |
| POACEAE        | <i>Axonopus capillaris</i> (Lam.) Chase                           |
|                | <i>Mesosetum annuum</i> Swallen                                   |
|                | <i>Paspalum reticulinerve</i> Renvoize                            |
|                | <i>Rhytachne gonzalezii</i> Davidse                               |
|                | <i>Trachypogon spicatus</i> (L.f.) Kuntze                         |
|                | <i>Trichantheium cyanescens</i> (Nees ex Trin.) Zuloaga & Morrone |
| POLYGALACEAE   | <i>Senega adenophora</i> (DC.) J.F.B.Pastore                      |
| RUBIACEAE      | <i>Borreria</i> sp.   |
|                | <i>Perama carajensis</i> J.H.Kirkbr.                              |
| XYRIDACEAE     | <i>Xyris brachysepala</i> Kral                                    |
|                | <i>Xyris</i> sp.  |

---

Fonte: A autora (2024)

### Tabelas de vida dos geoambientes da Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará

**Tabela 4** Tabela de vida do Campo Rupestre Ferruginoso Graminoso da Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará. (H' = -2,15437; E = -0,65366)

| Espécie   | Família          | Cobertura<br>(Σ %) | Cobertura<br>(m) | Frequência | Frequência<br>Absoluta | Frequência<br>Relativa | Cobertura<br>Absoluta | Cobertura<br>Relativa | VI       | Log Ln Ci | H'       |
|---|------------------|--------------------|------------------|------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|
| Rhynchospora barbata (Vahl) Kunth                           | Cyperaceae       | 378                | 15,12            | 17         | 0,85                   | 12,14285714            | 0,189                 | 23,4928527            | 17,81785 | -1,66601  | -0,31488 |
| Mesosetum annuum Swallen                                    | Poaceae          | 237                | 9,48             | 10         | 0,5                    | 7,142857143            | 0,1185                | 14,72964574           | 10,93625 | -2,13284  | -0,25274 |
| Rhynchospora sp.  | Cyperaceae       | 209                | 8,36             | 9          | 0,45                   | 6,428571429            | 0,1045                | 12,98943443           | 9,709003 | -2,25857  | -0,23602 |
| Mimosa skinneri Benth.                                      | Fabaceae         | 161                | 6,44             | 8          | 0,4                    | 5,714285714            | 0,0805                | 10,00621504           | 7,86025  | -2,5195   | -0,20282 |
| Bulbostylis conifera (Kunth) C.B.Clarke                     | Cyperaceae       | 143                | 5,72             | 6          | 0,3                    | 4,285714286            | 0,0715                | 8,887507769           | 6,586611 | -2,63806  | -0,18862 |
| Mimosa dasilvae A.S.Silva & R.Secco                         | Fabaceae         | 119                | 4,76             | 4          | 0,2                    | 2,857142857            | 0,0595                | 7,395898073           | 5,12652  | -2,82178  | -0,1679  |
| Rhynchospora seccoi C.S. Nunes, P.J.S. Silva Filho & A. Gil | Cyperaceae       | 60                 | 2,4              | 8          | 0,4                    | 5,714285714            | 0,03                  | 3,729024239           | 4,721655 | -3,50656  | -0,1052  |
| Axonopus capillaris (Lam.) Chase                            | Poaceae          | 47                 | 1,88             | 7          | 0,35                   | 5                      | 0,0235                | 2,921068987           | 3,960534 | -3,75075  | -0,08814 |
| Eriocaulaceae sp.   | Eriocaulaceae    | 24                 | 0,96             | 8          | 0,4                    | 5,714285714            | 0,012                 | 1,491609695           | 3,602948 | -4,42285  | -0,05307 |
| Phyllanthus sp.   | Phyllanthaceae   | 19                 | 0,76             | 8          | 0,4                    | 5,714285714            | 0,0095                | 1,180857676           | 3,447572 | -4,65646  | -0,04424 |
| Trichantheum cyanescens (Nees ex Trin.) Zuloaga & Morrone   | Poaceae          | 14                 | 0,56             | 8          | 0,4                    | 5,714285714            | 0,007                 | 0,870105656           | 3,292196 | -4,96185  | -0,03473 |
| Xyris brachysepala Kral                                     | Xyridaceae       | 30                 | 1,2              | 6          | 0,3                    | 4,285714286            | 0,015                 | 1,864512119           | 3,075113 | -4,19971  | -0,063   |
| Riencourtia pedunculosa (Rich.) Pruski                      | Asteraceae       | 25                 | 1                | 6          | 0,3                    | 4,285714286            | 0,0125                | 1,553760099           | 2,919737 | -4,38203  | -0,05478 |
| Paspalum reticulinerve Renvoize                             | Poaceae          | 20                 | 0,8              | 5          | 0,25                   | 3,571428571            | 0,01                  | 1,24300808            | 2,407218 | -4,60517  | -0,04605 |
| Xyris sp.   | Xyridaceae       | 30                 | 1,2              | 4          | 0,2                    | 2,857142857            | 0,015                 | 1,864512119           | 2,360827 | -4,19971  | -0,063   |
| Senega adenophora (DC.) J.F.B.Pastore                       | Polygalaceae     | 6                  | 0,24             | 5          | 0,25                   | 3,571428571            | 0,003                 | 0,372902424           | 1,972165 | -5,80914  | -0,01743 |
| Buchnera carajasensis Scatigna & N.Mota                     | Orobanchaceae    | 10                 | 0,4              | 4          | 0,2                    | 2,857142857            | 0,005                 | 0,62150404            | 1,739323 | -5,29832  | -0,02649 |
| Burmannia flava Mart.                                       | Burmanniaceae    | 16                 | 0,64             | 3          | 0,15                   | 2,142857143            | 0,008                 | 0,994406464           | 1,568632 | -4,82831  | -0,03863 |
| Borreria sp.  | Rubiaceae        | 27                 | 1,08             | 2          | 0,1                    | 1,428571429            | 0,0135                | 1,678060907           | 1,553316 | -4,30507  | -0,05812 |
| Perama carajensis J.H.Kirkbr.                               | Rubiaceae        | 8                  | 0,32             | 2          | 0,1                    | 1,428571429            | 0,004                 | 0,497203232           | 0,962887 | -5,52146  | -0,02209 |
| Trachypogon spicatus (L.f.) Kuntze                          | Poaceae          | 6                  | 0,24             | 2          | 0,1                    | 1,428571429            | 0,003                 | 0,372902424           | 0,900737 | -5,80914  | -0,01743 |
| Schultesia guianensis (Aubl.) Malme LC                      | Gentianaceae     | 2                  | 0,08             | 2          | 0,1                    | 1,428571429            | 0,001                 | 0,124300808           | 0,776436 | -6,90776  | -0,00691 |
| Utricularia sp.   | Lentibulariaceae | 2                  | 0,08             | 2          | 0,1                    | 1,428571429            | 0,001                 | 0,124300808           | 0,776436 | -6,90776  | -0,00691 |
| Mimosa sp.  | Fabaceae         | 12                 | 0,48             | 1          | 0,05                   | 0,714285714            | 0,006                 | 0,745804848           | 0,730045 | -5,116    | -0,0307  |
| Rhytachne gonzalezii Davidse                                | Poaceae          | 2                  | 0,08             | 1          | 0,05                   | 0,714285714            | 0,001                 | 0,124300808           | 0,419293 | -6,90776  | -0,00691 |

|  |                 |             |              |            |          |             |               |             |          |         |         |
|--|-----------------|-------------|--------------|------------|----------|-------------|---------------|-------------|----------|---------|---------|
| Brasilianthus carajensis Almeda & Michelangeli | Melastomataceae | 1           | 0,04         | 1          | 0,05     | 0,714285714 | 0,0005        | 0,062150404 | 0,388218 | -7,6009 | -0,0038 |
| Myrcia floribunda Miq.                         | Myrtaceae       | 1           | 0,04         | 1          | 0,05     | 0,714285714 | 0,0005        | 0,062150404 | 0,388218 | -7,6009 | -0,0038 |
| <b>Total Geral</b>                             |                 | <b>1609</b> | <b>64,36</b> | <b>140</b> | <b>7</b> | <b>100</b>  | <b>0,8045</b> | <b>100</b>  |          |         |         |

**Tabela 5** Tabela de vida do Campo Rupestre Ferruginoso Aberto da Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará. (H' = -5,12828; E = -1,18779)

| Espécie   | Família         | Densidade (Σ) | Cobertura (Σ %) | Cobertura (m) | Frequência | Densidade Absoluta | Densidade Relativa | Frequência Absoluta | Frequência Relativa | Cobertura Absoluta | Cobertura Relativa | VI       | Log Ln Ci | H'       |
|---|-----------------|---------------|-----------------|---------------|------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------|-----------|----------|
| Perama carajensis J.H.Kirkbr.                               | Rubiaceae       | 1298          | 133             | 33,25         | 13         | 2,596              | 22,86016203        | 0,65                | 3,201970443         | 0,0665             | 3,949517446        | 10,00388 | -2,71055  | -0,18025 |
| Borreria sp.  | Rubiaceae       | 308           | 246             | 61,5          | 13         | 0,616              | 5,424445227        | 0,65                | 3,201970443         | 0,123              | 7,305122494        | 5,310513 | -2,09557  | -0,25776 |
| Cuphea carajasensis Lourteig                                | Lythraceae      | 260           | 256,5           | 64,125        | 15         | 0,52               | 4,57907714         | 0,75                | 3,694581281         | 0,12825            | 7,616926503        | 5,296862 | -2,05377  | -0,2634  |
| Mimosa dasilvae A.S.Silva & R.Secco                         | Fabaceae        | 98            | 284             | 71            | 15         | 0,196              | 1,725959845        | 0,75                | 3,694581281         | 0,142              | 8,43355605         | 4,618032 | -1,95193  | -0,27717 |
| Myrtaceae sp.   | Myrtaceae       | 184           | 216             | 54            | 13         | 0,368              | 3,240577668        | 0,65                | 3,201970443         | 0,108              | 6,414253898        | 4,285601 | -2,22562  | -0,24037 |
| Pleroma carajasense K.Rocha, R.Goldenb. & F.S.Mey           | Melastomataceae | 318           | 102,5           | 25,625        | 15         | 0,636              | 5,600563579        | 0,75                | 3,694581281         | 0,05125            | 3,043801039        | 4,112982 | -2,97104  | -0,15227 |
| Byrsonima chrysophylla Kunth                                | Malpighiaceae   | 27            | 224             | 56            | 16         | 0,054              | 0,475519549        | 0,8                 | 3,9408867           | 0,112              | 6,651818857        | 3,689408 | -2,18926  | -0,2452  |
| Monogereion sp  | Asteraceae      | 284           | 74,5            | 18,625        | 11         | 0,568              | 5,001761184        | 0,55                | 2,709359606         | 0,03725            | 2,212323682        | 3,307815 | -3,2901   | -0,12256 |
| Bauhinia pulchella Benth.                                   | Fabaceae        | 68            | 159,5           | 39,875        | 14         | 0,136              | 1,19760479         | 0,7                 | 3,448275862         | 0,07975            | 4,736451373        | 3,127444 | -2,52886  | -0,20168 |
| Brasilianthus carajensis Almeda & Michelangeli              | Melastomataceae | 241           | 56              | 14            | 13         | 0,482              | 4,244452272        | 0,65                | 3,201970443         | 0,028              | 1,662954714        | 3,036459 | -3,57555  | -0,10012 |
| Bulbostylis conifera (Kunth) C.B.Clarke                     | Cyperaceae      | 226           | 97              | 24,25         | 8          | 0,452              | 3,980274745        | 0,4                 | 1,97044335          | 0,0485             | 2,88047513         | 2,943731 | -3,02619  | -0,14677 |
| Ananas sp.  | Bromeliaceae    | 136           | 108             | 27            | 11         | 0,272              | 2,395209581        | 0,55                | 2,709359606         | 0,054              | 3,207126949        | 2,770565 | -2,91877  | -0,15761 |
| Periandra mediterranea (Vell.) Taub.                        | Fabaceae        | 111           | 83              | 20,75         | 14         | 0,222              | 1,954913702        | 0,7                 | 3,448275862         | 0,0415             | 2,464736451        | 2,622642 | -3,18206  | -0,13206 |
| Cuphea annulata Koehne                                      | Lythraceae      | 152           | 97              | 24,25         | 6          | 0,304              | 2,676998943        | 0,3                 | 1,477832512         | 0,0485             | 2,88047513         | 2,345102 | -3,02619  | -0,14677 |
| Cuscuta squamata  | Convolvulaceae  | 73            | 58              | 14,5          | 14         | 0,146              | 1,285663966        | 0,7                 | 3,448275862         | 0,029              | 1,722345954        | 2,152095 | -3,54046  | -0,10267 |
| Axonopus sp.  | Poaceae         | 159           | 72              | 18            | 6          | 0,318              | 2,800281789        | 0,3                 | 1,477832512         | 0,036              | 2,138084633        | 2,138733 | -3,32424  | -0,11967 |
| Rhynchospora seccoi C.S. Nunes, P.J.S. Silva Filho & A. Gil | Cyperaceae      | 303           | 16              | 4             | 2          | 0,606              | 5,336386051        | 0,1                 | 0,492610837         | 0,008              | 0,475129918        | 2,101376 | -4,82831  | -0,03863 |
| Sobralia liliastrum Lindl.                                  | Orchidaceae     | 41            | 89,5            | 22,375        | 11         | 0,082              | 0,722085241        | 0,55                | 2,709359606         | 0,04475            | 2,657757981        | 2,029734 | -3,10666  | -0,13902 |

|   |                  |     |      |       |    |       |             |      |             |         |             |          |          |          |
|---|------------------|-----|------|-------|----|-------|-------------|------|-------------|---------|-------------|----------|----------|----------|
| Mesosetum annuum Swallen                                | Poaceae          | 92  | 87   | 21,75 | 6  | 0,184 | 1,620288834 | 0,3  | 1,477832512 | 0,0435  | 2,583518931 | 1,89388  | -3,13499 | -0,13637 |
| Anemopaegma carajasense A.H. Gentry ex Firetti-Leggieri | Bignoniaceae     | 47  | 36   | 9     | 14 | 0,094 | 0,827756252 | 0,7  | 3,448275862 | 0,018   | 1,069042316 | 1,781691 | -4,01738 | -0,07231 |
| Dyckia duckei L.B.Sm.                                   | Bromeliaceae     | 149 | 52   | 13    | 4  | 0,298 | 2,624163438 | 0,2  | 0,985221675 | 0,026   | 1,544172235 | 1,717852 | -3,64966 | -0,09489 |
| Paspalum axillare Swallen                               | Poaceae          | 104 | 28   | 7     | 8  | 0,208 | 1,831630856 | 0,4  | 1,97044335  | 0,014   | 0,831477357 | 1,544517 | -4,2687  | -0,05976 |
| Ipomoea marabaensis D.F.Austin & Secco                  | Convolvulaceae   | 40  | 26,5 | 6,625 | 12 | 0,08  | 0,704473406 | 0,6  | 2,955665025 | 0,01325 | 0,786933927 | 1,482357 | -4,32376 | -0,05729 |
| Lippia grata Schauer                                    | Verbenaceae      | 34  | 50   | 12,5  | 9  | 0,068 | 0,598802395 | 0,45 | 2,216748768 | 0,025   | 1,484780995 | 1,433444 | -3,68888 | -0,09222 |
| Cissus erosa Rich.                                      | Vitaceae         | 27  | 20   | 5     | 11 | 0,054 | 0,475519549 | 0,55 | 2,709359606 | 0,01    | 0,593912398 | 1,259597 | -4,60517 | -0,04605 |
| Myrcia sp.  | Myrtaceae        | 50  | 71   | 17,75 | 3  | 0,1   | 0,880591758 | 0,15 | 0,738916256 | 0,0355  | 2,108389013 | 1,242632 | -3,33822 | -0,11851 |
| Axonopus longispicus (Döll) Kuhlm.                      | Poaceae          | 101 | 37   | 9,25  | 2  | 0,202 | 1,77879535  | 0,1  | 0,492610837 | 0,0185  | 1,098737936 | 1,123381 | -3,98998 | -0,07381 |
| Utricularia sp.   | Lentibulariaceae | 136 | 7    | 1,75  | 3  | 0,272 | 2,395209581 | 0,15 | 0,738916256 | 0,0035  | 0,207869339 | 1,113998 | -5,65499 | -0,01979 |
| Catasetum sp.   | Orchidaceae      | 23  | 14   | 3,5   | 10 | 0,046 | 0,405072209 | 0,5  | 2,463054187 | 0,007   | 0,415738679 | 1,094622 | -4,96185 | -0,03473 |
| Smilax sp.  | Smilacaceae      | 17  | 22   | 5,5   | 9  | 0,034 | 0,299401198 | 0,45 | 2,216748768 | 0,011   | 0,653303638 | 1,056485 | -4,50986 | -0,04961 |
| Erythroxylum sp.  | Erythroxylaceae  | 16  | 37   | 9,25  | 7  | 0,032 | 0,281789362 | 0,35 | 1,724137931 | 0,0185  | 1,098737936 | 1,034888 | -3,98998 | -0,07381 |
| Borreria carajasensis E.L.Cabral & L.M.M                | Rubiaceae        | 64  | 33   | 8,25  | 4  | 0,128 | 1,12715745  | 0,2  | 0,985221675 | 0,0165  | 0,979955457 | 1,030778 | -4,10439 | -0,06772 |
| Mimosa sp.  | Fabaceae         | 41  | 30   | 7,5   | 5  | 0,082 | 0,722085241 | 0,25 | 1,231527094 | 0,015   | 0,890868597 | 0,94816  | -4,19971 | -0,063   |
| Alchornea discolor Poepp.                               | Euphorbiaceae    | 17  | 32   | 8     | 6  | 0,034 | 0,299401198 | 0,3  | 1,477832512 | 0,016   | 0,950259837 | 0,909165 | -4,13517 | -0,06616 |
| Eugenia sp.   | Myrtaceae        | 42  | 30   | 7,5   | 4  | 0,084 | 0,739697076 | 0,2  | 0,985221675 | 0,015   | 0,890868597 | 0,871929 | -4,19971 | -0,063   |
| Paspalum reticulinerve Renvoize                         | Poaceae          | 45  | 22   | 5,5   | 3  | 0,09  | 0,792532582 | 0,15 | 0,738916256 | 0,011   | 0,653303638 | 0,728251 | -4,50986 | -0,04961 |
| Mandevilla sp.  | Apocynaceae      | 30  | 13   | 3,25  | 5  | 0,06  | 0,528355055 | 0,25 | 1,231527094 | 0,0065  | 0,386043059 | 0,715308 | -5,03595 | -0,03273 |
| Mimosa skinneri Benth.                                  | Fabaceae         | 7   | 51   | 12,75 | 2  | 0,014 | 0,123282846 | 0,1  | 0,492610837 | 0,0255  | 1,514476615 | 0,710123 | -3,66908 | -0,09356 |
| Eriocaulaceae sp.                                       | Eriocaulaceae    | 47  | 9    | 2,25  | 4  | 0,094 | 0,827756252 | 0,2  | 0,985221675 | 0,0045  | 0,267260579 | 0,693413 | -5,40368 | -0,02432 |
| Bauhinia sp.  | Fabaceae         | 6   | 58   | 14,5  | 1  | 0,012 | 0,105671011 | 0,05 | 0,246305419 | 0,029   | 1,722345954 | 0,691441 | -3,54046 | -0,10267 |
| Syagrus sp.   | Arecaceae        | 8   | 28   | 7     | 3  | 0,016 | 0,140894681 | 0,15 | 0,738916256 | 0,014   | 0,831477357 | 0,570429 | -4,2687  | -0,05976 |
| Malpighiaceae sp.                                       | Malpighiaceae    | 14  | 7    | 1,75  | 5  | 0,028 | 0,246565692 | 0,25 | 1,231527094 | 0,0035  | 0,207869339 | 0,561987 | -5,65499 | -0,01979 |
| Crotalaria sp.  | Fabaceae         | 9   | 5    | 1,25  | 5  | 0,018 | 0,158506516 | 0,25 | 1,231527094 | 0,0025  | 0,148478099 | 0,512837 | -5,99146 | -0,01498 |
| Buchnera carajasensis Scatigna & N.Mota                 | Orobanchaceae    | 20  | 17   | 4,25  | 2  | 0,04  | 0,352236703 | 0,1  | 0,492610837 | 0,0085  | 0,504825538 | 0,449891 | -4,76769 | -0,04053 |
| Periandra sp.   | Fabaceae         | 14  | 12   | 3     | 3  | 0,028 | 0,246565692 | 0,15 | 0,738916256 | 0,006   | 0,356347439 | 0,447276 | -5,116   | -0,0307  |
| Poaceae sp.   | Poaceae          | 13  | 12   | 3     | 3  | 0,026 | 0,228953857 | 0,15 | 0,738916256 | 0,006   | 0,356347439 | 0,441406 | -5,116   | -0,0307  |

|   |                 |    |     |       |   |       |             |      |             |         |             |          |          |          |
|---|-----------------|----|-----|-------|---|-------|-------------|------|-------------|---------|-------------|----------|----------|----------|
| Orchidaceae sp.   | Orchidaceae     | 10 | 5   | 1,25  | 4 | 0,02  | 0,176118352 | 0,2  | 0,985221675 | 0,0025  | 0,148478099 | 0,436606 | -5,99146 | -0,01498 |
| Scleria sp.   | Cyperaceae      | 7  | 22  | 5,5   | 2 | 0,014 | 0,123282846 | 0,1  | 0,492610837 | 0,011   | 0,653303638 | 0,423066 | -4,50986 | -0,04961 |
| Turnera glaziovii   | Turneraceae     | 7  | 5   | 1,25  | 4 | 0,014 | 0,123282846 | 0,2  | 0,985221675 | 0,0025  | 0,148478099 | 0,418994 | -5,99146 | -0,01498 |
| Myrcia multiflora (Lam.) DC.  | Myrtaceae       | 6  | 9   | 2,25  | 3 | 0,012 | 0,105671011 | 0,15 | 0,738916256 | 0,0045  | 0,267260579 | 0,370616 | -5,40368 | -0,02432 |
| Paspalum sp.  | Poaceae         | 8  | 11  | 2,75  | 2 | 0,016 | 0,140894681 | 0,1  | 0,492610837 | 0,0055  | 0,326651819 | 0,320052 | -5,20301 | -0,02862 |
| Vellozia glauca   | Velloziaceae    | 16 | 12  | 3     | 1 | 0,032 | 0,281789362 | 0,05 | 0,246305419 | 0,006   | 0,356347439 | 0,294814 | -5,116   | -0,0307  |
| Tibouchina sp.  | Melastomataceae | 9  | 15  | 3,75  | 1 | 0,018 | 0,158506516 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0075  | 0,445434298 | 0,283415 | -4,89285 | -0,0367  |
| Axonopus capillaris (Lam.) Chase  | Poaceae         | 16 | 10  | 2,5   | 1 | 0,032 | 0,281789362 | 0,05 | 0,246305419 | 0,005   | 0,296956199 | 0,275017 | -5,29832 | -0,02649 |
| Burmannia flava Mart.   | Burmanniaceae   | 13 | 2   | 0,5   | 2 | 0,026 | 0,228953857 | 0,1  | 0,492610837 | 0,001   | 0,05939124  | 0,260319 | -6,90776 | -0,00691 |
| Indet 1   |                 | 16 | 7   | 1,75  | 1 | 0,032 | 0,281789362 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0035  | 0,207869339 | 0,245321 | -5,65499 | -0,01979 |
| Chamaecrista sp.  | Fabaceae        | 4  | 3   | 0,75  | 2 | 0,008 | 0,070447341 | 0,1  | 0,492610837 | 0,0015  | 0,08908686  | 0,217382 | -6,50229 | -0,00975 |
| Indet 2   |                 | 2  | 2,5 | 0,625 | 2 | 0,004 | 0,03522367  | 0,1  | 0,492610837 | 0,00125 | 0,07423905  | 0,200691 | -6,68461 | -0,00836 |
| Norantea guianensis Aubl.   | Marcgraviaceae  | 2  | 2   | 0,5   | 2 | 0,004 | 0,03522367  | 0,1  | 0,492610837 | 0,001   | 0,05939124  | 0,195742 | -6,90776 | -0,00691 |
| Caamembeca spectabilis (DC.) J.F.B. Trichantheum cyanescens (Nees ex Trin.) Zuloaga & Morrone | Polygalaceae    | 7  | 5   | 1,25  | 1 | 0,014 | 0,123282846 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0025  | 0,148478099 | 0,172689 | -5,99146 | -0,01498 |
| Miconia discolor DC.  | Poaceae         | 10 | 3   | 0,75  | 1 | 0,02  | 0,176118352 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0015  | 0,08908686  | 0,170504 | -6,50229 | -0,00975 |
| Miconia discolor DC.  | Melastomataceae | 4  | 6   | 1,5   | 1 | 0,008 | 0,070447341 | 0,05 | 0,246305419 | 0,003   | 0,178173719 | 0,164975 | -5,80914 | -0,01743 |
| Senega adenophora (DC.) J.F.B.Pastore   | Polygalaceae    | 12 | 1   | 0,25  | 1 | 0,024 | 0,211342022 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0005  | 0,02969562  | 0,162448 | -7,6009  | -0,0038  |
| Cyperaceae sp.  | Cyperaceae      | 3  | 5   | 1,25  | 1 | 0,006 | 0,052835505 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0025  | 0,148478099 | 0,149206 | -5,99146 | -0,01498 |
| Heisteria ovata   | Olacaceae       | 3  | 4   | 1     | 1 | 0,006 | 0,052835505 | 0,05 | 0,246305419 | 0,002   | 0,11878248  | 0,139308 | -6,21461 | -0,01243 |
| Erythroxylaceae sp.   | Erythroxylaceae | 1  | 5   | 1,25  | 1 | 0,002 | 0,017611835 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0025  | 0,148478099 | 0,137465 | -5,99146 | -0,01498 |
| Trachypogon spicatus (L.f.) Kuntze  | Poaceae         | 6  | 2   | 0,5   | 1 | 0,012 | 0,105671011 | 0,05 | 0,246305419 | 0,001   | 0,05939124  | 0,137123 | -6,90776 | -0,00691 |
| Xyris brachysepala Kral   | Xyridaceae      | 7  | 1   | 0,25  | 1 | 0,014 | 0,123282846 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0005  | 0,02969562  | 0,133095 | -7,6009  | -0,0038  |
| Indet 3   |                 | 1  | 3   | 0,75  | 1 | 0,002 | 0,017611835 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0015  | 0,08908686  | 0,117668 | -6,50229 | -0,00975 |
| Mandevilla tenuifolia (J.C.Mikan) Woodson   | Apocynaceae     | 3  | 1   | 0,25  | 1 | 0,006 | 0,052835505 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0005  | 0,02969562  | 0,109612 | -7,6009  | -0,0038  |
| Dioscorea   | Dioscoreaceae   | 1  | 2   | 0,5   | 1 | 0,002 | 0,017611835 | 0,05 | 0,246305419 | 0,001   | 0,05939124  | 0,107769 | -6,90776 | -0,00691 |
| Jacaranda ulei Bureau & K.Schum.  | Bignoniaceae    | 1  | 2   | 0,5   | 1 | 0,002 | 0,017611835 | 0,05 | 0,246305419 | 0,001   | 0,05939124  | 0,107769 | -6,90776 | -0,00691 |
| Anthurium sp.   | Araceae         | 1  | 1   | 0,25  | 1 | 0,002 | 0,017611835 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0005  | 0,02969562  | 0,097871 | -7,6009  | -0,0038  |
| Dioclea sp.   | Fabaceae        | 1  | 1   | 0,25  | 1 | 0,002 | 0,017611835 | 0,05 | 0,246305419 | 0,0005  | 0,02969562  | 0,097871 | -7,6009  | -0,0038  |

|                    |               |             |               |                |            |               |             |             |             |                |            |          |         |         |
|--------------------|---------------|-------------|---------------|----------------|------------|---------------|-------------|-------------|-------------|----------------|------------|----------|---------|---------|
| Euphorbiaceae sp.  | Euphorbiaceae | 1           | 1             | 0,25           | 1          | 0,002         | 0,017611835 | 0,05        | 0,246305419 | 0,0005         | 0,02969562 | 0,097871 | -7,6009 | -0,0038 |
| <b>Total Geral</b> |               | <b>5678</b> | <b>3367,5</b> | <b>841,875</b> | <b>406</b> | <b>11,356</b> | <b>100</b>  | <b>20,3</b> | <b>100</b>  | <b>1,68375</b> | <b>100</b> |          |         |         |

**Tabela 6** Tabela de vida do Capão na Serra de Campos em São Félix do Xingu, Pará. ( $H' = -5,77269$ ;  $E = -1,50777$ )

| Espécie                               | Família         | Densidade<br>( $\Sigma$ ) | Frequência<br>( $\Sigma$ ) | Dominância<br>( $\Sigma$ ) | Dominância<br>(m) | Densidade<br>Absoluta | Densidade<br>Relativa | Frequência<br>Absoluta | Frequência<br>Relativa | Dominância<br>Absoluta | Dominância<br>Relativa | VI       | Log Ln<br>Di | H'       |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|--------------|----------|
| Aparisthium cordatum (A.Juss.) Baill. | Euphorbiaceae   | 116                       | 17                         | 2171,2                     | 0,217120          | 580                   | 21,01449275           | 0,85                   | 9,139784946            | 1,0856                 | 16,22170056            | 15,45866 | 0,082133     | 0,089163 |
| Protium sp.                           | Burseraceae     | 55                        | 11                         | 2004,6                     | 0,200460          | 275                   | 9,963768116           | 0,55                   | 5,913978495            | 1,0023                 | 14,9769809             | 10,28491 | 0,002297     | 0,002303 |
| Indet                                 |                 | 50                        | 16                         | 1216,4                     | 0,121640          | 250                   | 9,057971014           | 0,8                    | 8,602150538            | 0,6082                 | 9,088097163            | 8,916073 | -0,49725     | -0,30243 |
| Fabaceae sp.                          | Fabaceae        | 43                        | 16                         | 1071,2                     | 0,107120          | 215                   | 7,789855072           | 0,8                    | 8,602150538            | 0,5356                 | 8,003263467            | 8,131756 | -0,62437     | -0,33441 |
| Myrtaceae sp.                         | Myrtaceae       | 56                        | 12                         | 1041,2                     | 0,104120          | 280                   | 10,14492754           | 0,6                    | 6,451612903            | 0,5206                 | 7,779124273            | 8,125222 | -0,65277     | -0,33983 |
| Mabea angustifolia Spruce ex Benth.   | Euphorbiaceae   | 43                        | 12                         | 739,9                      | 0,073990          | 215                   | 7,789855072           | 0,6                    | 6,451612903            | 0,36995                | 5,528019641            | 6,589829 | -0,99439     | -0,36787 |
| Inga sp.                              | Fabaceae        | 20                        | 10                         | 798,7                      | 0,079870          | 100                   | 3,623188406           | 0,5                    | 5,376344086            | 0,39935                | 5,96733246             | 4,988955 | -0,91792     | -0,36657 |
| Vismia guianensis (Aubl.) Choisy      | Hypericaceae    | 22                        | 9                          | 648,3                      | 0,064830          | 110                   | 3,985507246           | 0,45                   | 4,838709677            | 0,32415                | 4,84364797             | 4,555955 | -1,12655     | -0,36517 |
| Myrcia bracteata (Rich.) DC.          | Myrtaceae       | 21                        | 11                         | 312,9                      | 0,031290          | 105                   | 3,804347826           | 0,55                   | 5,913978495            | 0,15645                | 2,337771787            | 4,018699 | -1,85502     | -0,29022 |
| Connarus sp.                          | Connaraceae     | 26                        | 7                          | 469,94                     | 0,046994          | 130                   | 4,710144928           | 0,35                   | 3,76344086             | 0,23497                | 3,511065752            | 3,994884 | -1,4483      | -0,34031 |
| Sloanea guianensis (Aubl.) Benth.     | Elaeocarpaceae  | 21                        | 6                          | 480,3                      | 0,048030          | 105                   | 3,804347826           | 0,3                    | 3,225806452            | 0,24015                | 3,588468487            | 3,539541 | -1,42649     | -0,34257 |
| Jacaranda copaia (Aubl.) D.Don        | Bignoniaceae    | 10                        | 6                          | 497                        | 0,049700          | 50                    | 1,811594203           | 0,3                    | 3,225806452            | 0,2485                 | 3,713239304            | 2,91688  | -1,39231     | -0,34599 |
| Casearia sp.                          | Salicaceae      | 9                         | 5                          | 152,5                      | 0,015250          | 45                    | 1,630434783           | 0,25                   | 2,688172043            | 0,07625                | 1,139374233            | 1,819327 | -2,57374     | -0,19625 |
| Caryocaraceae sp.                     | Caryocaraceae   | 4                         | 4                          | 255,5                      | 0,025550          | 20                    | 0,724637681           | 0,2                    | 2,150537634            | 0,12775                | 1,908918797            | 1,594698 | -2,05768     | -0,26287 |
| Cecropia distachya Huber              | Urticaceae      | 4                         | 3                          | 207,4                      | 0,020740          | 20                    | 0,724637681           | 0,15                   | 1,612903226            | 0,1037                 | 1,549548957            | 1,295697 | -2,26625     | -0,23501 |
| Chrysophyllum sp.                     | Sapotaceae      | 4                         | 2                          | 228,1                      | 0,022810          | 20                    | 0,724637681           | 0,1                    | 1,075268817            | 0,11405                | 1,704205001            | 1,168037 | -2,17112     | -0,24762 |
| Mabea fistulifera Mart.               | Euphorbiaceae   | 4                         | 4                          | 83,2                       | 0,008320          | 20                    | 0,724637681           | 0,2                    | 2,150537634            | 0,0416                 | 0,621612696            | 1,165596 | -3,17966     | -0,13227 |
| Melastomataceae sp.                   | Melastomataceae | 4                         | 3                          | 60,6                       | 0,006060          | 20                    | 0,724637681           | 0,15                   | 1,612903226            | 0,0303                 | 0,452761171            | 0,930101 | -3,49661     | -0,10595 |
| Annonaceae sp.                        | Annonaceae      | 3                         | 3                          | 55,4                       | 0,005540          | 15                    | 0,543478261           | 0,15                   | 1,612903226            | 0,0277                 | 0,413910377            | 0,856764 | -3,58632     | -0,09934 |
| Sterculia sp.                         | Malvaceae       | 2                         | 2                          | 108                        | 0,010800          | 10                    | 0,362318841           | 0,1                    | 1,075268817            | 0,054                  | 0,806901096            | 0,748163 | -2,91877     | -0,15761 |

|  |                 |            |   |                 |                 |             |             |            |             |                |             |          |          |          |
|--|-----------------|------------|---|-----------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|----------------|-------------|----------|----------|----------|
| Byrsonima crispa A.Juss.                                     | Malpighiaceae   | 3          | 2 | 77,2            | 0,007720        | 15          | 0,543478261 | 0,1        | 1,075268817 | 0,0386         | 0,576784858 | 0,731844 | -3,2545  | -0,12562 |
| Bauhinia sp.   | Fabaceae        | 5          | 1 | 60,8            | 0,006080        | 25          | 0,905797101 | 0,05       | 0,537634409 | 0,0304         | 0,454255432 | 0,632562 | -3,49331 | -0,1062  |
| Cassia fastuosa Willd. ex Benth.                             | Fabaceae        | 2          | 1 | 52,8            | 0,005280        | 10          | 0,362318841 | 0,05       | 0,537634409 | 0,0264         | 0,39448498  | 0,431479 | -3,63439 | -0,09595 |
| Brosimum rubescens Taub.                                     | Moraceae        | 1          | 1 | 68              | 0,006800        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,034          | 0,508048838 | 0,408948 | -3,38139 | -0,11497 |
| Mezilaurus itauba (Meisn.) Taub. ex Mez                      | Lauraceae       | 2          | 1 | 36,1            | 0,003610        | 10          | 0,362318841 | 0,05       | 0,537634409 | 0,01805        | 0,269714163 | 0,389889 | -4,01461 | -0,07246 |
| Indet 2  |                 | 2          | 1 | 28,5            | 0,002850        | 10          | 0,362318841 | 0,05       | 0,537634409 | 0,01425        | 0,212932234 | 0,370962 | -4,251   | -0,06058 |
| Rubiaceae sp.  | Rubiaceae       | 1          | 1 | 49,3            | 0,004930        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,02465        | 0,368335408 | 0,362376 | -3,70298 | -0,09128 |
| Annona sp.   | Annonaceae      | 1          | 1 | 47,1            | 0,004710        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,02355        | 0,351898534 | 0,356897 | -3,74863 | -0,08828 |
| Lacunaria jenmanii (Oliv.) Ducke                             | Ochnaceae       | 1          | 1 | 40,8            | 0,004080        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,0204         | 0,304829303 | 0,341208 | -3,89222 | -0,0794  |
| Cochlospermum regium (Mart. ex Schrank) Pilg.                | Bixaceae        | 1          | 1 | 29              | 0,002900        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,0145         | 0,216667887 | 0,311821 | -4,23361 | -0,06139 |
| Vitex polygama Cham.   | Lamiaceae       | 1          | 1 | 29              | 0,002900        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,0145         | 0,216667887 | 0,311821 | -4,23361 | -0,06139 |
| Bactris sp.  | Arecaceae       | 1          | 1 | 27,7            | 0,002770        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,01385        | 0,206955189 | 0,308583 | -4,27947 | -0,05927 |
| Indet 3  |                 | 1          | 1 | 24              | 0,002400        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,012          | 0,179311355 | 0,299368 | -4,42285 | -0,05307 |
| Theobroma speciosum Willd. ex Spreng.                        | Malvaceae       | 1          | 1 | 23,4            | 0,002340        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,0117         | 0,174828571 | 0,297874 | -4,44817 | -0,05204 |
| Sterculia excelsa Mart.                                      | Malvaceae       | 1          | 1 | 20              | 0,002000        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,01           | 0,149426129 | 0,289407 | -4,60517 | -0,04605 |
| Erythroxylum sp.   | Erythroxylaceae | 1          | 1 | 18,7            | 0,001870        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,00935        | 0,139713431 | 0,286169 | -4,67238 | -0,04369 |
| Neea oppositifolia Ruiz & Pav.                               | Nyctaginaceae   | 1          | 1 | 18,7            | 0,001870        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,00935        | 0,139713431 | 0,286169 | -4,67238 | -0,04369 |
| Pachira insignis   | Malvaceae       | 1          | 1 | 17,8            | 0,001780        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,0089         | 0,132989255 | 0,283928 | -4,7217  | -0,04202 |
| Lacmellea arborescens (Müll.Arg.) Markgr.                    | Apocynaceae     | 1          | 1 | 16,4            | 0,001640        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,0082         | 0,122529426 | 0,280441 | -4,80362 | -0,03939 |
| Bauhinia longicuspis Benth.                                  | Fabaceae        | 1          | 1 | 16              | 0,001600        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,008          | 0,119540903 | 0,279445 | -4,82831 | -0,03863 |
| Endopleura uchi (Huber) Cuatrec.                             | Humiriaceae     | 1          | 1 | 15,5            | 0,001550        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,00775        | 0,11580525  | 0,2782   | -4,86006 | -0,03767 |
| Tachigali sp.  | Fabaceae        | 1          | 1 | 15,5            | 0,001550        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,00775        | 0,11580525  | 0,2782   | -4,86006 | -0,03767 |
| Guatteria sp.  | Annonaceae      | 1          | 1 | 14              | 0,001400        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,007          | 0,10459829  | 0,274464 | -4,96185 | -0,03473 |
| Schefflera morototoni (Aubl.) Maguire et al. var. morototoni | Araliaceae      | 1          | 1 | 12,9            | 0,001290        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,00645        | 0,096379853 | 0,271725 | -5,04368 | -0,03253 |
| Aniba ferrea Kubitzki  | Lauraceae       | 1          | 1 | 12,5            | 0,001250        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,00625        | 0,093391331 | 0,270728 | -5,07517 | -0,03172 |
| Rutaceae sp.   | Rutaceae        | 1          | 1 | 10,5            | 0,001050        | 5           | 0,18115942  | 0,05       | 0,537634409 | 0,00525        | 0,078448718 | 0,265748 | -5,24953 | -0,02756 |
| <b>Total Geral</b>   |                 | <b>552</b> |   | <b>13384,54</b> | <b>1,338454</b> | <b>2760</b> | <b>100</b>  | <b>9,3</b> | <b>100</b>  | <b>6,69227</b> | <b>100</b>  |          |          |          |

**Tabela 5** Tabela de atributos físicos e químicos dos solos superficiais das parcelas amostradas na Serra de Campos em São Félix do Xingú, Pará.

| Perfil | Parcela | Prof.<br>(cm) | Areia  | Areia | Silte | Argila | Textura                   | pH<br>H <sub>2</sub> O | pH<br>KCl | P     | K   | Na    | Ca <sup>2+</sup>          | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al                                     | SB   | t    | T     | V    | m    | ISNa          | MO    | P_Rem  | Cu   | Mn                             | Fe     | Zn   | Cr   | Ni   | Cd   | Pb   |
|--------|---------|---------------|--------|-------|-------|--------|---------------------------|------------------------|-----------|-------|-----|-------|---------------------------|------------------|------------------|--|------|------|-------|------|------|---------------|-------|--------|------|--------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
|        |         |               | Grossa | Fina  |       |        |                           |                        |           | Kg/Kg |     |       | ---mg/dm <sup>3</sup> --- |                  |                  | cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ----- |      |      |       |      |      | ----- % ----- |       | dag/kg | mg/L | ----- mg/dm <sup>3</sup> ----- |        |      |      |      |      |      |
| CAP    | 1       | 40-25         | 0,292  | 0,046 | 0,29  | 0,372  | Franco-Argilosa           | 4,25                   | 3,99      | 4,8   | 51  | 15,13 | 0,43                      | 0,12             | 1,34             | 17,8                                     | 0,75 | 2,09 | 18,55 | 4    | 64,1 | 0,35          | 10,3  | 5,3    | 0,2  | 11,5                           | 96,9   | 1,52 | 0,23 | 0,54 | 0,14 | 1,12 |
| CAP    | 2       | 15-42         | 0,27   | 0,038 | 0,317 | 0,375  | Franco-Argilosa           | 4,23                   | 3,95      | 4,3   | 44  | 15,16 | 0,19                      | 0,1              | 1,4              | 17,5                                     | 0,47 | 1,87 | 17,97 | 2,6  | 74,9 | 0,37          | 10,26 | 11,6   | 0,21 | 10,2                           | 120,1  | 1,2  | 0,17 | 0    | 0,13 | 0,78 |
| CAP    | 3       | 63-88         | 0,579  | 0,032 | 0,143 | 0,246  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 3,89                   | 3,47      | 2,1   | 59  | 12,52 | 0,32                      | 0,12             | 2,43             | 23,9                                     | 0,65 | 3,08 | 24,55 | 2,6  | 78,9 | 0,22          | 5,89  | 12,9   | 0,34 | 10,6                           | 306,1  | 2,64 | 0    | 0    | 0,19 | 0,8  |
| CAP    | 4       | 27-38         | 0,403  | 0,084 | 0,216 | 0,298  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 3,96                   | 3,72      | 3,4   | 68  | 16    | 0,22                      | 0,16             | 1,7              | 18,6                                     | 0,62 | 2,32 | 19,22 | 3,2  | 73,3 | 0,36          | 9,55  | 13,8   | 0,37 | 34                             | 228,4  | 1,32 | 0    | 0    | 0,13 | 0,59 |
| CAP    | 5       | 27-39         | 0,341  | 0,087 | 0,356 | 0,216  | Franca                    | 4,88                   | 4,42      | 3,3   | 49  | 14,98 | 3,09                      | 0,39             | 0,26             | 12,2                                     | 3,67 | 3,93 | 15,87 | 23,1 | 6,6  | 0,41          | 7,73  | 8,9    | 0,4  | 80,9                           | 76     | 1,77 | 0,33 | 0,96 | 0,08 | 0,64 |
| CAP    | 6       | 13-45         | 0,412  | 0,079 | 0,213 | 0,296  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 3,74                   | 3,67      | 2,8   | 59  | 15,08 | 0,26                      | 0,13             | 1,74             | 18,1                                     | 0,61 | 2,35 | 18,71 | 3,3  | 74   | 0,35          | 8,51  | 11,8   | 0,41 | 34,6                           | 734,5  | 6,22 | 0,34 | 0,38 | 0,2  | 0,87 |
| CAP    | 7       | 17-58         | 0,464  | 0,062 | 0,209 | 0,265  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 3,9                    | 3,68      | 3,4   | 63  | 13,4  | 0,28                      | 0,16             | 1,9              | 18,9                                     | 0,66 | 2,56 | 19,56 | 3,4  | 74,2 | 0,3           | 10,57 | 11,1   | 0,31 | 23,7                           | 239    | 1,7  | 0,04 | 0,43 | 0,17 | 0,64 |
| CAP    | 8       | 32-40         | 0,262  | 0,097 | 0,365 | 0,276  | Franco-Argilosa           | 3,95                   | 3,71      | 2,5   | 63  | 23,57 | 0,76                      | 0,28             | 2,31             | 22,2                                     | 1,3  | 3,61 | 23,5  | 5,5  | 64   | 0,44          | 11,54 | 9,7    | 0,36 | 43,3                           | 248,6  | 2,05 | 0,13 | 0,34 | 0,13 | 0,74 |
| CAP    | 9       | 12-57         | 0,286  | 0,083 | 0,455 | 0,176  | Franca                    | 3,84                   | 3,65      | 2,6   | 63  | 12,99 | 0,48                      | 0,15             | 1,82             | 17,6                                     | 0,85 | 2,67 | 18,45 | 4,6  | 68,2 | 0,31          | 7,56  | 11,3   | 0,28 | 34,2                           | 158,6  | 1,78 | 0,01 | 0,02 | 0,17 | 0,39 |
| CAP    | 10      | 39-52         | 0,27   | 0,075 | 0,384 | 0,271  | Franco-Argilosa           | 4,16                   | 3,72      | 2,6   | 55  | 14,92 | 0,26                      | 0,17             | 1,7              | 17,8                                     | 0,64 | 2,34 | 18,44 | 3,5  | 72,6 | 0,35          | 8,9   | 15,9   | 0,31 | 18,3                           | 204,2  | 1,2  | 0,12 | 0    | 0,13 | 0,7  |
| CAP    | 11      | 15-78         | 0,203  | 0,05  | 0,559 | 0,188  | Franco-Siltosa            | 4,24                   | 4,03      | 9     | 58  | 14,83 | 0,55                      | 0,13             | 1,03             | 15,4                                     | 0,89 | 1,92 | 16,29 | 5,5  | 53,6 | 0,4           | 7,32  | 6      | 0,76 | 23,2                           | 99,4   | 1,34 | 0,01 | 0,38 | 0,1  | 0,8  |
| CAP    | 12      | 27-75         | 0,405  | 0,047 | 0,254 | 0,294  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 4,04                   | 3,93      | 1,7   | 54  | 14,24 | 0,23                      | 0,12             | 1,16             | 13,4                                     | 0,55 | 1,71 | 13,95 | 3,9  | 67,8 | 0,44          | 8,78  | 15,2   | 0,3  | 12,2                           | 143,4  | 0,74 | 0,08 | 0,29 | 0,08 | 0,4  |
| CAP    | 13      | 32-73         | 0,448  | 0,037 | 0,331 | 0,185  | Franca                    | 3,99                   | 3,93      | 11,6  | 67  | 20,59 | 0,37                      | 0,14             | 1,48             | 16,5                                     | 0,77 | 2,25 | 17,27 | 4,5  | 65,8 | 0,52          | 8,99  | 5,7    | 0,77 | 16                             | 166    | 1,08 | 0,09 | 0,21 | 0,14 | 0,57 |
| CAP    | 14      | 15-68         | 0,273  | 0,074 | 0,33  | 0,323  | Franco-Argilosa           | 4                      | 4,12      | 6,7   | 56  | 21,2  | 0,23                      | 0,12             | 0,91             | 14,1                                     | 0,59 | 1,5  | 14,69 | 4    | 60,7 | 0,63          | 7,71  | 5,3    | 0,38 | 7,7                            | 140,2  | 1,09 | 0,23 | 0    | 0,16 | 0,85 |
| CAP    | 15      | 30-45         | 0,692  | 0,016 | 0,13  | 0,162  | Franco-Arenosa            | 3,97                   | 3,5       | 3,2   | 51  | 16,04 | 0,18                      | 0,11             | 2,17             | 17,8                                     | 0,49 | 2,66 | 18,29 | 2,7  | 81,6 | 0,38          | 8,17  | 17,8   | 0,19 | 10,2                           | 416,3  | 1,8  | 0,1  | 0    | 0,14 | 0,32 |
| CAP    | 16      | 34-19         | 0,486  | 0,044 | 0,177 | 0,293  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 3,84                   | 3,68      | 5,1   | 72  | 20,34 | 0,38                      | 0,14             | 2,05             | 20,4                                     | 0,79 | 2,84 | 21,19 | 3,7  | 72,2 | 0,42          | 9,32  | 11,6   | 0,23 | 15,6                           | 221,9  | 1,6  | 0,08 | 0,15 | 0,17 | 0,48 |
| CAP    | 17      | 18-38         | 0,63   | 0,031 | 0,128 | 0,211  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 4,06                   | 3,61      | 3,5   | 56  | 21,82 | 0,23                      | 0,14             | 2,01             | 17,9                                     | 0,61 | 2,62 | 18,51 | 3,3  | 76,7 | 0,51          | 8,36  | 22,6   | 0,17 | 12,5                           | 237,7  | 1,01 | 0    | 0    | 0,17 | 0,52 |
| CAP    | 18      | 10-26         | 0,554  | 0,037 | 0,189 | 0,22   | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 5,08                   | 3,73      | 3,7   | 58  | 19,34 | 0,21                      | 0,11             | 1,62             | 16,7                                     | 0,55 | 2,17 | 17,25 | 3,2  | 74,7 | 0,49          | 9,75  | 16     | 0,12 | 8,9                            | 229,1  | 1,39 | 0    | 0    | 0,15 | 0,69 |
| CAP    | 19      | 36-50         | 0,597  | 0,046 | 0,143 | 0,214  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 4,82                   | 3,67      | 3,1   | 64  | 20,61 | 0,41                      | 0,13             | 1,74             | 19,6                                     | 0,79 | 2,53 | 20,39 | 3,9  | 68,8 | 0,44          | 8,05  | 13,7   | 0,17 | 8,2                            | 238,7  | 1,18 | 0,07 | 0    | 0,16 | 0,69 |
| CAP    | 20      | 43 - 34       | 0,615  | 0,03  | 0,137 | 0,218  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 5,47                   | 3,7       | 3,3   | 60  | 19,28 | 0,21                      | 0,22             | 1,72             | 19,2                                     | 0,67 | 2,39 | 19,87 | 3,4  | 72   | 0,42          | 4,33  | 18,6   | 0,21 | 12,9                           | 294    | 2,12 | 0    | 0    | 0,11 | 0,9  |
| CRA    | 1       | 1-13          | 0,345  | 0,055 | 0,251 | 0,35   | Franco-Argilosa           | 4,1                    | 3,29      | 6,2   | 112 | 30,27 | 0,94                      | 0,51             | 2,67             | 20,2                                     | 1,87 | 4,54 | 22,07 | 8,5  | 58,8 | 0,6           | 16,72 | 14,4   | 0,26 | 8,9                            | 438,4  | 2,74 | 0    | 0    | 0,12 | 0,91 |
| CRA    | 2       | 1-23          | 0,329  | 0,042 | 0,271 | 0,358  | Franco-Argilosa           | 5,05                   | 3,35      | 4,5   | 103 | 23,45 | 2,47                      | 0,58             | 1,78             | 25,6                                     | 3,42 | 5,2  | 29,02 | 11,8 | 34,2 | 0,35          | 17,28 | 17,6   | 0,18 | 41,5                           | 362,6  | 4,57 | 0    | 0,01 | 0,14 | 1    |
| CRA    | 3       | 1-10          | 0,479  | 0,031 | 0,125 | 0,365  | Argilo-Arenosa            | 4,21                   | 3,19      | 7     | 176 | 30,27 | 4,32                      | 1,02             | 1,5              | 37,6                                     | 5,92 | 7,42 | 43,52 | 13,6 | 20,2 | 0,3           | 13,13 | 21,2   | 0,52 | 44,5                           | 584,9  | 8,47 | 0,12 | 0,61 | 0,16 | 1,51 |
| CRA    | 4       | 3-13,5        | 0,546  | 0,015 | 0,095 | 0,344  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 4,07                   | 3,1       | 5,3   | 80  | 16,05 | 0,02                      | 0,05             | 1,6              | 21,6                                     | 0,34 | 1,94 | 21,94 | 1,5  | 82,5 | 0,32          | 11,94 | 20,8   | 0,28 | 7,1                            | 538,1  | 2,03 | 0    | 0    | 0,15 | 0,59 |
| CRA    | 5       | 1-16          | 0,499  | 0,055 | 0,18  | 0,266  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 3,6                    | 2,56      | 7,9   | 175 | 33,07 | 2,03                      | 0,79             | 3,79             | 37,7                                     | 3,41 | 7,2  | 41,11 | 8,3  | 52,6 | 0,35          | 20,18 | 23,5   | 0,3  | 35,7                           | 560    | 7,16 | 0    | 0    | 0,18 | 0,84 |
| CRA    | 6       | 1-15          | 0,516  | 0,039 | 0,172 | 0,273  | Franco-Argilo-<br>Arenosa | 3,71                   | 2,86      | 4,7   | 102 | 16,24 | 2,18                      | 0,33             | 2,45             | 47,5                                     | 2,84 | 5,29 | 50,34 | 5,6  | 46,3 | 0,14          | 28,86 | 16,8   | 0,21 | 25,8                           | 1010,4 | 3,87 | 0,12 | 0,19 | 0,18 | 0,75 |

|     |    |       |       |       |       |       |                 |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
|-----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|------|------|------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|--|--|
| CRA | 7  | 3-20  | 0,367 | 0,031 | 0,284 | 0,318 | Franco-Argilosa | 3,7  | 2,64 | 5,4  | 266 | 38,67 | 2,58 | 1,25 | 3,87 | 63,1 | 4,68 | 8,55 | 67,78 | 6,9  | 45,3 | 0,25 | 31,82 | 22,6 | 0,47 | 43,9 | 989,2  | 8,75 | 0    | 0    | 0,21 | 0,97 |  |  |
| CRA | 8  | 4-12  | 0,251 | 0,06  | 0,295 | 0,393 | Franco-Argilosa | 3,84 | 2,74 | 5,5  | 160 | 40    | 0,9  | 0,6  | 3,24 | 45,2 | 2,08 | 5,32 | 47,28 | 4,4  | 60,9 | 0,37 | 24,52 | 19,7 | 0,28 | 12,2 | 723,9  | 4,03 | 0    | 0    | 0,19 | 0,74 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRA | 9  | 4-13  | 0,545 | 0,013 | 0,114 | 0,327 | Arenosa         | 4    | 2,96 | 5,6  | 106 | 19,74 | 3,43 | 1,34 | 1,99 | 31,3 | 5,13 | 7,12 | 36,43 | 14,1 | 27,9 | 0,24 | 20    | 18,2 | 0,34 | 19,9 | 1028,6 | 5,01 | 0,09 | 0,67 | 0,15 | 0,81 |  |  |
| CRA | 10 | 3-7   | 0,247 | 0,037 | 0,21  | 0,507 | Argila          | 3,82 | 3,31 | 3,3  | 114 | 19,55 | 0,86 | 0,31 | 2,8  | 40,9 | 1,55 | 4,35 | 42,45 | 3,7  | 64,4 | 0,2  | 35,44 | 5,6  | 0,44 | 8,8  | 1943,6 | 3    | 0,26 | 0,22 | 0,17 | 0,99 |  |  |
| CRA | 11 | 3-8   | 0,39  | 0,029 | 0,197 | 0,383 | Franco-Argilosa | 3,71 | 2,83 | 10,2 | 613 | 33,99 | 3,39 | 1,05 | 2,55 | 56,8 | 6,16 | 8,71 | 62,96 | 9,8  | 29,3 | 0,23 | 40,2  | 11   | 0,66 | 35,3 | 1573,5 | 9,15 | 0,05 | 0,81 | 0,17 | 1,2  |  |  |
| CRA | 12 | 6-8   | 0,67  | 0,008 | 0,141 | 0,182 | Franco-Arenosa  | 3,88 | 2,86 | 5    | 87  | 18,29 | 3,2  | 0,93 | 1,66 | 29,5 | 4,43 | 6,09 | 33,93 | 13,1 | 27,3 | 0,23 | 14,27 | 32   | 0,45 | 18,3 | 726,9  | 3,72 | 0    | 0,01 | 0,13 | 0,6  |  |  |
| CRA | 13 | 15-25 | 0,233 | 0,065 | 0,305 | 0,397 | Franco-Argilosa | 3,73 | 3,2  | 4    | 80  | 13,31 | 0,45 | 0,17 | 1,99 | 25,1 | 0,88 | 2,87 | 25,98 | 3,4  | 69,3 | 0,22 | 17,95 | 15,4 | 0,39 | 5,9  | 540    | 2,57 | 0    | 0    | 0,19 | 0,8  |  |  |
| CRA | 14 | 3-15  | 0,116 | 0,045 | 0,317 | 0,523 | Argila          | 4,75 | 3,64 | 2,2  | 174 | 28,27 | 0,64 | 0,44 | 1,52 | 37,7 | 1,65 | 3,17 | 39,35 | 4,2  | 47,9 | 0,31 | 16,08 | 1,7  | 0,75 | 12,2 | 3027,8 | 3,16 | 0,26 | 0,52 | 0,17 | 0,61 |  |  |
| CRA | 15 | 3-9   | 0,166 | 0,041 | 0,446 | 0,346 | Franco-Argilosa | 4,98 | 3,87 | 1,9  | 98  | 25,5  | 0,35 | 0,24 | 0,81 | 27,7 | 0,95 | 1,76 | 28,65 | 3,3  | 46   | 0,39 | 5,88  | 5,4  | 0,76 | 5,1  | 3137,6 | 2,35 | 0    | 0    | 0,17 | 0,48 |  |  |
| CRA | 16 | 4-7,5 | 0,342 | 0,033 | 0,306 | 0,318 | Franco-Argilosa | 3,95 | 4,11 | 1,7  | 52  | 14,81 | 0,16 | 0,13 | 0,2  | 12,7 | 0,49 | 0,69 | 13,19 | 3,7  | 29   | 0,49 | 8,52  | 10,1 | 0,27 | 2,1  | 1176,7 | 1,04 | 0    | 0    | 0,15 | 0,43 |  |  |
| CRA | 17 | 1-6,5 | 0,199 | 0,062 | 0,337 | 0,402 | Argila          | 4,01 | 2,91 | 3,5  | 92  | 18,72 | 2,41 | 0,81 | 2,05 | 38,1 | 3,54 | 5,59 | 41,64 | 8,5  | 36,7 | 0,2  | 8,64  | 16   | 0,29 | 21,4 | 953,2  | 4,62 | 0    | 0    | 0,17 | 0,89 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRA | 18 | 7-16  | 0,475 | 0,028 | 0,19  | 0,307 | Arenosa         | 3,61 | 2,62 | 6,3  | 139 | 26,39 | 2,07 | 0,54 | 3,12 | 54,2 | 3,08 | 6,2  | 57,28 | 5,4  | 50,3 | 0,2  | 29,03 | 18,4 | 0,46 | 15,1 | 1094,7 | 4,12 | 0,05 | 0,05 | 0,17 | 0,74 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRA | 19 | 5-10  | 0,438 | 0,042 | 0,208 | 0,311 | Arenosa         | 3,68 | 2,85 | 15,8 | 358 | 31,06 | 4,2  | 1,23 | 2,35 | 46,9 | 6,48 | 8,83 | 53,38 | 12,1 | 26,6 | 0,25 | 31,89 | 18   | 0,54 | 34,9 | 955,7  | 8,1  | 0,47 | 0,36 | 0,18 | 1,12 |  |  |
| CRA | 20 | 8-29  | 0,266 | 0,072 | 0,22  | 0,442 | Argila          | 3,61 | 2,95 | 2,9  | 87  | 17,9  | 1,69 | 0,51 | 2,39 | 32,5 | 2,5  | 4,89 | 35    | 7,1  | 48,9 | 0,22 | 27,49 | 14,4 | 0,16 | 12,9 | 793,2  | 3,63 | 0,06 | 0,48 | 0,12 | 0,65 |  |  |
| CRG | 1  | 1-3   | 0,663 | 0,006 | 0,136 | 0,195 | Franco-Arenosa  | 5,94 | 4,8  | 1,5  | 38  | 22,31 | 0,26 | 0,13 | 0,08 | 4,5  | 0,58 | 0,66 | 5,08  | 11,4 | 12,1 | 1,91 | 3,45  | 6,3  | 0,69 | 1,2  | 928,9  | 0,7  | 0,02 | 0    | 0,15 | 1,47 |  |  |
| CRG | 2  | 1-8   | 0,168 | 0,006 | 0,593 | 0,234 | Franco-Siltosa  | 5,46 | 4,96 | 2,3  | 98  | 28,66 | 0,4  | 0,25 | 0,16 | 9,6  | 1,03 | 1,19 | 10,63 | 9,7  | 13,4 | 1,17 | 22,17 | 1,4  | 1,32 | 11,1 | 1029,6 | 1,94 | 0,4  | 0,06 | 0,2  | 1,94 |  |  |
| CRG | 3  | 1-7   | 0,233 | 0,02  | 0,388 | 0,359 | Franco-Argilosa | 5,7  | 4,95 | 2,4  | 87  | 38,55 | 1,54 | 0,23 | 0,1  | 11,1 | 2,16 | 2,26 | 13,26 | 16,3 | 4,4  | 1,26 | 13,84 | 3,7  | 1,15 | 4,4  | 1571,1 | 1,76 | 0,68 | 0    | 0,16 | 1,86 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRG | 4  | 1-3   | 0,537 | 0,013 | 0,134 | 0,316 | Arenosa         | 5,8  | 4,51 | 2,4  | 66  | 27,65 | 0,8  | 0,14 | 0,18 | 9,9  | 1,23 | 1,41 | 11,13 | 11,1 | 12,8 | 1,08 | 11,78 | 2,7  | 0,53 | 5    | 1101,3 | 1,58 | 0,16 | 0    | 0,13 | 0,59 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRG | 5  | 1-6   | 0,684 | 0,003 | 0,101 | 0,211 | Arenosa         | 5,3  | 4,31 | 3,3  | 49  | 14,29 | 0,08 | 0,07 | 0,38 | 10   | 0,34 | 0,72 | 10,34 | 3,3  | 52,8 | 0,6  | 13,06 | 7,1  | 0,44 | 3,5  | 1036,3 | 1,21 | 0,29 | 0    | 0,12 | 0,9  |  |  |
| CRG | 6  | 1-4,5 | 0,187 | 0,035 | 0,415 | 0,363 | Franco-Argilosa | 5,15 | 4,52 | 3,5  | 88  | 29,51 | 1,62 | 0,22 | 0,22 | 16   | 2,19 | 2,41 | 18,19 | 12   | 9,1  | 0,71 | 19,47 | 5,8  | 0,3  | 7,8  | 539,2  | 1,5  | 0,32 | 0    | 0,18 | 0,62 |  |  |
| CRG | 7  | 1-4   | 0,347 | 0,013 | 0,26  | 0,379 | Franco-Argilosa | 5,12 | 4,17 | 1,6  | 119 | 36,91 | 0,28 | 0,2  | 0,69 | 19,5 | 0,95 | 1,64 | 20,45 | 4,6  | 42,1 | 0,78 | 23,01 | 5,3  | 0,54 | 5,1  | 1649,4 | 2,12 | 0,33 | 0,28 | 0,19 | 0,78 |  |  |
| CRG | 8  | 2-6   | 0,412 | 0,027 | 0,23  | 0,331 | Franco-Argilosa | 4,19 | 3,73 | 6,6  | 82  | 21,88 | 0,56 | 0,2  | 1,58 | 20,7 | 1,07 | 2,65 | 21,77 | 4,9  | 59,6 | 0,44 | 15,55 | 7,6  | 0,25 | 4    | 461,2  | 1,98 | 0    | 0    | 0,14 | 0,95 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRG | 9  | 1-5   | 0,721 | 0,006 | 0,067 | 0,206 | Arenosa         | 4,66 | 3,69 | 3,3  | 51  | 11,52 | 0,24 | 0,14 | 1,54 | 15,2 | 0,56 | 2,1  | 15,76 | 3,6  | 73,3 | 0,32 | 6,79  | 20,8 | 0,29 | 2,2  | 768,1  | 1,02 | 0    | 0    | 0,14 | 0,58 |  |  |
| CRG | 10 | 2-6   | 0,818 | 0,002 | 0,059 | 0,121 | Franco-Arenosa  | 4,72 | 3,57 | 5,2  | 50  | 16,57 | 0,17 | 0,09 | 1,16 | 12   | 0,46 | 1,62 | 12,46 | 3,7  | 71,6 | 0,58 | 2,19  | 34,3 | 0,3  | 2,1  | 973,5  | 0,96 | 0    | 0    | 0,12 | 0,29 |  |  |
| CRG | 11 | 2-6   | 0,443 | 0,014 | 0,165 | 0,378 | Argilo-Arenosa  | 5,42 | 4,1  | 2,9  | 126 | 37,99 | 1,24 | 0,33 | 0,71 | 17,2 | 2,06 | 2,77 | 19,26 | 10,7 | 25,6 | 0,86 | 13,69 | 2,8  | 0,76 | 7,9  | 2223,8 | 3,52 | 0,16 | 0,07 | 0,21 | 2,01 |  |  |
| CRG | 12 | 1-8   | 0,308 | 0,022 | 0,507 | 0,163 | Franco-Siltosa  | 5,58 | 4,96 | 1,3  | 34  | 8,12  | 0,05 | 0,04 | 0    | 6,5  | 0,21 | 0,21 | 6,71  | 3,1  | 0    | 0,53 | 4,73  | 5,6  | 0,63 | 4,9  | 1266,2 | 2,09 | 0,02 | 0,02 | 0,12 | 1,98 |  |  |
| CRG | 13 | 1-6   | 0,23  | 0,016 | 0,573 | 0,181 | Franco-Siltosa  | 5,9  | 5,64 | 2,8  | 38  | 19,41 | 0,05 | 0,05 | 0    | 1    | 0,28 | 0,28 | 1,28  | 21,9 | 0    | 6,59 | 5,6   | 0,2  | 0,75 | 4,6  | 713,3  | 1,7  | 0    | 0    | 0,18 | 2,84 |  |  |
| CRG | 14 | 1-5   | 0,257 | 0,011 | 0,5   | 0,232 | Franco-Siltosa  | 5,72 | 4,67 | 2,7  | 65  | 24,45 | 0,23 | 0,1  | 0,08 | 9    | 0,6  | 0,68 | 9,6   | 6,2  | 11,8 | 1,11 | 9,28  | 5,4  | 0,8  | 10,2 | 1750,9 | 3,08 | 0,11 | 0,88 | 0,15 | 2,26 |  |  |
| CRG | 15 | 2-7   | 0,078 | 0,015 | 0,695 | 0,211 | Franco-Siltosa  | 5,74 | 5,45 | 4,1  | 48  | 21,5  | 0,06 | 0,06 | 0    | 5,6  | 0,34 | 0,34 | 5,94  | 5,7  | 0    | 1,57 | 8,42  | 3,9  | 0,86 | 5,5  | 690,8  | 2    | 0    | 0,21 | 0,17 | 2,43 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRG | 16 | 1-6   | 0,509 | 0,012 | 0,19  | 0,289 | Arenosa         | 5,51 | 4,39 | 3,1  | 84  | 31,81 | 0,29 | 0,13 | 1,22 | 10,6 | 0,77 | 1,99 | 11,37 | 6,8  | 61,3 | 1,22 | 15,01 | 5,4  | 0,71 | 8,7  | 1683,2 | 2,27 | 0,03 | 0    | 0,16 | 1,42 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRG | 17 | 1-4   | 0,444 | 0,016 | 0,277 | 0,263 | Arenosa         | 5,89 | 4,75 | 3,3  | 57  | 18,7  | 0,17 | 0,09 | 0,08 | 8,3  | 0,49 | 0,57 | 8,79  | 5,6  | 14   | 0,92 | 7,46  | 5    | 0,74 | 6,8  | 1499,5 | 1,92 | 0    | 0    | 0,11 | 1,22 |  |  |
| CRG | 18 | 1-3   | 0,856 | 0,005 | 0,034 | 0,105 | Areia Franca    | 5,96 | 4,85 | 3    | 30  | 12,03 | 0,08 | 0,04 | 0    | 1,9  | 0,25 | 0,25 | 2,15  | 11,6 | 0    | 2,43 | 0     | 29,9 | 0,29 | 1,4  | 820,4  | 0,81 | 0,05 | 0    | 0,18 | 0,64 |  |  |
|     |    |       |       |       |       |       | Franco-Argilo-  |      |      |      |     |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |       |      |      |      |        |      |      |      |      |      |  |  |
| CRG | 19 | 1-2,5 | 0,517 | 0,012 | 0,239 | 0,232 | Arenosa         | 5,82 | 4,51 | 3,2  | 39  | 16,13 | 0,11 | 0,06 | 0,14 | 8,6  | 0,34 | 0,48 | 8,94  | 3,8  | 29,2 | 0,78 | 8,41  | 4,2  | 0,68 | 2,6  | 1192,2 | 1,71 | 0,22 | 0,35 | 0,14 | 1,19 |  |  |
| CRG | 20 | 2-4   | 0,809 | 0,02  | 0,036 | 0,135 | Franco-Arenosa  | 5,71 | 4,64 | 1,9  | 24  | 13,29 | 0,07 | 0,04 | 0,06 | 1,9  | 0,23 | 0,29 | 2,13  | 10,8 | 20,7 | 2,71 | 1,75  | 34   | 0,29 | 1,2  | 853,4  | 0,82 | 0    | 0    | 0,12 | 0,19 |  |  |

**Tabela 6** Tabela de componentes químicos e massa seca obtidos da análise de serrapilheira coletada nas parcelas amostradas na Serra de Campos em São Félix do Xingú, Pará.

| Geoambiente | Parcela | Massa seca<br>(g) | P                  | K     | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | S     | Cu     | Fe        | Zn                | Mn      | Na    | B      | Ni    | Cr     |
|-------------|---------|-------------------|--------------------|-------|------------------|------------------|-------|--------|-----------|-------------------|---------|-------|--------|-------|--------|
|             |         |                   | ----- dag/Kg ----- |       |                  |                  |       |        |           | ----- mg/kg ----- |         |       |        |       |        |
| CAP         | 1       | 41,76             | 0,071              | 0,085 | 0,844            | 0,122            | 0,128 | 10,566 | 27605,047 | 21,144            | 325,959 | 0,008 | 20,854 | 2,463 | 31,991 |
| CAP         | 2       | 66,56             | 0,03               | 0,054 | 0,661            | 0,101            | 0,101 | 7,501  | 3443,059  | 20,253            | 142,986 | 0,006 | 11,471 | 1,256 | 3,052  |
| CAP         | 3       | 78,4              | 0,043              | 0,106 | 0,789            | 0,115            | 0,15  | 11,709 | 27947,099 | 19,24             | 320,817 | 0,006 | 16,985 | 1,572 | 19,04  |
| CAP         | 4       | 85,33             | 0,05               | 0,089 | 0,851            | 0,085            | 0,117 | 18,716 | 67463,334 | 20,446            | 490,59  | 0,005 | 25,485 | 1,911 | 47,301 |
| CAP         | 5       | 97,15             | 0,051              | 0,096 | 0,67             | 0,099            | 0,134 | 14,463 | 50582,363 | 17,658            | 284,557 | 0,007 | 18,414 | 1,877 | 33,991 |
| CAP         | 6       | 112,98            | 0,045              | 0,074 | 0,358            | 0,052            | 0,133 | 18,047 | 83274,308 | 14,285            | 245,348 | 0,007 | 25,788 | 2,989 | 76,019 |
| CAP         | 7       | 88,55             | 0,043              | 0,057 | 0,39             | 0,104            | 0,1   | 15,854 | 65277,981 | 15,459            | 328,935 | 0,006 | 24,784 | 2,963 | 52,593 |
| CAP         | 8       | 133,59            | 0,035              | 0,06  | 0,335            | 0,059            | 0,107 | 9,592  | 46894,196 | 12,011            | 184,02  | 0,011 | 16,73  | 1,564 | 27,576 |
| CAP         | 9       | 68,64             | 0,044              | 0,086 | 0,676            | 0,091            | 0,133 | 13,054 | 38636,862 | 16,488            | 316,369 | 0,007 | 16,849 | 1,962 | 25,375 |
| CAP         | 10      | 69,76             | 0,042              | 0,09  | 1,132            | 0,122            | 0,122 | 13,289 | 49192,762 | 20,24             | 386,646 | 0,007 | 18,386 | 1,774 | 29,462 |
| CAP         | 11      | 95,1              | 0,053              | 0,1   | 0,719            | 0,09             | 0,12  | 15,304 | 57312,573 | 17,933            | 551,533 | 0,006 | 22,024 | 1,945 | 33,832 |
| CAP         | 12      | 102,5             | 0,034              | 0,077 | 0,697            | 0,094            | 0,148 | 19,993 | 32365,158 | 15,123            | 304,214 | 0,008 | 16,901 | 1,961 | 23,502 |
| CAP         | 13      | 98,33             | 0,035              | 0,06  | 0,721            | 0,066            | 0,135 | 15,668 | 5663,748  | 17,398            | 368,602 | 0,006 | 11,225 | 1,232 | 3,822  |
| CAP         | 14      | 67,14             | 0,044              | 0,094 | 0,948            | 0,109            | 0,151 | 11,456 | 1195,291  | 15,154            | 384,591 | 0,01  | 14,478 | 1,592 | 1,191  |
| CAP         | 15      | 68,07             | 0,034              | 0,073 | 0,551            | 0,082            | 0,097 | 9,676  | 9932,638  | 15,139            | 251,663 | 0,011 | 10,004 | 1,511 | 3,794  |
| CAP         | 16      | 100,98            | 0,05               | 0,107 | 0,742            | 0,117            | 0,143 | 11,894 | 11576,26  | 21,542            | 433,711 | 0,007 | 10,938 | 1,921 | 5,521  |
| CAP         | 17      | 90,06             | 0,036              | 0,074 | 0,592            | 0,09             | 0,134 | 10,6   | 13774,445 | 22,141            | 391,192 | 0,01  | 11,657 | 2,388 | 7,361  |
| CAP         | 18      | 126,43            | 0,045              | 0,08  | 0,693            | 0,088            | 0,139 | 9,076  | 19106,911 | 16,543            | 224,558 | 0,008 | 11,078 | 1,806 | 9,847  |
| CAP         | 19      | 136,28            | 0,034              | 0,071 | 0,579            | 0,102            | 0,117 | 7,801  | 810,231   | 18,101            | 116,501 | 0,009 | 11,031 | 1,43  | 0,835  |
| CAP         | 20      | 136,67            | 0,025              | 0,047 | 0,535            | 0,055            | 0,085 | 7,979  | 3142,511  | 17,973            | 161,861 | 0,005 | 7,159  | 1,173 | 2,056  |
| CRA         | 1       | 18,88             | 0,025              | 0,05  | 0,602            | 0,11             | 0,047 | 4,769  | 407,674   | 20,827            | 158,382 | 0,005 | 8,433  | 0,601 | 0,581  |
| CRA         | 2       | 13,55             | 0,028              | 0,042 | 0,899            | 0,101            | 0,066 | 5,753  | 6956,581  | 14,482            | 161,937 | 0,003 | 7,279  | 1,174 | 3,577  |
| CRA         | 3       | 17,21             | 0,025              | 0,043 | 1,262            | 0,154            | 0,084 | 7,961  | 1096,743  | 21,784            | 180,218 | 0,005 | 10,161 | 0,889 | 0,879  |
| CRA         | 4       | 6,1               | 0,025              | 0,048 | 0,807            | 0,043            | 0,055 | 3,256  | 929,948   | 17,892            | 106,901 | 0,007 | 12,312 | 0,738 | 0,757  |
| CRA         | 5       | 46,21             | 0,044              | 0,076 | 0,678            | 0,127            | 0,097 | 7,044  | 853,462   | 22,299            | 673,039 | 0,005 | 10,37  | 1,938 | 0,799  |
| CRA         | 6       | 75,12             | 0,042              | 0,048 | 0,808            | 0,069            | 0,086 | 7,324  | 1539,568  | 27,809            | 287,73  | 0,003 | 8,429  | 1,156 | 0,968  |
| CRA         | 7       | 89,5              | 0,017              | 0,026 | 0,316            | 0,092            | 0,06  | 8,761  | 583,744   | 16,524            | 66,387  | 0,002 | 5,719  | 1,179 | 0,489  |
| CRA         | 8       | 31,9              | 0,036              | 0,061 | 0,508            | 0,09             | 0,063 | 6,917  | 818,029   | 18,031            | 137,962 | 0,004 | 8,622  | 1,263 | 0,779  |
| CRA         | 9       | 126,33            | 0,026              | 0,037 | 0,186            | 0,063            | 0,085 | 4,779  | 6259,52   | 17,669            | 96,284  | 0,004 | 5,222  | 1,488 | 1,681  |
| CRA         | 10      | 70,11             | 0,043              | 0,047 | 0,29             | 0,033            | 0,105 | 7,348  | 20515,215 | 25,406            | 98,62   | 0,005 | 8,333  | 2,254 | 4,058  |

|     |    |        |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
|-----|----|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| CRA | 11 | 46,75  | 0,036       | 0,058       | 0,205       | 0,054       | 0,056       | 5,992       | 45061,127   | 26,973      | 208,234     | 0,007       | 13,961      | 1,11        | 4,687  |
| CRA | 12 | 78,76  | 0,035       | 0,064       | 0,409       | 0,131       | 0,099       | 6,456       | 4009,574    | 19,265      | 160,689     | 0,009       | 6,994       | 1,664       | 1,527  |
| CRA | 13 | 107,22 | 0,025       | 0,041       | 0,38        | 0,031       | 0,084       | 6,508       | 4624,037    | 27,817      | 79,847      | 0,007       | 6,178       | 2,803       | 1,123  |
| CRA | 14 | 87,11  | 0,035       | 0,047       | 0,531       | 0,04        | 0,102       | 6,901       | 14274,105   | 24,854      | 123,776     | 0,005       | 8,626       | 2,566       | 2,014  |
| CRA | 15 | 32,96  | 0,029       | 0,052       | 0,491       | 0,045       | 0,09        | 5,976       | 12467,038   | 30,044      | 126,756     | 0,006       | 11,72       | 1,86        | 1,291  |
| CRA | 16 | 33,89  | 0,064       | 0,074       | 0,164       | 0,033       | 0,121       | 8,329       | 67096,576   | 30,652      | 113,491     | 0,007       | 19,697      | 2,498       | 13,287 |
| CRA | 17 | 131,92 | 0,043       | 0,052       | 0,547       | 0,088       | 0,068       | 9,631       | 52706,417   | 23,056      | 259,225     | 0,006       | 16,834      | 1,671       | 6,28   |
| CRA | 18 | 81,01  | 0,033       | 0,045       | 0,324       | 0,06        | 0,064       | 12,527      | 41851,876   | 28,453      | 168,199     | 0,005       | 13,142      | 1,953       | 10,622 |
| CRA | 19 | 77,02  | 0,041       | 0,047       | 0,365       | 0,034       | 0,075       | 4,894       | 7255,201    | 16,534      | 97,228      | 0,005       | 6,521       | 1,95        | 2,192  |
| CRA | 20 | 47,64  | 0,029       | 0,043       | 0,502       | 0,068       | 0,079       | 6,532       | 3430,143    | 28,865      | 173,232     | 0,004       | 8,886       | 1,403       | 1,125  |
| CRG | 1  | 1,51   | 0,049       | 0,054       | 0,053       | 0,005       | 0,069       | 7,241       | 107546,134  | 12,475      | 58,723      | 0,021       | 48,861      | 3,623       | 25,632 |
| CRG | 2  | 0,35   | 0,026       | 0,059       | 0,104       | 0,02        | 0,079       | 4,668       | 25832,153   | 25,377      | 65,854      | 0,028       | 22,833      | 2,306       | 5,346  |
| CRG | 3  | 0,17   | 0,018       | 0,056       | 0,107       | 0,016       | 0,084       | 5,133       | 20122,748   | 15,753      | 48,673      | 0,019       | 30,76       | 0,954       | 13,843 |
| CRG | 4  | 0,72   | 0,018       | 0,066       | 0,068       | 0,008       | 0,049       | 4,496       | 30869,269   | 11,943      | 27,484      | 0,026       | 20,487      | 1,569       | 13,448 |
| CRG | 5  | 0,26   | 0,032       | 0,063       | 0,069       | 0,012       | 0,079       | 4,092       | 36902,46    | 31,799      | 46,714      | 0,023       | 29,135      | 1,774       | 5,835  |
| CRG | 6  | 0,6    | 0,018       | 0,056       | 0,107       | 0,016       | 0,084       | 5,133       | 20122,748   | 15,753      | 48,673      | 0,019       | 30,76       | 0,954       | 13,843 |
| CRG | 7  | 0,85   | 0,031       | 0,057       | 0,173       | 0,039       | 0,083       | 4,899       | 5404,77     | 20,694      | 85,887      | 0,004       | 22,276      | 0,98        | 2,085  |
| CRG | 8  | 2,4    | 0,056       | 0,067       | 0,226       | 0,043       | 0,101       | 10,517      | 25137,337   | 22,44       | 97,419      | 0,008       | 18,101      | 1,203       | 8,856  |
| CRG | 9  | 3,18   | 0,033       | 0,059       | 0,218       | 0,085       | 0,099       | 4,882       | 3648,779    | 23,682      | 73,829      | 0,007       | 16,881      | 0,716       | 1,844  |
| CRG | 10 | 3,77   | 0,027       | 0,026       | 0,204       | 0,042       | 0,064       | 6,236       | 42932,195   | 9,422       | 72,108      | 0,003       | 22,662      | 0,68        | 21,129 |
| CRG | 11 | 1,16   | 0,072       | 0,071       | 0,032       | 0,007       | 0,093       | 4,581       | 97095,029   | 49,816      | 136,515     | 0,025       | 39,279      | 4,509       | 16,105 |
| CRG | 12 | 1,31   | 0,036947368 | 0,055210526 | 0,091842105 | 0,018526316 | 0,079157895 | 5,126684211 | 41631,45947 | 19,54468421 | 59,09615789 | 0,017526316 | 28,19847368 | 2,073105263 | 10,003 |
| CRG | 13 | 0,58   | 0,032       | 0,063       | 0,069       | 0,012       | 0,079       | 4,092       | 36902,46    | 31,799      | 46,714      | 0,023       | 29,135      | 1,774       | 5,835  |
| CRG | 14 | 0,89   | 0,049       | 0,064       | 0,03        | 0,008       | 0,072       | 4,745       | 73686,849   | 12,975      | 71,416      | 0,022       | 39,181      | 3,652       | 12,025 |
| CRG | 15 | 0,9    | 0,022       | 0,045       | 0,037       | 0,005       | 0,08        | 2,614       | 18189,916   | 15,27       | 47,003      | 0,021       | 16,178      | 1,882       | 2,791  |
| CRG | 16 | 1,67   | 0,012       | 0,032       | 0,025       | 0,001       | 0,05        | 1,457       | 7815,681    | 7,857       | 22,524      | 0,014       | 20,579      | 0,758       | 1,278  |
| CRG | 17 | 0,42   | 0,026       | 0,059       | 0,104       | 0,02        | 0,079       | 4,668       | 25832,153   | 25,377      | 65,854      | 0,028       | 22,833      | 2,306       | 5,346  |
| CRG | 18 | 1,13   | 0,023       | 0,042       | 0,028       | 0,002       | 0,067       | 2,725       | 27719,192   | 12,001      | 24,697      | 0,012       | 24,454      | 1,654       | 3,246  |
| CRG | 19 | 3,06   | 0,099       | 0,051       | 0,021       | 0,003       | 0,084       | 9,188       | 125760,152  | 12,689      | 41,599      | 0,014       | 49,494      | 4,702       | 23,513 |
| CRG | 20 | 1,47   | 0,059       | 0,059       | 0,07        | 0,008       | 0,109       | 6,04        | 59477,705   | 14,227      | 41,141      | 0,016       | 31,882      | 3,393       | 8,057  |

