

JOSÉ FURTADO DE MIRANDA

**TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS NO MÉDIO AMAZONAS E ALTO  
SOLIMÕES: QUÍMICA, MINERALOGIA, MICROMORFOLOGIA E IDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Miranda, José Furtado de, 1981-  
M372t Terras pretas arqueológicas no Médio Amazonas e Alto  
2018 Solimões : química, mineralogia, micromorfologia e idade / José  
Furtado de Miranda. – Viçosa, MG, 2018.  
xii, 168 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Terra preta - Amazônia. 2. Mineralogia do solo. 3. Física do solo. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.47811

JOSÉ FURTADO DE MIRANDA

**TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS NO MÉDIO AMAZONAS E ALTO  
SOLIMÕES: QUÍMICA, MINERALOGIA, MICROMORFOLOGIA E IDADE**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 22 de fevereiro de 2018.

  
Thiago Torres Costa Pereira

  
Valdinar Ferreira Melo

  
Fábio Soares de Oliveira

  
Hedinaldo Narciso Lima  
(Coorientador)

  
Carlos Ernesto G. R. Schaefer  
(Orientador)

A minha esposa Leide Daiana dos Santos de Miranda.  
Aos meus filhos Isaac S. Miranda, Samuel S. Miranda.  
Aos meus pais José Guedes de Miranda (*in memoriam*) e  
Iolanda Furtado de Miranda e  
A todos meus irmãos.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Ao eterno Deus.

À Universidade Federal do Amazonas pelo incentivo e pela liberação.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Solos, pela oportunidade concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa e a bolsa concedida.

Ao Professor Carlos Ernesto G. R. Schaefer, pela orientação, amizade, ensinamentos, correções e apoio em todos os momentos, a quem sou eternamente grato.

A minha esposa Leide Daiana S. Miranda, pelo eterno companheirismo, paciência, sabedoria e incentivos contínuos.

Ao Professor João Carlos Ker, pelos ensinamentos, sugestões a este trabalho, pela amizade e em especial quando me acolheu nos dias de enfermidade.

Ao Professor Fábio Oliveira, da UFMG, pelos ensinamentos e pela grandiosa contribuição neste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Solos, em especial Professor Liovando M. da Costa, pelos ensinamentos, críticas e amizade.

Ao professor Hedinaldo N. Lima pelo incentivo, contribuição nas atividades de campo e pela preciosa amizade.

Aos professores da UFAM Ronaldo de Almeida e Agno Acioli pela parceria de trabalho nas atividades de campo e amizade.

A toda minha família, em especial aos meus pais José G. Miranda (*in memoriam*), Iolanda F. de Miranda e aos meus 14 irmãos, Nathanael, Rosália, Rosenilda, Reni, Rosemar, Nathan, Ottnan, Eloi (*in memoriam*), Raimunilda (*in memoriam*), Miguel, Iolete, Benedita, Benedito (*in memoriam*) e Mônica pelas preciosas orações, preocupações e incentivos imutáveis.

A todos os funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Geraldo, Pablo, Cláudio, Carlos, Cláudia, Carolina, Luciana, Janilson, Adriana, José Francisco (*in memoriam*) e ao Carlinho, pelas ajudas e boa vontade em suas funções.

Aos estagiários Rafael Teixeira, Camila Dittmar e Angélica Ladeira, pelas inúmeras contribuições nos laboratórios do Departamento de Solos.

A todos meus colegas estudantes do Departamento de Solos em especial ao João Reis, Francis, Fernanda, Natalí, Guilherme e Cristiano, pelas sugestões, críticas e amizades.

Aos amigos e colegas Patanjaly Barbosa e Camila Dittmar pela hospedagem e amizade.

Aos irmãos da Igreja Evangélica Assembléia de Deus em nome dos pastores Oséias Valadares e Jocelí Valadares, pelas intercessões, companhia, incentivos e amizades.

Aos amigos do Camilinho Futebol Clube, em especial ao Juninho pela amizade e momentos de desporto e lazer.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	xi
1.INTRODUÇÃO GERAL .....	01
<b>CAPÍTULO I</b> .....	03
TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS DO RIO AUTAZ-AÇÚ, NO MÉDIO AMAZONAS: FÍSICA, QUÍMICA, E FORMAS DE P, IDADE E MINERALOGIA.....	03
RESUMO.....	04
1.INTRODUÇÃO.....	05
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	06
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
3.1. Descrição morfológica e características físicas.....	10
3.2. Características químicas.....	13
3.3. Análises comparativas das TPAs do rio Autaz com as TPAs do Solimões/Amazonas.....	19
3.4. Idades das TPAs do rio Autáz-Açú, Médio Solimões.....	21
3.5. O comportamento do (P).....	22
3.6. Dissolução seletiva por ditioníto citrato bicarbonato de sódio e oxalato de amônio.....	26
3.7. Digestão total da terra fina seca ao ar (TFSA) .....	28
3.7.1. Teores totais dos elementos traços na TFSA .....	31
3.9. Composição mineralogia da fração argila.....	34
4. CONCLUSÕES.....	41
5. REFERÊNCIAS.....	42
<b>CAPITULO II</b> .....	50
TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS DE VÁRZEA E TERRA FIRME NO ALTO SOLIMÕES-AM: FÍSICA, QUÍMICA, MINERALOGIA, IDADE E FORMAS DE FÓSFORO.....	50
RESUMO.....	51

1.INTRODUÇÃO.....	52
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	53
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
3.1. Caracterização física e morfológica.....	60
3.2. Características químicas dos solos estudados.....	61
3.3. Fracionamento sequencial de P.....	68
3.4. Digestão total da terra fina seca ao ar (TFSA) .....	70
3.4.1. Elementos traços na Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) de TPAs, Alto Solimões-AM.....	72
3.5. Dissolução seletiva por ditioníto citrato bicarbonato de sódio e oxalato de amônio na fração argila.....	75
3.6. Idades das TPAs no Alto Solimões, AM.....	77
3.7. Composição mineralógica da fração argila.....	77
4. CONCLUSÕES.....	91
5.REFERÊNCIAS.....	92
<b>CAPÍTULO III</b> .....	100
RESUMO .....	101
1.INTRODUÇÃO.....	102
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	103
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	107
3.1. Análise descritiva TPA horizonte A antrópico rio Solimões/Amazonas e rios afluentes.....	107
3.2 Análise de Componentes Principais.....	110
3.3. Análise Linear Discriminante.....	114
4. CONCLUSÕES.....	121
5. REFERÊNCIAS.....	122
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	126
ATRIBUTOS MICROMORFOLÓGICOS E MICROQUÍMICOS EM ANTROSSOLOS (AMAZONIAN DARK EARTH) DA BACIA DO RIO SOLIMÕES/AMAZONAS, AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	126
1.INTRODUÇÃO.....	127
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	128
2.1. Área de estudo.....	128
2.2. Descrição e amostragem dos solos.....	130

2.3. Preparação das amostras e caracterização micromorfológica.....	132
2.4. Análises microquímicas.....	132
3. RESULTADOS.....	133
3.1. Caracterização micromorfológica.....	133
3.1.1. Solos do Alto Curso do Rio Solimões/Amazonas – Área A.....	133
3.1.2. Solos do Médio Curso do Rio Solimões/Amazonas – Área B.....	137
3.2. Microscopia de varredura e caracterização microquímica.....	143
3.3. Caracterização dos fragmentos de cerâmica.....	148
4. DISCUSSÃO.....	151
5. CONCLUSÕES.....	157
6. REFERÊNCIAS.....	159

## RESUMO

MIRANDA, José Furtado, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Terras Pretas Arqueológicas no Médio Amazonas e Alto Solimões: física, química, mineralogia, micromorfologia e idade.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer. Coorientadores: João Carlos Ker e Hedinaldo Narciso Lima.

Os estudos científicos de Terra Preta Arqueológica (TPA) concentram-se no Médio Amazonas e principalmente próximo a calha do rio Solimões/Amazonas. A tese foi estruturada em quatro seções, na seção I propõem-se estudar as TPAs do Médio Amazonas na sub-Bacia do rio Autaz-açú em suma, a gênese, físico-química, mineralogia, idade e formas de fósforo e compara-las com as TPAs do rio Amazonas descritas por (Lima, 2001). Na seção II o estudo concentra-se nas TPAs do Alto Solimões, por meio de atributos químicos, mineralógicos, idade e formas de fósforo. A seção III o objetivo é comparar as TPAs do rio Solimões/Amazonas com as TPAs de seus afluentes. Na IV seção o objetivo foi identificar e caracterizar as principais organizações micropedológicas e microquímicas de TPAs do Alto e Médio Solimões/Amazonas. Nas seções I e II foram abertas trincheiras e as amostras foram submetidas as análises físico-químicas de rotina, fracionamento de P, difração de raio-X, datação por radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ), digestão total, dissolução seletiva de ditionito citrato bicarbonato e oxalato de Amônio. Na seção III construiu-se um banco de dados a partir de trabalhos com TPAs, totalizando 125 perfis. As variáveis analisadas foram as mesmas descritas na seção I e II. Organizou-se o conjunto de dados em horizonte A antrópico e horizonte B nas proximidades do Solimões/Amazonas e nos rios afluentes. Para Seção IV foram coletadas amostras indeformadas em 4 perfis no Alto Solimões, e 6 no Médio Amazonas. De modo geral ocorre incremento de P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , Mn e Zn nos horizontes antrópicos. As idades das TPAs do rio Autaz-Açú variam de 960 – 470 a 1990 – 1957 AP. Nas TPAs do rio Autaz-Açú corre predominância das formas de P-Al e P-Fe seguido de P-Ca, com uma exceção, em que ocorre valores semelhantes de todas as formas. A mineralogia da fração argila é composta de minerais 1:1, caulinita, goethita, quartzo, óxidos de titânio (rutilo) e minerais 2:1, vermiculita e mica/ilita. Nas TPAs do Alto Solimões as características químicas expressam fertilidade elevada nos horizontes antrópicos, com valores elevados de pH, P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Mn, Zn, SB, CTC, V, MO. Os horizontes antrópicos de Várzea demonstram maiores níveis de fertilidade. O fracionamento do P revelou predominância do P-Ca para os

horizontes antrópicos em várzeas, enquanto os horizontes antrópicos de Terra Firme foram dominados por P-Al e P-Fe. As idades das TPAs de Terra Firme no Alto Solimões variam de 1190 – 1410 anos AP (mais recentes) a 2500 - 2870 anos AP (mais antigas). Já, nos ambientes de Várzea variou de 920 – 1270 anos AP. A mineralogia do pedoambiente de Terra Firme, revelou predomínio de caulinita, goethita, gibbsita, quartzo e vermiculita com hidróxi entre camadas; na Várzea predominou caulinita, mica/ilita, goethita, quartzo, pirofilita e vermiculita com hidróxi entre camadas. A análise de componente principal selecionou dois componentes principais, que juntos explicam 80% do conjunto de variáveis. Tal análise selecionou as variáveis pH, Ca, SB, CTC, H+Al e V como as mais importantes para explicar a variabilidade de TPA. A análise discriminante gerou duas funções para os horizontes A, com acerto de 73,91%. Isto se assemelha no horizonte B com acerto de 83%. Para os horizontes A dos solos adjacentes a classificação foi 100 % de acerto. Das 139 observações nos horizontes A (afluentes), 96 permaneceram neste grupo, 11 realocaram-se nos solos adjacentes e 32 nas TPAs do Solimões. Das 150 observações dos horizontes A do Solimões, a função manteve a classificação em 115 casos, apenas 2 foram para os adjacentes e 33 para as TPAs dos afluentes. De modo geral as TPAs do Alto e Médio Solimões apresentam microestrutura semelhantes, agregados em blocos subangulares e grumos, a micromassa é de natureza organo-mineral, que surgem envolvendo minerais opacos, grãos de quartzo e fragmentos de carvão. Cutãs estão presentes no interior dos poros principalmente no horizonte B. Fragmentos de ossos foram mais frequentes nas TPAs de Várzeas. Comparativamente, As TPAs do Médio Solimões possuem mais cutãs que os solos do Alto Solimões. A bioturbação é frequente em todos os solos estudados. Os fragmentos de ossos possuem aproximadamente 33% de Ca e 10% de P. A ocorrência de formas de P-Ca em conjunto aos fragmentos de ossos comprovados pela microquímica, indicam que apatita biogênica seja a fonte primária de P em TPAs. A composição mineralógica dos horizontes antrópico e não antrópico é semelhante, o que evidencia a mesma natureza mineralógica. As TPAs do Solimões/Amazonas são mais ricas quimicamente que as TPAs dos Afluentes, o que evidencia que os povos indígenas que habitaram as várzeas rio Solimões/Amazonas desfrutaram de maior acesso à recursos alimentares. As TPAs de Várzeas do Alto Solimões revelam natureza química superior as TPAs de Terras Firmes. A ocorrência de TPAs em Várzea e

Terra Firme no Alto Solimões, evidencia que o modelo de ocupação não foi diferente ao longo de todo o sistema Amazonas-Solimões.

## ABSTRACT

MIRANDA, José Furtado, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Terras Pretas Arqueológicas in the Médio Amazonas and Alto Solimões: physics, chemistry, mineralogy, micromorfology and age.** Advisor: Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer. Co-advisors: João Carlos Ker and Hedinaldo Narciso Lima.

The scientific studies of Terra Preta Arqueológica (TPA), are concentrated in the Middle Amazon and mainly near the channel of the Solimões / Amazonas river. The thesis was structured in four sections, section I proposes to study the TPAs of the Middle Amazon in the Autaz-açu river sub-basin in short, the genesis, physicochemical, mineralogy, age and forms of phosphorus and compare them with the Amazon River TPAs described by (Lima, 2001). In section II the study focuses on the TPAs of Alto Solimões genesis, physicochemical, mineralogy, age and forms of phosphorus. Section III aims to compare the TPAs of the Solimões / Amazonas river with the TPAs of their tributaries. In the fourth section the objective was to identify and characterize the main micropedological and microchemical organizations of TPAs in Alto and Meio Solimões / Amazonas. In sections I and II, trenches were opened and the samples were subjected to routine physico-chemical analyzes, P fractionation, X-ray diffraction, radiocarbon dating ( $^{14}\text{C}$ ), total digestion, selective dissolution of dithionite citrate bicarbonate and oxalate of Ammonium. In section III, a database was constructed from works with TPAs, totaling 125 profiles. The analyzed variables were the same ones described in section I and II. The dataset was organized on anthropic A horizon and B horizon in the vicinity of Solimões / Amazonas and in the tributary rivers. For Section IV undisturbed samples were collected in 4 profiles in Alto Solimões and 6 in the Middle Amazon. In general, there is increase of P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ , Mn and Zn in the anthropic horizons. The ages of the Autaz-Açu River TPAs range from 960-470 to 1990-1957. In the TPAs of the Autaz-Açu river predominates the P-Al and P-Fe forms followed by P-Ca, with one exception, in which similar values of all forms occur. The clay fraction mineralogy is composed of 1: 1 minerals, kaolinite, goethite, quartz, titanium (rutile) oxides and 2: 1 minerals, vermiculite and mica / ilite. In the TPAs of Alto Solimões the chemical characteristics express high fertility in the anthropic horizons, with high values of pH, P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Mn, Zn, SB, CTC, V, MO. The anthropic horizons of Várzea show higher levels of fertility. The fractionation of P showed a predominance of P-Ca to the anthropic horizons in floodplains, while the anthropic horizons of Terra

Firme were dominated by P-Al and P-Fe. The ages of Terra Firme TPAs in Alto Solimões range from 1190 - 1410 years AP (most recent) to 2500 - 2870 years AP (older). Already, in the Várzea environment it varied from 920 - 1270 years AP. The mineralogy of the Terra Firme pedoenvironment revealed predominance of kaolinite, goethite, gibbsite, quartz and vermiculite with hydroxyl between layers; in the Várzea predominated kaolinite, mica/ilite, goethite, quartz, pyrophyllite and vermiculite with hydroxy in layers. The main component analysis selected two main components, which together explain 80% of the set of variables. This analysis selected the variables pH, Ca, SB, CTC, H + Al and V as the most important to explain the variability of TPA. The discriminant analysis generated two functions for the A horizons, with accuracy of 73.91%. This is similar to the B horizon with 83% accuracy. For the A horizons of the adjacent soils the classification was 100% correct. Of the 139 observations in A horizons (tributaries), 96 remained in this group, 11 were relocated in the adjacent soils and 32 in the Solimões TPAs. Of the 150 observations of the A horizon of the Solimões, the function maintained the classification in 115 cases, only 2 were for the adjacent ones and 33 for the TPAs of the tributaries. In general, the TPAs of the high and middle Solimões have similar microstructure, aggregates in subangular blocks and clumps, the micromass is organomineral, which arise involving opaque minerals, quartz grains and coal fragments. Cutades are present in the interior of the pores mainly in the B horizon. Fragments of bones were more frequent in the TPAs of Várzeas. Comparatively, the TAMs of the Middle Solimões have more cutaways than the soils of the Upper Solimões. Bioturbation is frequent in all studied soils. Bone fragments have approximately 33% Ca and 10% P. The occurrence of P-Ca forms together with the microchemically confirmed bone fragments indicate that biogenic apatite is the primary source of P in TPAs. The mineralogical composition of the anthropic and non-anthropic horizons is similar, which shows the same mineralogical nature. The TPAs of the Solimões / Amazonas are richer chemically than the TPAs of the Tributaries, which shows that the indigenous peoples who inhabited the Solimões/Amazonas river floodplains have enjoyed greater access to food resources. TPAs of Upper Solimões Floors reveal higher chemical nature than Terra Firme TPAs. The occurrence of TPAs in Várzea and Terra Firme in higher Solimões shows that the occupation model was not different throughout the Amazonas-Solimões system.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A região Amazônica é formada por áreas extensas antigas (Cráton Amazônico), a parte central é recoberta por sedimentos de idades variadas, com domínio de áreas baixas com relevos suavizados, resultante de milhões de anos de evolução de seus ecossistemas, que foram retrabalhados pela erosão e a sedimentação, favorecidas pela combinação de temperatura elevada e abundantes precipitações pluviais (Schaefer et al., 2017). Dois ecossistemas principais separam bem a Amazônia, terra firme e várzea, sendo 98% de terra firme constituída de solos bem drenados e muito intemperizados, onde predominam os rios de águas claras, apenas 2% é constituído por várzeas, (solos mais novos), anualmente rejuvenescido por sedimentos Andinos (Meggers, 1987).

A terra firme é constituída de solos pobres e ácidos, predominantemente Latossolos e Argissolos, com poucas exceções de solos eutróficos, estando presente apenas na bacia sedimentar do Acre e onde afloram rochas com riqueza química maior, Roraima, Pará e Amapá, já a várzea é constituída de solos com maior fertilidade natural (Eutróficos) principalmente Gleissolos e Neossolos Flúvicos, que inundados sazonalmente recebem sedimentos Andinos (Schaefer, 2013).

As terras pretas arqueológicas (TPAs) ou terra preta de índio (TPI), como são vulgarmente conhecidas, embora sejam registradas com mais frequência nas áreas de terra firme, ocorrem também nas áreas de várzeas. Tais solos apresentam características muito distintas dos solos da Amazônia, coloração escura, fragmentos cerâmicos e/ou artefatos líticos, alto nível de fertilidade, que as discriminam dos solos adjacentes. A hipótese de origem mais aceita das TPAs é de ter sido formado a partir dos assentamentos indígenas pré-colombianos (Kampf e Kern, 2005).

Tais civilizações sobreviviam da caça, pesca, coletas de ervas e frutas nativas e pela agricultura de subsistência. Ao longo do tempo essas populações descartaram materiais orgânicos pré-carbonizados, superficialmente e/ou enterrados, formando as TPAs, com alta fertilidade, teores elevados de P, Ca, Mg, Zn, Mn e matéria orgânica (Kern e Kämpf, 1989; Lima, 2001; Lima et al., 2002; Lehmann et al., 2003; Schaefer et al., 2004; Kern et al., 2009; Souza 2011).

O conhecimento sobre a TPA foi baseado principalmente no contexto fisiográfico do Médio e Baixo Amazonas e se concentram em sua maioria nas margens do rio Amazonas, com menos estudos em seus afluentes, onde supostamente seriam menos ricas e menos desenvolvidas.

As extensas áreas do Alto Solimões/Amazonas, também estão praticamente inexploradas, cientificamente, embora exista grande diferença na gênese e constituição das bacias sedimentares nos diferentes setores do Solimões/Amazonas, o que repercute em solos com características diferentes, (Schaefer, 2013).

Neste trabalho, apresenta-se e discute-se os resultados de estudos de química, fracionamento das formas de fósforo, mineralogia, idade e micromorfologia das TPAs do Alto e Médio Solimões/Amazonas. Os quais foram divididos em quatro capítulos e conduzidos com os seguintes objetivos:

Capítulo I: contribuir com os conhecimentos sobre a gênese, fertilidade natural, mineralogia, as formas de fósforo e idades das TPAs do rio Autaz-Açú, comparando com as TPAs do rio Solimões/Amazonas, para validar a hipótese de que há variações morfológicas, físico-químicas e mineralógicas em TPA ao longo de uma bacia de drenagem, desprovida de várzeas ricas com sedimentos Andinos.

Capítulo II: estudar as TPAs do Alto Solimões, por meio dos atributos morfológicos, químicos, mineralógicos, idades e formas de fósforo, visando ampliar o conhecimento científico das TPAs a partir de diferentes regiões da Amazônia Brasileira.

Capítulo III: comparar as TPAs do rio Solimões/Amazonas com as TPAs de seus afluentes, através de análises estatísticas, em banco de dados abrangente construído em teses, dissertações e artigos publicados, a partir da hipótese de diferença de recursos naturais entre o rio Solimões/Amazonas e seus afluentes.

Capítulo IV: identificar e caracterizar as principais organizações micropedológicas e microquímicas de Terras Pretas Arqueológicas do Alto Solimões e Médio Amazonas na sub-bacia do rio Autaz-Açú, comparando-as e compreendendo seu significado para a gênese destes solos

## **CAPÍTULO I**

**TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS DO RIO AUTAZ-AÇÚ, NO MÉDIO  
AMAZONAS: FÍSICA, QUÍMICA, FORMAS DE P, IDADE E MINERALOGIA**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

## RESUMO

Na Amazônia ocorre solos com horizonte antrópico, conhecidos como: Terra Preta de Índio (TPI), Terra Preta (TP), Terra Preta Arqueológica (TPA) ou Arqueo-Antrossolo. São solos de cor escura com fragmentos de cerâmicas e/ou artefatos líticos, teores elevados de matéria orgânica e alta fertilidade que parecem não exaurir com o tempo. São encontrados em ecossistemas de terra firme e também em várzeas. As pesquisas em TPA se concentram nas margens do rio Amazonas, e poucos estudos se debruçam sobre TPAs afastadas do rio principal, onde supostamente seriam menos ricos e menos desenvolvidos. Assim, objetivou-se estudar a gênese, a fertilidade natural, as formas de fósforo, a idade e a mineralogia, em dez perfis de solos com horizontes antrópicos em ambiente de terra firme, no município de Autazes-AM, na região do Médio Amazonas. Em todos os perfis foram abertas trincheiras e previamente descritas, foram coletadas amostras para análise granulométrica análise química de rotina: pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , P,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}+\text{H}$ , C, de posse dos resultados das análises químicas, foram calculados SB, CTC, t, V, m e MO; fracionamento de P com extração sequencial e difração de raio-X para determinar a mineralogia. Os horizontes antrópicos apresentaram profundidade de 15 a 90 cm, cor escura, abundantes restos de cerâmicas e fragmentos de carvão pirogênico; textura média a argilosa, estrutura de grau fraco a moderado, pequena a média em blocos subangulares. Horizontes antrópicos apresentaram tendência a elevada fertilidade, mas com variação de valores baixos a elevados, pH 4,26 a 6,09;  $\text{Ca}^{2+}$  0,32 a 14,93  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  0,12 a 3,3  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , P 16,9 a 1724,5  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , resultando em valores elevados de SB, V, CTC, e baixos valores de Al. o incremento de P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , Mn e Zn nos horizontes antrópicos estão associados aos descartes de resíduos orgânicos como: fezes, ossos de animais, escamas e espinhas de peixes, lenha, carvão, palhas, cerâmicas, cinzas, restos funerários humano, lixos entre outros resíduos. A idade das TPAs do rio Autaz-Açú variam de 960 – 470 a 1990 – 1957 AP. O fracionamento do P diagnosticou a predominância das formas de P-Al e P-Fe seguido de P-Ca, com uma exceção, em que ocorre valores semelhantes das formas de P-Al, P-Fe e P-Ca. A mineralogia da fração argila foi composta de minerais 1:1, caulinita, goethita, quartzo, óxidos de titânio (rutilo) e minerais 2:1, vermiculita e mica/ilita. As características químicas das TPAs do rio Autaz-Açú são bem inferiores às TPAs das do Solimões/Amazonas; Contudo, os fragmentos de cerâmicas e suas características químicas demonstram uma formação semelhante desses solos pela população pré-colombiana; As TPAs estudadas foram originadas em dois períodos; P-Ca representa a fonte primária de P, paulatinamente transformado em P-Al e P-Fe, mas não completamente; a mineralogia indica um mesmo substrato pedológico entre o horizonte A antrópico e o horizonte B, subjacente.

**Palavras-chave:** terra preta de índio, terra preta arqueológica, arqueo-antrossolos, solo antrópico.

## 1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia ocorrem solos com horizonte antrópico, conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI), Terra Preta (TP), Terra Preta Arqueológica (TPA) (Kern e Kämpf, 1989), sendo mais recentemente designados por Kämpf et al. (2003) como Arqueo-antrossolos.

Tais solos apresentam horizonte superficial de cor escura, decorrente dos materiais orgânicos parcialmente queimados que formam carvão pirogênico e matéria orgânica de alta estabilidade (Glaser et al., 2001). A espessura destes horizontes varia de 10 a 200 cm de profundidade, com predomínio de 30 a 60 cm. Contém restos de materiais arqueológicos, como fragmentos de cerâmicas e/ou artefatos líticos, possuem alta fertilidade natural associada aos teores elevados de Ca, Mg, Zn, Mn, P e C, originados de deposição de cinzas, resíduos de peixes, conchas, caça, dejetos humanos, entre outros compostos orgânicos (Kämpf e Kern, 2005; Costa et al., 2009, Schaefer et al., 2004).

Os sítios de TPAs estão localizados, majoritariamente, em ecossistemas de terra firme, sendo áreas bem drenadas. São bem menos frequentes em ambiente de várzeas, onde se encontram “fossilizados” por sedimentos mais jovens, e estão situados em sua maioria entre 5 e 25 m de altura em relação a drenagem atual, posição topográfica que permite boa visibilidade da área de entorno, (Kern et al., 2009). A superfície ocupada por tais solos varia de 1 a 500 ha (Smith, 1980), com predomínio de áreas pequenas, entre 2 e 5 ha (Kern et al., 2009).

A TPA não é homogênea em termos de atributos físicos, químicos e mineralógicos, possuindo muita variação entre sítios (Smith, 1980) e mesmo dentro desses. Muitos estudos pretéritos abordam tais solos no Médio Amazonas, concentrando as pesquisas nas margens do rio principal, o que gera uma lacuna de conhecimentos sobre as TPAs afastadas da calha principal. Face ao exposto, este trabalho buscou analisar TPAs situadas no município de Autazes (Amazonas), ao longo do rio Autaz-Açú, afluente do Médio Solimões/Amazonas (onde nunca foram realizados estudos de TPAs) e compará-las àquelas já estudadas em pedoambiente de Terra Firme próximo ao rio principal.

Buscando contribuir com o estado da arte dos conhecimentos sobre a gênese, fertilidade natural e as formas de fósforo de TPAs para entender as fontes primárias e a mineralogia, este estudo parte da hipótese de que há variações

morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas em TPA ao longo de uma bacia de drenagem com menor riqueza química em função da ausência de várzeas ricas com influência Andina.

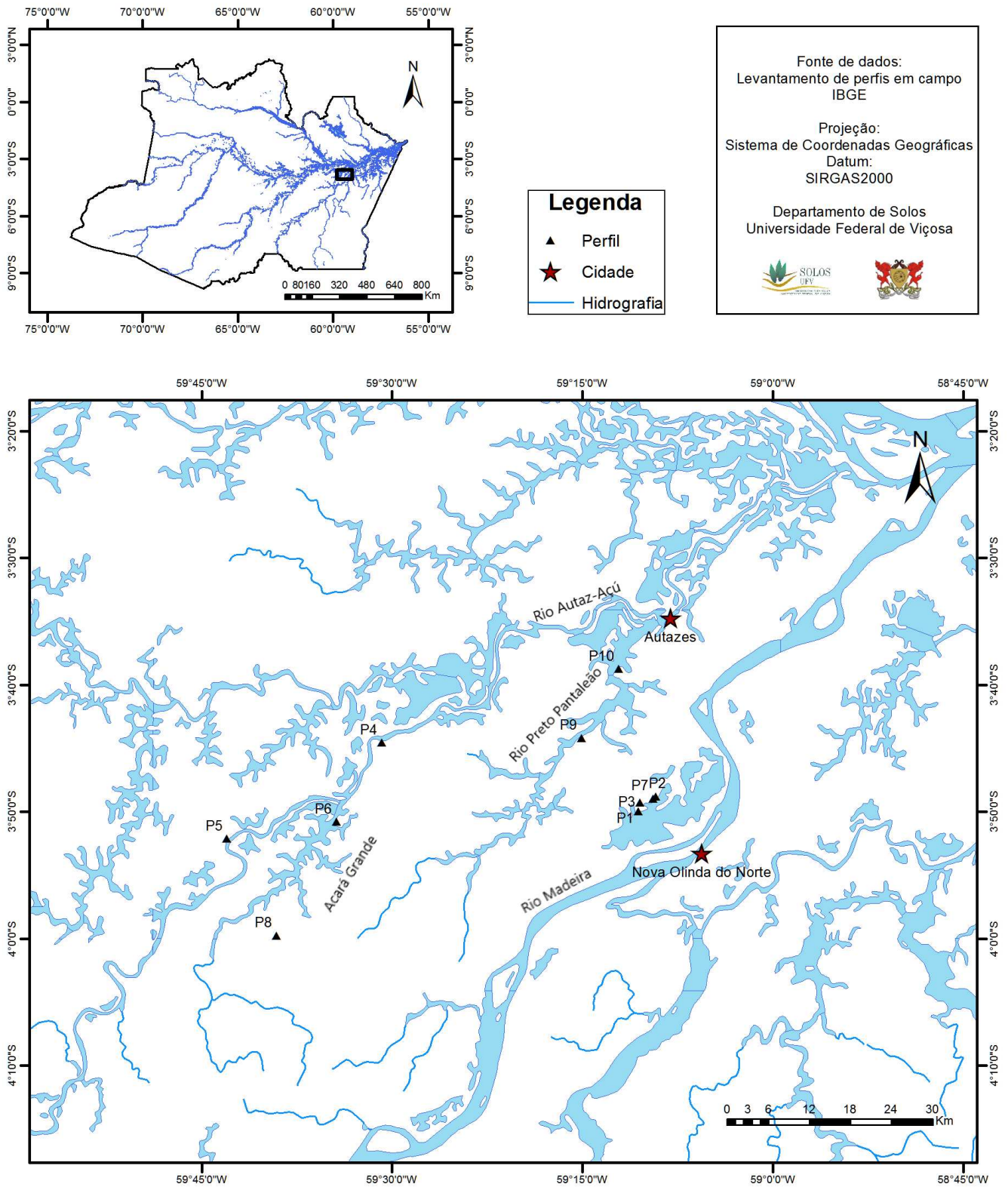
## **2. MATERIAL E METODOS**

A área de estudo está localizada no domínio da sub-bacia do rio Autaz-Açú, município de Autazes (Figura 1) região do Médio Amazonas. Geologicamente, a área insere-se na Bacia Sedimentar do Amazonas, na Formação Alter do Chão e em Terraço Superior. De acordo com Dino et al. (2012) a Formação Alter do Chão possui mais de 600 m de espessura e consiste em arenitos, siltitos, e argillitos, com conglomerados interconectados; com raros fósseis e, com cores variando em tons vermelho, amarelo e branco. Em geral, apresentam feições de bioturbação (Horbe et al., 2006), e internamente exibem fácies de arenito silicificado, informalmente denominados como "Arenito Manaus" (Albuquerque, 1922).

Na Formação Alter do Chão o relevo é formado por colinas e platôs sustentados por níveis de paleossolos lateríticos; nos terraços o relevo é menos dissecado, composto por colinas e vales suavizados (Gonçalves Junior et al. 2016), com predominância de Argissolos e Latossolos.

De acordo com a classificação de Koppen o clima é tropical úmido ou superúmido, sem estação seca (Af), com precipitação média anual de 2230 mm, temperatura média anual de 27 °C. De janeiro a abril ocorre o período mais chuvoso e junho a novembro período mais seco (Nimer, 1989).

Foram selecionados 10 sítios de TPAs, sendo cinco na Formação Alter do Chão e cinco em Terraço Superior. Tais Terraços apresentam idades variando de 240,000 a 51,000 anos (Gonçalves Junior et al., 2016). Nesses locais foram abertas trincheiras para descrição morfológica e coleta de solo de acordo com Santos et al. (2013).



**Figura-1.** Localização da área de estudos (Sub-Bacia do rio Autaz Açú).

Nas amostras foram determinados pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na relação 1 g: 2,5 ml; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> via extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificação por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA). Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> trocáveis, via extração com solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) e quantificado por fotometria de chama. Acidez total (H + Al), por meio de extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0, e quantificação por titulometria com NaOH 0,05 mol L<sup>-1</sup>. A extração de Zn, Mn, Fe e Cu disponíveis foi feita via extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 2011).

A partir dos resultados foram calculados SB = (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>); a CTC a pH 7 (T) = SB + (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), a CTC efetiva (t) = SB + (Al<sup>3+</sup>), a saturação por bases (V %) = SBx100/T e saturação por Al<sup>3+</sup> (m %) = Al<sup>3+</sup> x 100/ t conforme EMBRAPA, (2011).

O carbono orgânico foi determinado pelo método Walkley-Black, que usa a oxidação via dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,167 mol L<sup>-1</sup>) em meio ácido, seguida da titulometria de complexação com solução de sulfato ferroso (0,025 mol L<sup>-1</sup>).

P disponível foi extraído pela solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) com quantificação por colorimetria com ácido ascórbico segundo Braga e Defelipo (1974). O P-resina foi determinado pelo método da resina trocadora de cátions e ânions conforme EMBRAPA (2011) e quantificado pelo método colorimétrico de Braga e Defelipo (1974).

O fracionamento de P foi feito de acordo com o método de Chang e Jackson, (1957), realizando-se extrações sequenciais conforme a ordem que segue: para 0,5 g de TFSA, usou-se 50 ml das soluções de NH<sub>4</sub>Cl 1 mol L<sup>-1</sup> para extrair P solúvel, NH<sub>4</sub>F 0,5 mol L<sup>-1</sup> para extrair P alumínio, NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> para extrair P ferro, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,25 mol L<sup>-1</sup> para extrair P cálcio e fusão alcalina LiBO<sub>2</sub> para extrair P residual; o P extraído em cada fase foi quantificado pelo método colorimétrico de Murphy e Riley (1962).

A análise granulométrica foi realizada de acordo com Ruiz (2005), as frações foram dispersas com solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> por 16 horas de agitação em agitador tipo Wagner (50 rpm), areia foi separada por tamisação, silte e argila pelo método da pipeta (sedimentação).

A dissolução seletiva de Fe, Al, e Mn menos cristalinos e complexados à matéria orgânica, foram extraídos pelo método do oxalato de amônio (0,2 mol L<sup>-3</sup> - pH 3.0) na ausência de luz (Mckeague & Day, 1966). Já os teores destes mesmos

elementos, presentes em óxidos cristalinos, pouco cristalinos e complexados à matéria orgânica, foram quantificados pelo método do ditionito citrato bicarbonato (DCB), conforme Mehra & Jackson (1960). Foi calculada a relação Feo/Fed, que evidencia o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro.

A digestão total foi feita conforme EPA 3052 (USEPA, 1996) ajustada para o método do Bloco Digestor DigiPREP MS com tubos de teflon fechados. As amostras de TFSA foram trituradas com almofariz de ágata e peneiradas a 200 mesh, em tubos de teflon com capacidade para 50 ml, pesou-se 0,25 g das amostras, iniciou-se a digestão com a evaporação dos gases através da pré-digestão com HNO<sub>3</sub> 50% a 65°C, seguida da digestão com 3 mL de HNO<sub>3</sub> e 2 mL de HF ambos concentrados, em tubos fechados na temperatura de 110°C por 24 horas, a cada 3 horas as amostras foram sonificadas. O processo foi repetido por três vezes e finalizado com a evaporação do HF a 65°C.

Após a digestão, os elementos foram quantificados por espectrometria de emissão atômica óptica por plasma induzido (ICP-OES).

De posse dos resultados analíticos, os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013)

As datações foram feitas em fragmentos de carvão pirogênico pela técnica de radiocarbono (<sup>14</sup>C), no Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense (LAC-UFF). As amostras foram preparadas de acordo com a metodologia proposta por Macário et al. (2016). A calibração das idades foi realizada com OxCal versão 4.2 (Ramsey; 2009) utilizando o software de curva SHCal13 (Hogg et al., 2013) dentro de um intervalo de confiança de 2 sigmas, as idades modernas foram calibradas de acordo com Hua et al. (2013).

Para identificação dos minerais nas areia e argilas as amostras foram identificadas através da técnica de Difractometria de Raios-X em difratômetro da marca PanAnalytical - Modelo X'pert PRO, com tubo ânodo de cobalto. As amostras foram dispersas por 16 horas em agitador tipo Wagner (50 rpm), com solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, as frações foram separadas por tamisação (areia) e sedimentação (silte e argila).

Para identificação de minerais 2:1 foram feitos 4 (quatro) tratamentos conforme Whittig e Allardice (1986): saturação com magnésio (MgCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>), solvatação com etilenoglicol nas lâminas saturadas com magnésio; saturação com potássio (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); e aquecimento das lâminas saturadas com potássio a 350

e 550 °C. Todos os tratamentos foram feitos após a desferrificação das amostras com DCB.

Os difratogramas foram interpretados conforme Chen (1977) e Whittg e Allardice (1986).

Para comparar a fertilidade natural das TPAs do rio Autaz-Açú com as TPAs do rio Solimões/Amazonas, foram feitas análises estatísticas descritivas dos resultados das análises de rotinas, em 3 perfis TPAs estudados por Lima (2001) e nos 10 perfis deste trabalho, somente nos horizontes A antrópicos.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Descrição morfológica e características físicas**

A morfologia dos horizontes antrópicos dos solos estudados é marcada pela presença abundante de fragmentos de cerâmicas, com espessura do material variando de 0,4 a 2,5 cm, dimensão de 1 a 20 cm, e pela cor escura do horizonte antrópico, facilmente distinguível do horizonte subsuperficial, cromado.

A cor do solo é uma das características morfológicas mais importantes na identificação e separação de horizontes ou camadas. No caso das TPAs, a cor escura também é relacionada na literatura à quantidade e qualidade da matéria orgânica (Kern e Kämpf, 1989); o que, segundo Cunha et al. (2007), deve-se ao predomínio de húmína e ácidos húmicos, frações mais recalcitrantes e de cor mais escura, além da forte presença de carvão pirogenico encontrado em todos os perfis, originado da queima parcial de materiais orgânicos (Glaser et al., 2001).

Nas Terras Pretas Arqueológicas, a cor escura conjugada com a presença de materiais cerâmicos e líticos, dentro e na superfície do horizonte, são características marcantes para identificar um horizonte antrópico. Deve-se frisar que muitos dos agricultores que utilizam TPAs na região Amazônica, fazem usos dessas características morfológicas para identificá-las.

Nos solos estudados a cor úmida dos horizontes superficiais variou de 10 YR 2/1 preto a 10 YR 4/1 cinzento escuro e 7,5 YR 2,5/1 preto a 7,5 YR 3/2 bruno escuro; nos horizontes subsuperficiais as cores úmidas variaram de 2,5 YR 4/8 vermelho a 10 YR 6/8 amarelo brunado (Tabela 1), estas cores são semelhantes às cores avaliadas por Lima (2001) em TPAs de terras firmes nas proximidades do

rio Solimões/Amazonas, indicando que as cores das TPAs do rio Autaz-Açú são semelhantes às TPAs do rio Solimões/Amazonas.

**Tabela 1.** Cor, granulometria e classe textural das TPAs, Médio Solimões-AM.

Hor.	Prof.	Cor Úmida	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Classe Textural
Símb.	cm	Munsell	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, município de Autazes-AM (P1).							
Aup	0-5	10YR 2/2	473	89	134	304	Franco argilo arenoso
A2u	5-20	10YR 2/1	333	186	123	357	Franco argilo arenoso
AB	20-28/35	10YR 4/1	281	115	108	496	Argila
BA	28/35-40/45	10YR 4/2	207	75	62	655	Muito argilosa
Bt1	40/45-80	10YR 5/4	184	53	77	685	Muito argilosa
Bt2	80-110+	10YR 5/6	168	72	73	688	Muito argilosa
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Comunidade Josefa, município de Autazes-AM (P2).							
Au	0-12	10YR 3/1	463	117	110	310	Franco argilo arenoso
A2u	12-60	10YR 2/1	255	112	89	544	Argila
A3u	60-90	10YR 3/3	360	81	70	489	Argila
AB	90-110	10YR 3/4	330	96	100	473	Argila
BA	110-130	10YR 4/6	246	206	62	486	Argila
Bw	130-140+	10YR 6/8	255	76	45	624	Muito argilosa
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, município de Autazes-AM (P3).							
Aup	0-12	10YR 2/1	415	170	80	335	Franco argilo arenoso
A2u	12-50	10YR 2/2	339	91	82	489	Argila
A3u	50-70	10YR 3/2	323	93	91	494	Argila
AB	70-120	10YR 3/2	324	91	101	484	Argila
BA	120-140	10YR 3/4	246	77	60	617	Muito argilosa
Bw	140-180	10YR 5/6	215	81	71	634	Muito argilosa
Plintossolo Argilúvico Alítico Antrópico. Rio Autaz-Açú, município de Autazes-AM (P4).							
Aup	0-5	7,5YR 2,5/1	202	97	278	423	Argila
A2u	5-25	7,5YR 2,5/1	148	76	353	423	Argila
AB	25-35	5YR 2,5/1	149	73	315	464	Argila
BA	35-45	5YR 4/4 e 4/1	146	60	289	505	Argila
Bf1+Bf2	45-90+	2,5YR 5/8, 10R 3/6 e 5/5GY	32	23	199	746	Muito argilosa
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Rio Autaz-Açú, município de Autazes-AM (P5).							
Aup	0-5	10YR 2/1	99	97	555	249	Franco argilo siltoso
A2u	5-15	10YR 5/2	140	205	491	164	Franco
AB	15-25	10YR 4/1	139	203	485	173	Franco
BA	25-40/50	10YR 6/8 e 5/5GY	65	98	416	421	Argila siltosa
Bt	40/50-90+	10YR 6/8	28	69	313	590	Argila

Continuação da tabela 1.

Horiz.	Prof.	Cor Úmida	A.	A.	Silte	Argila	Classificação
Símb.	cm	Munsell	Grossa	Fina	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Lago Acará Grande, município de Autazes-AM (P6).							
Aup	0-8	7,5YR 3/2	17	70	516	396	Franco argilo siltoso
A2u	8-20	7,5YR 3/1	32	44	506	418	Argila siltosa
A3u	20-45	7,5YR 2,5/1	30	54	468	447	Argila siltosa
AB	45-55	7,5YR 3/2	30	40	458	472	Argila siltosa
BA	55-65	7,5YR 4/2	11	37	401	552	Argila siltosa
Bt	65-90+	5YR 5/6 e 7,5YR 4/1	6	20	249	724	Muito argilosa
Latossolo Amarelo Distrófico Petroplintico Antrópico. Borda Josefa, município de Autazes – AM (P7).							
Au	0-8	10YR 4/1	404	105	81	410	Argila
AB	8-25	10YR 4/2	320	99	112	469	Argila
BA	25-95	10YR 4/4	285	70	75	570	Argila
Bw	95-120+	10YR 5/6	275	76	44	604	Muito argilosa
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Lago Acará Grande, município de Autazes-AM (P8).							
Aup	0-5	10YR 3/2	552	116	82	250	Franco argilo arenoso
A2u	5-20	10YR 3/1	561	119	54	266	Franco argilo arenoso
AB	20-40	10YR 4/3	354	58	40	548	Argila arenosa
BA	40-60	10YR 4/4	302	57	11	631	Muito argilosa
Bt	60-140+	10YR 5/6	280	51	14	655	Muito argilosa
Argissolo Vermelho Distrófico Plintossolico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, município de Autazes-AM (P9).							
Aup	0-10	2,5 YR 2,5/1	344	107	211	338	Franco argiloso
A2u	10-20	2,5 YR 3/1	388	95	199	318	Franco argiloso
AB	20-30	2,5 YR 3/2	363	75	192	369	Franco argiloso
Bt	30-100+	2,5 YR 4/8	112	28	169	691	Muito argilosa
Plintossolo Argilúvico Distrófico Gleissólico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, município de Autazes-AM P(10).							
Aup	0-25	7,5 YR 2,5/1	111	163	409	317	Franco argiloso
A2u	25-50	7,5 YR 3/1	111	168	417	304	Franco argiloso
AB	50-65	7,5 YR 3/2	121	137	496	247	Franco argiloso
BA	65-75	7,5 YR 4/2	123	98	426	353	Franco argiloso
Bf	75-100+	7,5 YR 4/6, 2,5 YR 5/6 e 5/10Y	105	75	319	501	Argila

Para todos as TPAs, foi possível identificar horizontes transicionais, com cores que combinam a mistura de cores mais escuras dos horizontes superficiais (antrópico) e cores mais amareladas do horizonte subsuperficial. A matéria orgânica eluviada do horizonte antrópico recobre os agregados do horizonte B, formando feições de iluviação de material orgânico. A pedobioturbação por minhocas e cupins é generalizada e influencia na formação desses horizontes, sendo registrado muitos canais biológicos e galerias em todos os perfis.

Os horizontes A antrópicos apresentam espessura variável de 15 a 90 cm de profundidade, com textura média a argilosa. Já nos horizontes subsuperficiais B, a textura é muito argilosa, com exceção do P5 e P10, caracterizado como argila

(Tabela1). Smith (1980) encontrou características texturais semelhantes, e sugeriu que a exposição do solo decorrente da atuação antrópica promove a iluviação de argila, translocando e enriquecendo horizontes subsuperficiais. Para Teixeira et al. (2009), a predominância da textura mais arenosa em horizontes antrópicos parece relacionada ao cultivo, uso intenso do fogo e disponibilidade de material orgânico, que formam partículas organo-minerais bastante estáveis do tamanho da fração areia. Solos cultivados submetidos a temperaturas elevadas podem sofrer fusão de partículas orgânicas e minerais, resultando numa maior concentração de partículas (agregados) em tamanho de areia, dificultando a dispersão (Ketterings et al., 2000).

A estrutura dos horizontes A antrópicos caracteriza-se pelo grau fraco, com exceção de um horizonte que se identifica como moderada (P4), ambas com tamanho variando de pequena a média, e predominantemente do tipo blocos subangulares, exceto P6 e P8 com estrutura granular. Nos horizontes A antrópicos que apresentam estrutura primária do tipo blocos subangulares, quando se desfazem, formam estruturas secundárias de grau fraco, moderado ou forte, de tamanho pequena a média do tipo granular. O grau parece depender da intensidade de cultivo, diminuindo nas TPAs mais degradadas.

Os horizontes transicionais (AB e BA), apresentam estruturas variando de grau fraco a moderado; com tamanho variando de média a média/grande, e predominantemente do tipo blocos subangulares, com exceção do P6 com blocos angulares e subangulares.

Os horizontes B apresentam estruturas variando de grau moderado a moderado/forte; com tamanho variando de média a média/grande, e predominantemente do tipo blocos subangulares, com exceção do P6, em blocos angulares e subangulares. São estruturas que denotam o processo de podzolização.

### **3.2. Características químicas**

As características químicas dos solos estudados foram classificadas de acordo com Ribeiro et al. (1999), e revelaram influência da ocupação humana pré-colombiana. Os principais vestígios de uso por povos indígenas são os solos com horizontes A antrópicos, que se destacam por suas características químicas dos solos adjacentes.

Os valores de pH em água nos horizontes antrópicos variam de 4,26 (baixo) a 6,09 (alto), e diferem pouco dos horizontes subsuperficiais, devido à migração “por descensun” de compostos organo-minerais de horizontes antrópicos no perfil (Tabela 2). Os resultados são semelhantes a outras TPAs estudadas nas proximidades de Manaus (Falcão et al., 2009), nos quais foi observado fenômeno semelhante, isto é, camadas inferiores dos perfis com pH semelhante ou pouco mais baixos que os horizontes antrópicos sobrejacentes.

Os solos desenvolvidos da Formação Alter do Chão na Amazônia são naturalmente ácidos e de baixa fertilidade natural, sendo tais características químicas atribuídas à natureza do material de origem e condições bioclimáticas atuais (Lima et al., 2006; Schaefer et al., 2000).

Valores mais altos de pH encontrados em horizontes antrópicos estão relacionados ao acúmulo de cálcio e magnésio (Kern e Kämpf, 1989) oriundos da mineralização de detritos orgânicos e inorgânicos; Woods (2003) atribui os valores mais elevados de pH em horizontes antrópicos aos incrementos provenientes da queima de material orgânico, que incorporam cátions de reação alcalina.

Os valores de pH em KCl são sempre menores, variando entre 2,97 e 5,67. Isso faz com que o  $\Delta\text{pH}$  ( $\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ ) seja sempre negativo para todos os horizontes superficiais e subsuperficiais, indicando o predomínio de carga superficial líquida negativa.

A soma de bases, a CTC, a saturação por bases, e os teores de matéria orgânica tenderam sempre para valores superiores nos horizontes antrópicos (níveis bom ou muito bom) conforme Tabela 2. Neste sentido, conforme Glaser et al. (2001), o carvão pirogênico em TPAs é muito estável, mas sofre uma lenta oxidação nas bordas da sua estrutura aromática, desenvolvendo grupos carboxílicos que são responsáveis por potencializar a formação de complexos organo-minerais, incrementando a capacidade de troca de cátions.

**Tabela 2.** Caracterização Química, TPAs, Médio Solimões-AM.

Horiz	Prof. cm	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P			K <sup>+</sup>			Na <sup>+</sup>			Ca <sup>2+</sup>			Mg <sup>2+</sup>			Al <sup>3+</sup>			H+Al	SB	t	T	V	m	COT	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn
				-----mg/dm <sup>3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----			-----%-----			g/kg			mg/L			-----mg/dm <sup>3</sup> -----														
<b>Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, município de Autazes-AM (P1).</b>																																	
Aup	0-5	6,09	5,67	228,3	103	4,6	14,93	3,3	0	3,9	18,51	18,51	22,41	82,6	0	65,5	49,4	0,14	30,4	30,2	6,07												
A2u	5/20	5,86	5,23	314,5	61	3,6	12,64	2,19	0	5,5	15	15	20,5	73,2	0	45,5	41,2	0,28	34,2	46,8	4,81												
AB	20-28/35	5,49	4,32	328,9	35	4,6	5,64	1,39	0,1	6,9	7,14	7,24	14,04	50,9	1,4	18,5	38,1	0,34	7,7	84,4	1,5												
BA	28/35-40/45	5,2	3,91	368	27	4,6	3	0,95	1,27	6,8	4,04	5,31	10,84	37,3	23,9	7,5	33,6	0,43	2,2	66,2	0,64												
Bt1	40/45-80	4,81	3,81	381,7	20	3,6	1,71	0,57	2,44	7,9	2,35	4,79	10,25	22,9	50,9	6,7	32,9	0,51	2,2	54,9	0,5												
Bt2	80-110+	4,73	3,6	293,6	20	4,6	1,93	0,51	2,34	6,8	2,51	4,85	9,31	27	48,2	3,0	30,2	0,28	0,6	32,4	0,43												
<b>Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Comunidade Josefa, município de Autazes-AM (P2).</b>																																	
Au	0-12	5,15	4,55	120,1	67	3,6	8,06	1,02	0	7,4	9,27	9,27	16,67	55,6	0	30,0	38	0,38	57,5	34,8	5,63												
A2u	12/60	4,97	3,92	443,4	19	3,6	1,65	0,3	1,46	10,8	2,01	3,47	12,81	15,7	42,1	22,5	22,7	0,96	5,9	73,5	2,39												
A3u	60-90	4,81	3,93	1724,5	21	4,6	0,92	0,16	1,66	9,5	1,15	2,81	10,65	10,8	59,1	16,9	23,7	1,47	6	69,4	3,04												
AB	90-110	4,95	3,87	701,4	20	4,6	1,63	0,19	1,17	11,3	1,89	3,06	13,19	14,3	38,2	20,6	20,4	1,82	6,5	60,6	5,7												
BA	110-130	4,98	3,87	497	22	3,6	1,14	0,15	1,07	7,2	1,36	2,43	8,56	15,9	44	8,2	26	1,54	3,8	134,1	3,52												
Bw	130-140+	4,86	3,78	252,5	15	3,6	1,24	0,28	1,56	5,8	1,57	3,13	7,37	21,3	49,8	4,5	27,8	0,81	2,5	34,8	0,88												
<b>Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, município de Autazes-AM (P3).</b>																																	
Aup	0-12	5,36	4,5	34,5	36	6,6	7,51	0,65	0,1	7,6	8,28	8,38	15,88	52,1	1,2	30,0	34,8	0,25	25,2	23,3	2,7												
A2u	12/50	5,53	3,82	237,3	9	0	4,89	0,15	0,59	8	5,06	5,65	13,06	38,7	10,4	22,7	20,9	0,41	7,6	61,5	0,68												
A3u	50-70	5,13	4,01	186,7	5	0	2,22	0,12	2,15	10	2,35	4,5	12,35	19	47,8	14,2	14,3	0,35	6,5	63,7	0,58												
AB	70-120	5,07	3,97	219,1	3	0	1,89	0,13	2,24	9,3	2,03	4,27	11,33	17,9	52,5	8,0	16,2	0,34	2,8	78,3	0,52												
BA	120-140	5,18	4	84,6	2	0	2,64	0,23	1,66	8,5	2,88	4,54	11,38	25,3	36,6	8,0	19,3	0,1	0,9	65,8	0,28												
Bw	140-180	5,11	4	19	1	0	1,74	0,19	1,76	8,7	1,93	3,69	10,63	18,2	47,7	5,7	16,6	0,09	0,4	42,4	0,38												

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Na: Sódio trocável, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, t: capacidade de troca catiônica efetiva, T: capacidade de troca catiônica total a pH 7, m: percentagem de saturação por alumínio, COT: carbono orgânico total, P-Rem: fósforo remanescente, Cu, cobre trocável, Fe: ferro trocável, Zn: zinco trocável.

Continuação da tabela 2.

Horiz	Prof. cm	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	COT	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn
				-----mg/dm <sup>3</sup> -----											-----%-----	g/kg	mg/L				-----mg/dm <sup>3</sup> -----
<b>Plintossolo Argilúvico Alítico Antrópico. Rio Autaz-Açú, município de Autazes-AM (P4).</b>																					
Aup	0-5	5,43	4,57	174,4	54	2,2	10,15	1,89	0,1	9,7	12,19	12,29	21,89	55,7	0,8	56,9	34,1	0,72	93,8	51	5,45
A2u	5-25	5,17	4,12	511,6	12	2,2	2,78	0,3	2,93	15,9	3,12	6,05	19,02	16,4	48,4	25,9	9	2,24	12	94,4	3,95
AB	25-35	5,12	4,09	655,6	9	4,3	2,57	0,26	3,41	14,5	2,87	6,28	17,37	16,5	54,3	15,8	8,7	2,85	8	182,5	4,61
BA	35-45	5,18	3,99	339,9	10	1,2	2,99	0,33	4,88	12,1	3,35	8,23	15,45	21,7	59,3	6,4	7	2,11	4,7	198,4	2,59
Bf1+Bf2	45-90+	5,09	3,85	41,1	4	0	2,15	0,19	5,46	9,7	2,35	7,81	12,05	19,5	69,9	2,3	3,2	0,35	1,5	112,1	0,64
<b>Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Rio Autaz-Açú, município de Autazes-AM (P5).</b>																					
Aup	0-5	5,87	3,72	95,6	85	0,2	9,85	1,86	0	2,4	11,93	11,93	14,33	83,3	0	39,4	50,2	0,43	58,9	73,3	5,47
A2u	5/15	5,67	3,72	27,4	39	0	4,32	1,04	0	2,7	5,46	5,46	8,16	66,9	0	11,9	45,5	1,05	23,8	224,1	1,19
AB	15-25	5,38	3,72	35,7	21	0	1,74	0,63	0,68	4	2,42	3,1	6,42	37,7	21,9	4,9	32,3	1,42	7,8	784,8	0,76
BA	25-40/50	4,79	3,6	5,1	18	0	0,97	0,27	4	8	1,29	5,29	9,29	13,9	75,6	1,8	16,3	0,23	1,7	230,1	0,37
Bt	40/50-90+	5,14	3,2	1,7	9	0,2	0,57	0,1	5,46	8,5	0,69	6,15	9,19	7,5	88,8	1,0	7	0,15	1,9	70,9	0,22
<b>Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Lago Acará Grande, município de Autazes-AM (P6).</b>																					
Aup	0-8	4,53	3,91	52,1	53	0	2,98	0,44	1,95	13,5	3,56	5,51	17,06	20,9	35,4	41,4	14,9	0,31	27,8	101	1,87
A2u	8/20	5,09	4,5	48,1	13	0	0,72	0,12	3,61	13,7	0,87	4,48	14,57	6	80,6	29,7	5,1	0,41	8,4	38,4	1,17
A3u	20-45	4,61	3,94	190,1	11	0	0,51	0,06	4,39	16,7	0,6	4,99	17,3	3,5	88	35,2	4	0,58	7	40,5	1,81
AB	45-55	4,79	3,82	158,5	8	0	0,53	0,06	5,46	17,5	0,61	6,07	18,11	3,4	90	30,5	4,2	0,48	6,3	81,8	1,47
BA	55-65	4,72	4,19	50	6	0	0,5	0,07	5,56	10,5	0,59	6,15	11,09	5,3	90,4	11,1	4,8	0,23	2	178,8	0,89
Bt	65-90+	4,86	4,42	17	3	0	0,46	0,07	5,37	8,4	0,54	5,91	8,94	6	90,9	4,1	5,7	0,03	0,7	100,2	0,49
<b>Latossolo Amarelo Distrófico Petroplintico Antrópico. Borda Josefa, município de Autazes – AM (P7).</b>																					
Aup	0-8	4,28	4,06	144,6	12	0	0,69	0,17	1,85	8	0,89	2,74	8,89	10	67,5	12,6	26,4	0,05	7,6	46,6	0,33
AB	8/25	4,26	3,88	158,9	7	0	0,43	0,06	2,15	7,9	0,51	2,66	8,41	6,1	80,8	8,0	26,1	0,22	5,8	37,6	0,27
BA	25-95	4,57	4	158	1	0	0,32	0,05	2,15	7,7	0,37	2,52	8,07	4,6	85,3	2,6	20,6	0,23	1,8	18,4	0,16
Bw	95-120+	4,76	3,99	196,5	2	0	0,32	0,06	1,85	6,6	0,39	2,24	6,99	5,6	82,6	2,3	20,8	0,29	0,4	11,3	0,34

Continuação da tabela 2.

Horiz	Prof. cm	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	COT	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn
<b>Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Lago Acará Grande, município de Autazes-AM (P8).</b>																					
Aup	0-5	4,73	4,48	88,5	1	0	1,5	0,15	1,66	9,7	1,65	3,31	11,35	14,5	50,2	12,2	25,2	1,7	38,4	19,8	4,96
A2u	5/20	5,15	4,01	16,9	0	0	1,98	0,23	1,27	10,3	2,21	3,48	12,51	17,7	36,5	10,3	22,5	1,05	15,7	18,4	6,88
AB	20-40	5,2	4,17	18,6	0	0	1,5	0,41	1,17	5,3	1,91	3,08	7,21	26,5	38	4,9	21,2	0,65	3,9	15,2	0,57
BA	40-60	5,13	4,01	35,1	0	0	1,47	0,25	1,17	5,2	1,72	2,89	6,92	24,9	40,5	4,1	20,6	0,45	3,2	14,2	0,36
Bt	60-140+	5,2	4,15	36,9	0	0	1,17	0,12	1,07	5,2	1,29	2,36	6,49	19,9	45,3	1,0	21,3	0,22	2,2	13,3	0,34
<b>Argissolo Vermelho Distrófico Plintossólico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, município de Autazes-AM (P9).</b>																					
Aup	0-10	5,28	3,83	26,6	30	0	7,01	1,5	0	8,9	8,59	8,59	17,49	49,1	0	41,4	23,6	0,62	66,8	56,4	2,58
A2u	10/20	5,2	2,97	23,4	11	0	2,79	0,45	0,98	8,5	3,27	4,25	11,77	27,8	23,1	14,2	17,7	0,76	8,7	101,7	0,64
AB	20-30	5,19	3,87	37,4	6	0	2,18	0,28	1,27	8,4	2,48	3,75	10,88	22,8	33,9	11,9	15,4	1,21	5,9	204,9	0,42
Bt	30-100+	5,37	3,76	7	1	0	2,74	0,32	2,15	8	3,06	5,21	11,06	27,7	41,3	1,0	13,1	0,08	1	147,6	0,08
<b>Plintossolo Argilúvico Distrófico Gleissólico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, município de Autazes-AM P(10).</b>																					
Aup	0-25	4,56	3,79	70,7	10	0	2,55	0,3	1,27	10,1	2,88	4,15	12,98	22,2	30,6	25,8	21	1,05	14,3	127,6	2,09
A2u	25-50	4,85	4,11	196,5	4	0	1,31	0,09	1,95	9,7	1,41	3,36	11,11	12,7	58	12,6	18,6	1,61	3	222,4	1,71
AB	50-65	5,06	4,45	154,5	2	0	1,08	0,05	1,76	7,2	1,14	2,9	8,34	13,7	60,7	4,9	25	1,35	1,5	268,7	1,29
BA	65-75	5,3	3,76	65,1	1	0	1,68	0,09	2,44	6,6	1,77	4,21	8,37	21,1	58	2,3	21,7	0,67	0,9	252,4	0,75
Bf	75-100+	5,19	3,79	39,5	2	0	2,37	0,17	2,93	7,6	2,55	5,48	10,15	25,1	53,5	2,3	20,1	0,27	1	137	0,54

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Na: Sódio trocável, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, t: capacidade de troca catiônica efetiva, T: capacidade de troca catiônica total a pH 7, m: percentagem de saturação por alumínio, COT: carbono orgânico total, P-Rem: fósforo remanescente, Cu, cobre trocável, Fe: ferro trocável, Zn: zinco trocável.

Por outro lado, os valores de  $Al^{3+}$  trocável nos horizontes subsuperficiais são muito elevados (Tabela 2), conferindo caráter alítico ou alumínico ( $Al > 4 \text{ cmol}_c$ ) em P4, P5 e P6 (Tabela 2).

Considerando os horizontes superficiais antrópicos, os valores de  $Al^{3+}$  são baixos e implicam em saturação baixa ou nula por alumínio. Tal efeito é resultante da neutralização da acidez trocável pela decomposição do material descartado pela população pré-colombiana, elevando o pH e precipitando o  $Al^{3+}$ , formando horizontes com caráter eutrófico (Tabela 2).

De acordo com Glaser et al. (2001) e Cunha et al. (2009), a matéria orgânica pode contribuir para reduzir fortemente a deficiência de N, P, S, K, Ca, Mg, Zn e Cu, a toxidez de alumínio e aumentar a capacidade de troca de cátions, em geral.

Segundo Schaefer et al., (2000) os solos de terra firme da Amazônia apresentam extrema pobreza em fósforo, pH ácido, elevada saturação por alumínio, baixos valores de CTC efetiva e tendência de baixa adsorção de fósforo, pela natureza caulínica da fração argila.

A maior fertilidade comparada dos solos antrópicos é expressa pelo aumento dos valores de P, Ca, Mg, K, Cu, Mn, Zn e MO (Smith, 1980; Zech et al., 1990), principalmente nos horizontes antrópicos. O  $Ca^{2+}$ , por exemplo, apresentou valores entre 0,32 a 14,93  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  e o Mg entre 0,12 a 3,3  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  ambos variam de muito baixo a muito alto, tendendo sempre a valores menores em horizontes não antrópicos, indicando que  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  são elementos fortemente antropogênicos, (Tabela 2).

Esse enriquecimento químico não é, contudo, exclusivo dos horizontes superiores, já que pode se estender aos horizontes subjacentes em decorrência da migração (Tabela 2), consistente com o que foi observado por Silva et al. (2011). Além da mobilidade dos elementos, é preciso considerar que o maior ou menor enriquecimento dos solos a partir da gênese dos horizontes antrópicos está relacionada ao tempo e densidade da ocupação humana nas áreas (Costa et al., 2009; Silva et al., 2011; Campos et al., 2012).

O  $K^+$  em horizontes antrópicos apresentou valores variando de 0 (muito baixo) a 103  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (bom), com teores maiores de  $K^+$  em todos os horizontes A antrópicos superficiais, o que evidencia uma adição antrópica (Tabela 2). Lima et al. (2002) e Silva et al. (2011) também encontraram teores de  $K^+$  variando de muito

baixo a bom, e este deve ser um atributo importante para o sucesso dos cultivos (Lehmann et al., 2003).

### **3.3 Análises comparativas das TPAs do rio Autaz com TPAs do Solimões/Amazonas.**

As tabelas 3 e 4 apresentam as análises estatísticas descritivas das TPAs do rio Autaz e do rio Solimões/Amazonas. Observa-se que as médias de pH em água,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H+Al}$ ,  $\text{SB}$ ,  $\text{V}$ , dos horizontes A antrópicos das TPAs do rio Autaz-Açú quando comparado com as médias das características dos horizontes A antrópicos estudados por Lima (2001) em pedoambientes de terras firmes no rio Solimões/Amazonas, são menores para todas as características, exceto carbono orgânico total, indicando menor fertilidade natural nos pedoambientes das TPAs mais distantes do rio Amazonas.

Como a disponibilidade de recursos naturais foi bem maior nas TPAs da calha do Solimões/Amazonas, ao longo do tempo proporcionou maior tempo de ocupação maior densidade populacional indígena, utilizando tais recursos, originando TPAs com maior fertilidade natural. Em contrapartida os esgotamentos mais rápidos dos recursos alimentares nos afluentes de águas mais pobres conduziram as TPAs com tempo de ocupação mais curto, e adições menos ricas e frequentes.

Portanto, as TPAs do rio Autaz-Açú onde a escassez de recursos naturais, provavelmente limitou o aumento da densidade populacional, possuem também menor tamanho médio que as TPAs do rio Solimões/Amazonas. A escassez de recursos naturais fez com que esses povos abandonassem mais cedo essas áreas, permanecendo assim por menos tempo que os povos das TPAs do rio Solimões/Amazonas. Essa hipótese está de acordo com Silveira et al. (2016), para quem manchas de TPAs menos profundas, e com menor quantidade de material, são provavelmente decorrentes de uma ocupação menos densa e/ou de curta duração.

No rio Autaz-Açú encontrou-se TPAs apenas em pedoambientes de Terras Firmes, enquanto no rio Solimões/Amazonas as TPAs se fazem presente até mesmo nas Várzeas (Macedo, 2009; Souza, 2011; e Macedo, 2014). Pode se supor uma adequação cultural das comunidades ribeirinhas pre-colombianas por parte do rio Solimões/Amazonas quando comparado aos mesmos povos habitantes da bacia do rio Autaz-Açú.

**Tabela 3.** Estatística descritiva dos horizontes A antrópicos TPAs no Solimões/Amazonas, extraídos de Lima (2001).

Variável	N.	Méd.	Median.	Mini.	Maxi.	Var.	D.Pad.	Coef.Var.	Ass.	Curt.
pH H <sub>2</sub> O	9	6,1	6,3	5,2	6,5	0,2	0,5	8,2	-1,4	0,5
P (mg/dm <sup>3</sup> )	9	1874,8	1991,0	136,0	3921,0	1930914,9	1389,6	74,1	0,2	-1,3
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9	7,2	6,6	2,4	14,1	20,0	4,5	62,0	0,7	-0,8
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9	0,7	0,5	0,3	1,3	0,1	0,3	53,1	1,0	0,0
K (cmol/dm <sup>3</sup> )	9	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	49,9	-0,7	0,0
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9	8,0	7,2	2,7	15,6	21,4	4,6	58,0	0,7	-0,6
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,2	218,5	2,3	5,1
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9	5,5	6,2	3,5	7,0	1,6	1,3	23,0	-0,7	-1,3
T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9	13,5	11,9	6,8	22,0	26,3	5,1	38,1	0,7	-0,4
t (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	9	8,0	7,2	3,2	15,6	20,7	4,5	56,5	0,8	-0,6
V (%)	9	55,7	53,0	30,0	71,0	207,3	14,4	25,9	-0,5	-0,7
m (%)	9	2,0	0,0	0,0	14,3	22,9	4,8	234,8	2,6	7,0
COT g/kg	9	30,2	34,2	17,1	35,3	52,9	7,3	24,1	-1,4	0,4
Areia g/kg	9	493,3	510,0	400,0	600,0	4350,0	66,0	13,4	0,0	-0,6
Silte g/kg	9	124,4	130,0	50,0	190,0	2202,8	46,9	37,7	-0,2	-0,8
Argila g/kg	9	380,0	360,0	300,0	460,0	3225,0	56,8	14,9	0,3	-1,0

**Tabela 4.** Estatística descritiva dos horizontes A antrópicos TPAs no Autaz-Açú.

Variável	N.	Méd.	Median.	Mini.	Maxi.	Var.	D.Pad.	Coef.Var.	Ass.	Curt.
pH H <sub>2</sub> O	33	5,1	5,1	4,3	5,9	0,2	0,4	7,6	-0,2	0,2
P (mg/dm <sup>3</sup> )	33	236,1	158,5	16,9	1724,5	103000,3	320,9	135,9	3,4	14,5
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	33	3,8	2,2	0,4	14,9	13,8	3,7	98,9	1,6	1,9
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	33	0,6	0,3	0,1	3,3	0,6	0,8	120,8	1,9	3,6
K (cmol/dm <sup>3</sup> )	33	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	106,8	1,6	2,0
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	33	4,5	2,5	0,5	18,5	20,3	4,5	100,9	1,7	2,3
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	33	1,5	1,3	0,0	5,5	1,8	1,3	91,2	1,1	1,4
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	33	9,1	8,9	2,4	17,5	13,9	3,7	40,9	0,4	0,1
T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	33	13,6	13,0	6,4	22,4	17,5	4,2	30,8	0,4	-0,5
t (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	33	5,9	4,5	2,7	18,5	14,1	3,8	63,3	1,9	3,4
V (%)	33	30,3	20,9	3,4	83,3	537,7	23,2	76,4	1,0	-0,1
m (%)	33	35,6	36,5	0,0	90,0	812,6	28,5	80,0	0,2	-1,0
COT g/kg	33	67,7	55,7	14,5	194,8	2052,0	45,3	66,9	1,1	0,8
Areia g/kg	33	370,8	412,0	70,0	680,0	26699,1	163,4	44,1	-0,2	-0,4
Silte g/kg	33	238,4	134,0	40,0	555,0	31695,1	178,0	74,7	0,6	-1,4
Argila g/kg	33	390,8	410,0	164,0	655,0	12930,9	113,7	29,1	-0,1	-0,3

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, t: capacidade de troca catiônica efetiva, T: capacidade de troca catiônica total a pH 7, S: saturação por bases, m: percentagem de saturação por alumínio, C: carbono orgânico, N: número de amostra, Méd: média, Median: mediana, Mini: mínima, Maxi: máxima, Var: variância, D.Pad: desvio padrão, Coef.Var: coeficiente de variação, Ass: assimetria, Curt: curtose.

De acordo com Silveira et al. (2016) a região amazônica foi ocupada por uma grande diversidade de povos e culturas, em uma longa e dinâmica trajetória de

desenvolvimento, sendo marcada por adaptação à disponibilidade dos recursos naturais existentes, assim como o manejo do ambiente/paisagem.

### 3.4. Idades das TPAs do rio Autaz-Açú, Médio Solimões.

Os sítios de TPAs estudadas apresentam idades que variam de 960 – 470 (mais recentes) a 1990 - 1957 (mais antigas) anos AP. Logo, essa variação indica períodos de ocupações diferentes de aproximadamente 1250 anos, e marca o início da chegada dos povos agricultores há aproximadamente 2000 anos AP. De acordo com Neves (2006), sítios de TPAs marcam o início da agricultura e maior sedentarização na Amazônia, e referencia o movimento co-evolutivo no qual os seres humanos e as plantas domesticadas desenvolvem uma dependência mútua.

**Tabela 5.** Idades das TPAs estudadas na bacia do rio Autaz-Açú, Médio Solimões.

Perfil	Localização	Cód. LACUFF	Idade ( <sup>14</sup> C)	Idade Max.	Idade Min.	Probabilidade (%)
			AP	Cal (AP)	Cal (AP)	
P2	Distrito Sampaio	160285	930	930	680	95,4
P2	Distrito Sampaio	160286	997	960	760	95,4
P3	Distrito Sampaio	160287	847	880	650	95,4
P3	Distrito Sampaio	160288	542	640	470	95,4
P5	Rio Autaz-Açú	160289	793	760	560	95,4
P6	Lago Acará Grande	170206	1969	1990	1750	95,4

Cód. LACUFF: código do laboratório de radiocarbono da Universidade Federal Fluminense; AP: antes do presente; C<sup>14</sup>: carbono 14.

O sítio de TPA mais antigo neste estudo foi registrado nas margens do lago do Acará Grande (1990 - 1957 anos AP), pertencendo a rede de drenagem do rio Autaz-Açú afluente do rio Madeira (Tabela 5). Sugere-se, que, os povos agricultores, atualmente registrados pelos sítios de TPAs mais antigos, com idade de 4000 anos AP, na região do Alto rio Madeira no Estado de Rondônia (Neves, 2006), desceram para o Baixo/Médio Madeira e vieram a ocupar a região do afluente Autaz-Açú e toda a sua região.

As idades das TPAs do rio Autaz-Açú estão consistentes com as idades médias descrita por Neves (2006), 2000 anos AP para a região do Médio Solimões/Amazonas, indicando que sua chegada é cronologicamente correta.

### 3.5. O comportamento do fósforo (P)

Considerando que o P é um elemento chave de relevância nos estudos dos solos antrópicos, sendo seu comportamento um dos principais indicadores de gênese e evolução desses solos, optou-se por analisar suas distintas formas por fracionamento.

Em se tratando do P disponível (Mehlich-1), foram encontrados valores entre 16,9 e 1724,5 mg/dm<sup>3</sup>. O maior acúmulo de P ocorreu na porção inferior dos horizontes antrópicos (A3u) em P2, P6 ou horizonte de transição (AB), em P3, P4 podendo atingir também os horizontes mais profundos (P1 e P7), (Tabela 2). Neste sentido, há três situações possíveis para explicar: i) enriquecimento de P a partir da decomposição de materiais nos horizontes superiores; ii) P transportado por descensun pela iluviação da matéria orgânica decomposta para camadas inferiores do perfil e iii) depleção nos valores de P por cultivo e/ou menor acúmulo na camada superior.

Para a situação (i), os trabalhos antecedentes de: Smith, (1980); Kern & Kämpf, (1989); Schaefer et al. (2000); Glaser et al. (2001); Lima et al. (2002); Lehmann et al. (2003); Schaefer et al. (2004), Kämpf & Kern, (2005); Souza et al. (2009), Teixeira et al. (2009); Glaser e Birks, (2012); Campos et al. (2013) apontam uma concordância geral de que o incremento de P, Ca, Mg, K, Mn e Zn nos horizontes antrópicos estão associados a descartes superficial ou enterros de resíduos orgânicos como: fezes, ossos de animais, escamas e espinhas de peixes, lenha, carvão, palhas, cerâmicas, cinzas, restos funerários humano, lixos entre outros resíduos.

Considerando-se que a maioria dos materiais orgânicos descartados sofreu queima parcial em temperaturas relativamente baixas, que, não chegaram a produzir cinzas, facilmente perdidas, produziu-se carvão pirogênico. Este material aumenta a retenção de nutrientes, a estabilidade da matéria orgânica, e também a capacidade de troca catiônica, sendo resistente à degradação biológica (Glaser et al., 2001); tal conjunto de fatores faz com que a Terra Preta Arqueológica mostre teores de nutrientes que parecem não exaurir tão rapidamente ou facilmente com o cultivo.

Contudo, os teores de P podem ser reduzidos ao longo do tempo em superfície, ou ainda transportado para profundidades inferiores, eluviado,

retratando a situação ii. Esse processo está claramente associado a certa mobilidade de P em profundidade. De fato, é possível observar feições de iluviação de material orgânico generalizado, provenientes do horizonte antrópico superior, recobrando agregados de horizontes subsuperficiais, revelando transporte de P em profundidade. Outro fator que contribui para o acúmulo de P em profundidades é a pedobioturbação (Schaefer et al., 2004) indicada pela presença marcante e generalizada de muitos canais biológicos, em todos os perfis estudados, especialmente de minhocas.

Kern e Kämpf (1989) também encontraram valores mais altos de P em horizontes de transição. Segundo Lima et al. (2002), o acréscimo de P nos horizontes ou camadas abaixo dos horizontes antrópicos está relacionada a mobilidade do fósforo, que é favorecida pelo acúmulo de material orgânico.

Na situação iii, uma depleção dos valores de P nos horizontes mais superficiais, isto é em Ap (Tabela 2), pode ser explicada não só pela lixiviação já postulada, mas também pela erosão e consumo pelas plantas cultivadas.

Destaca-se que os perfis P5, P8 e P9 apresentaram os menores valores de P variando de 16,9 a 95,6 mg/dm<sup>3</sup>. Tais sítios são exatamente áreas que foram cultivadas por longo período, como reportam moradores locais. No entanto, em P8 há registros históricos de pouco cultivo, mas como sua textura é bem mais arenosa (Tabela 1), a remoção de P deve ocorrer mais facilmente. Souza et al. (2009) descrevem resultados semelhantes em solos com horizontes antrópicos com textura arenosa, atribuindo a degradação acelerada e em curto tempo de cultivo.

O P extraído com resina nos horizontes antrópicos apresenta valores variando de 5,89 a 96,61 mg kg<sup>-1</sup>, sempre inferiores aos valores de P (Mehlich-1). O comportamento geral mostrou também uma maior concentração de fósforo (resina) nos horizontes antrópicos em maiores profundidades (A3 e AB), indicando acúmulo de P nos horizontes de transição (Tabela 6).

**Tabela 6.** Fósforo: Mehlich, Resina, Fracionamento e Total, em TPAs na bacia do rio Autaz-Açú no Médio Solimões-AM.

Horiz. Símb.	P-Resina Resina	P-Mehlich 1 Mehlich	P-Solúvel NH <sub>4</sub> Cl	P-Al NH <sub>4</sub> F	P-Fe NaOH	P-Ca H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P-Residual F. Alcalina	P-Total EPA 3052
-----mg kg <sup>-1</sup> -----								
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, município de Autazes-AM (P1).								
A2u	32,53	314,50	13,33	636,66	285,85	65,24	203,30	2653,00
AB	43,65	328,90	10,28	848,04	535,08	205,85	261,04	2914,67
Bt2	69,65	293,60	21,14	824,65	428,78	36,18	235,90	2529,44
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Comunidade Josefa, município de Autazes-AM (P2).								
A2u	33,17	443,40	10,28	1435,40	830,76	249,91	243,43	4099,43
AB	96,61	701,40	11,81	1635,99	870,96	373,64	190,07	3983,14
Bw	51,25	252,50	12,57	590,78	500,24	73,68	230,92	2027,91
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, município de Autazes-AM (P3).								
A2u	23,89	237,30	0,38	664,54	397,52	162,73	155,62	1817,12
AB	37,25	219,10	5,52	573,69	432,35	156,17	185,74	1817,12
Bw	5,73	19,00	nd	107,76	313,55	71,80	208,33	864,95
Plintossolo Argilúvico Alítico Antrópico. Rio Autaz-Açú, município de Autazes-AM (P4).								
A2	66,21	511,60	2,67	1170,06	922,77	584,55	386,55	5255,12
AB	85,89	655,60	6,47	1044,13	1297,06	726,10	429,22	5153,37
Bf1+Bf2	20,53	41,10	nd	174,32	530,62	460,82	461,85	1831,66
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Rio Autaz-Açú, município de Autazes-AM (P5).								
A2u	5,25	27,40	nd	94,27	96,48	146,79	107,93	915,83
AB	15,73	35,70	nd	94,27	177,77	203,04	110,44	1170,23
Bt	0,21	1,70	nd	60,99	176,87	123,36	168,17	712,31
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Lago Acará Grande, município de Autazes-AM (P6).								
A2u	5,89	48,10	nd	150,93	220,64	73,68	406,63	1533,65
AB	24,05	158,50	nd	412,69	431,46	84,93	446,79	1689,93
Bt	43,09	17,00	nd	111,36	394,84	70,15	366,47	1210,20
Latossolo Amarelo Distrófico Petroplintico Antrópico. Borda Josefa, município de Autazes – AM (P7).								
Aup	40,53	144,60	5,71	300,25	296,57	90,55	200,80	1417,36
AB	53,73	158,90	3,24	399,19	366,25	59,62	238,45	1780,78
Bw	67,57	196,50	5,90	386,60	200,99	53,06	225,90	1606,34
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Lago Acará Grande, município de Autazes-AM (P8).								
A2u	17,41	16,90	nd	105,06	160,79	77,43	153,11	1235,64
AB	25,17	18,60	nd	92,47	334,09	159,92	200,80	1417,36
Bt	42,77	36,90	nd	98,76	346,60	94,30	230,92	3387,12
Argissolo Vermelho Distrófico Plintossólico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, município de Autazes-AM (P9).								
A2u	19,57	23,40	nd	120,35	273,35	94,30	225,90	1497,31
AB	27,57	37,40	nd	137,44	374,29	299,59	266,06	1620,88
Bt	35,33	7,00	nd	99,66	284,96	98,99	336,35	835,88
Plintossolo Argilúvico Distrófico Gleissólico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, município de Autazes-AM (P10).								
A2u	11,89	196,50	nd	551,21	1178,25	318,34	268,57	3060,04
AB	53,25	154,50	nd	409,99	755,73	112,11	215,86	2834,71
Bf	76,61	39,50	nd	136,54	487,74	90,55	276,10	1271,99

P-Al: fósforo-alumínio, P-Fe: fósforo-ferro, P-Ca: fósforo cálcio, nd: não detectado.

O fracionamento do P nos perfis demonstra um domínio das formas de P-Al e P-Fe, seguido de P-Ca (Tabela 6). Comparando os perfis o P4, expressou maiores valores de P-Ca, da ordem de 460,82 a 726,10 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 6). Nesse solo foram identificados pequenos fragmentos de ossos, o que leva a supor que a fonte P-Ca ainda está diretamente relacionada com a dissolução de remanescentes ósseos, mais abundante neste caso. Segundo Schaefer et al. (2004) e Lima et al. (2002), resíduos orgânicos, ossos de mamíferos e quelônios, e espinhas de peixes são as fontes primárias de P-Ca, sendo comumente observado em seções finas de solos.

Os resultados encontrados são semelhantes aos de Lima et al. (2002). Nesse estudo, o autor atribui a relação entre as formas de P a partir de uma progressiva transformação de P-Ca em P-Al e P-Fe, sobretudo com a acidificação do meio. Assim, a manutenção de formas de P-Ca estaria relacionada à manutenção de condições menos ácidas ou menos reativa, e sua progressiva substituição por formas mais estáveis de P-Al e P-Fe seria um importante indicador da evolução desses solos. O mesmo parece ser observado nos solos estudados, onde a fonte de P-Ca originária de ossos, (descarte de animais ou de sepultamentos humanos), que é de menor estabilidade, foi parcialmente degradada e transformada em formas de P-Al e P-Fe, mais estáveis com o tempo. De acordo com Kern & Kämpf (1989), com o passar do tempo o P é adsorvido à matéria orgânica e principalmente retido em formas diversas de Al e Fe. Souza et al. (2009) encontrou predomínio de P-Ca em TPA de várzeas, indicando pouca alteração e reação limitada da apatita primária em ambiente de enterramento aluvial, e atribuiu a ocorrência à maior estabilidade e depósitos de resíduos mais recentes nos aluviões.

Os ambientes de terra firme onde estão presentes as terras pretas arqueológicas são muito ácidos e muito intemperizados, o que impossibilita a permanência das fontes primárias de P-Ca (apatitas biogênicas), e favorece a formação de formas mais estáveis ao ambiente ácido como P-Al e P-Fe.

Os resultados de P-Ca corroboram com Sato et al. (2009), que sugerem que a forma P-Ca em TPAs com mais 2000 anos não ultrapassam 3% dos teores de P-total. Observou-se nos sítios de TPAs mais recentes (960 – 470 anos) P-Ca variando de 8,30 a 17,35% do P total e em sítios com idades mais antigas (1990 –

1957) atingiu-se 5,02 % do P total (Tabela 7). A redução dos teores da forma P-Ca tem direta relação com o tempo, bem como as características física e químicas do solo e condições climáticas.

**Tabela 7.** Percentuais de P-Ca em TPAs com idades diferentes.

Perfil	Localização	Idade Max. Cal (AP)	Idade Min. Cal (AP)	Percentuais P-Ca %
P2	Distrito Sampaio	930	680	9,46
P2	Distrito Sampaio	960	760	9,23
P3	Distrito Sampaio	880	650	8,59
P3	Distrito Sampaio	640	470	8,30
P5	Rio Autaz-Açú	760	560	17,35
P6	Lago Acará Grande	1990	1750	5,02

AP: antes do presente.

### **3.6. Dissolução seletiva por ditioníto citrato bicarbonato de sódio e oxalato de amônio.**

Os teores de  $Fe_d$  extraídos por ditioníto citrato bicarbonato (DCB) variaram de 15,91 a 66,15 g kg<sup>-1</sup> para os horizontes A antrópicos, e de 16,17 a 58,54 g kg<sup>-1</sup> em horizontes B. De forma geral não foi notado diferença expressiva entre os horizontes (Tabela 8), como reflexo da uniformidade do material de origem dos solos.

Estes valores são relativamente baixos, em função do material de origem que não contem altos teores de Fe em sua composição, como reportado por Lima (2001).

Apesar da semelhança de  $Fe_d$  entre os horizontes A e B, ocorre uma exceção no P-5 Plintossolo, que apresentam aumento de  $Fe_d$  no horizonte B plíntico 58,54 g kg<sup>-1</sup> quando comparado ao horizonte A antrópico 15,91 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 8). Segundo Lima (2001), nos Plintossolos ocorre migração lateral ou vertical de ferro, com precipitação e segregação nos horizontes subsuperficiais, desenvolvendo plintita, que resulta em teores mais elevados de  $Fe_d$  na parte inferior do perfil, representando um enriquecimento absoluto.

Os teores de óxidos de  $Fe_d$  foram maiores que os teores de óxidos de  $Fe_o$  indicando de maneira geral um predomínio das formas de óxidos de ferro de melhor cristalinidade para todos os perfis. A relação  $Fe_o/Fe_d$  apresentou valores variando de 0,04 a 0,79 para os horizontes A antrópicos superficiais e 0,01 a 0,27 para os horizontes B subsuperficiais.

Os valores mais baixos da relação de  $Fe_o/Fe_d$  0,01 a 0,06 foram encontrados nos Bw e Bt, evidenciando a predominância de forma de óxidos de ferro, com maior grau de cristalinidade (goethita), indicada pela sua alta estabilidade e termodinâmica em ambientes aeróbicos (Kämpf e Curi, 2000).

**Tabela 8.** Alumínio, ferro e manganês extraídos por ditioníto citrato bicarbonato (DCB) e oxalato de amônio na fração argila, em TPAs na bacia do rio Autaz no Médio Solimões.

Horiz. Símb.	Ald	Alo	Fed	Feo	Mnd	Mno	Feo/Fe <sub>d</sub>
-----g/kg-----							
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, Autazes-AM (P1)							
A2u	4,60	3,07	23,51	5,49	0,08	0,08	0,23
Bt2	4,51	2,62	19,82	1,13	0,00	0,01	0,06
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Comunidade Josefa, Autazes-AM (P2)							
A2u	10,44	8,17	41,03	5,26	0,27	0,23	0,13
Bw	6,48	2,59	33,95	0,85	0,01	0,02	0,02
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Distrito Sampaio, Autazes-AM (P3)							
A2u	5,88	4,79	17,94	1,96	0,05	0,06	0,11
Bw	3,76	2,35	16,17	0,67	0,02	0,01	0,04
Plintossolo Argilúvico Alítico Antrópico. Rio Autaz-Açú, Autazes-AM (P4)							
A2u	9,12	8,63	54,05	14,47	1,00	0,98	0,27
Bt1+2	3,83	2,17	38,72	5,63	0,00	0,01	0,15
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Rio Autaz-Açú, Autazes-AM (P5)							
A2u	2,40	3,15	15,91	12,60	0,34	0,38	0,79
Bpl	9,40	2,65	58,54	1,55	0,01	0,02	0,03
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Lago Acará Grande, Autazes-AM (P6)							
A2u	10,31	4,88	51,84	6,33	0,25	0,24	0,12
Bt	8,21	2,68	46,44	2,23	0,03	0,05	0,05
Latossolo Amarelo Distrófico Petroplintico Antrópico. Borda Josefa, Autazes – AM (P7)							
A2u	6,98	2,68	37,46	1,81	0,05	0,05	0,05
Bw	6,17	2,17	35,79	0,45	0,01	0,03	0,01
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Lago Acará Grande, Autazes-AM (P8).							
A2u	10,16	2,62	48,61	1,91	0,84	0,82	0,04
Bt	8,84	1,85	41,78	0,51	0,03	0,04	0,01
Argissolo Vermelho Distrófico Plintossolico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, Autazes-AM (P9)							
A2u	10,70	4,76	66,15	12,43	0,52	0,54	0,19
Bf	6,97	1,77	56,72	1,84	0,01	0,02	0,03
Plintossolo Argilúvico Distrófico Gleissólico Antrópico. Rio Preto Pantaleão, Autazes-AM (P10).							
A2u	6,28	5,08	51,42	20,53	0,54	0,58	0,40
Bf	5,89	2,85	39,41	10,82	0,02	0,04	0,27

Ald: alumínio ditioníto, Alo: alumínio oxalato, Fed: ferro ditioníto, Feo: ferro oxalato, Mnd: manganês ditioníto, Mno: manganês oxalato, Feo/Fed: relação ferro oxalato/ferro ditioníto.

Já os valores mais altos da relação  $Fe_o/Fe_d$  foram encontrados com mais frequência nos horizontes A antrópicos superficiais, aumento dos teores de ferro de

baixa cristalinidade com influência antrópica. Isto é possível devido a ação inibidora da matéria orgânica na cristalização de óxidos de ferro (Schwertmann e Taylor, 1989). Também foram encontrados valores altos da relação  $Fe_o/Fe_d$  (0,27) em B plíntico com caráter gleissólico (P-10). Segundo (Kämpf e Curi, 2000) ambiente com regime hídromórficos, contribui na manutenção de teores relativamente elevados de formas de ferro de menor grau de cristalinidade; Conforme Kampf et al. (2009) a dinâmica do Fe em ambiente hidromórfico tende a reduzir, e reprecipita em formas menos cristalinas como ferrihidrita e lepidocrocita.

Os teores de óxidos de manganês extraídos por DCB e oxalato apresentaram resultados semelhantes, contudo ocorre um ligeiro aumento nos horizontes A antrópicos, para ambos extratores. Isto é possível devido a concentração de Mn nos horizontes Antrópicos, pois conforme Kern e Kamp (1989), Mn é um elemento indicador de TPAs.

Os teores de óxidos de  $Al_d$  extraídos por DCB são ligeiramente maior que os valores de óxidos de  $Al_o$  extraído por oxalato (Tabela 8). Observa-se que os dois extratores apresentam maiores teores nos horizontes A antrópicos, onde ocorre os maiores teores da matéria orgânica, presume-se que a matéria orgânica estar complexando alumínio, o que contribui para a preservação do mesmo. Os maiores valores de  $Al_d$  correspondem ainda à ocorrência de substituições isomórficas de Fe por Al nas estruturas dos óxidos de ferro, notadamente na goethita (aluminosa), mais comum nesses solos (Schwertmann e Taylor, 1989).

### **3.7. Digestão total da terra fina seca ao ar (TFSA)**

Os resultados da digestão total da TFSA (terra fina seca ao ar), avaliados nos horizontes A antrópicos e nos horizontes B subpericiais evidenciam que elementos químicos estão associados a atividades antrópicas. A digestão total é considerada importante para conhecer a composição química das Terras Pretas Arqueológicas, embora existam poucos trabalhos que reportam a composição química total das TPAs.

Os maiores teores de  $P_2O_5$ , CaO, MgO e MnO foram encontrados nos horizontes A antrópicos (Tabela 9), evidenciando associação com atividades antrópicos, em função dos descartes de resíduos orgânicos, como: ossos de animais, escamas e espinhas de peixes, palhas utilizadas nas coberturas das residências e restos funerários humanos, que modificaram as propriedades

químicas, conforme relatado por Schaefer et al. (2004); Kämpf & Kern, (2005); Corrêa (2007); Costa et al. (2009) e Souza (2011).

**Tabela 9.** Teores totais de Macroelementos na TFSA das TPAs na bacia do rio Autaz-Açú no Médio Solimões-AM.

Horiz. Símb.	Prof. cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO
----- g kg <sup>-1</sup> -----									
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico, Distrito Sampaio, Autazes-AM (P1).									
Ap	0-5	4,68	0,64	1,11	16,25	10,19	9,71	0,20	0,08
A2u	5-20	6,08	0,42	0,33	9,99	14,53	13,04	0,21	0,07
AB	20-28/35	6,67	0,42	0,56	30,24	17,98	13,97	0,22	0,07
BA	28/35-40/45	7,12	0,40	0,17	11,72	18,88	13,04	0,22	0,05
Bt1	40/45-80	5,76	0,44	0,43	43,49	17,82	12,36	0,23	0,05
Bt2	80-110+	5,79	0,42	0,19	16,15	17,77	12,66	0,23	0,05
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico, Comunidade Josefa, Autazes-AM (P2).									
A1u	0-12	7,91	0,64	0,73	47,96	21,27	9,69	0,10	0,30
A2u	12-60	9,39	0,58	0,26	27,21	24,68	9,12	0,13	0,23
A3u	60-90	8,01	0,59	0,30	30,60	23,40	8,77	0,16	0,27
AB	90-110	9,12	0,48	0,29	33,44	23,13	7,94	0,25	0,24
BA	110-130	9,74	0,43	0,23	32,28	25,75	10,94	0,29	0,15
Bw	130-140+	4,64	0,54	0,00	8,15	26,68	12,05	0,28	0,09
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico, Distrito Sampaio, Autazes-AM (P3).									
Ap	0-12	2,73	0,58	0,39	24,79	11,01	12,58	0,10	0,14
A2u	12-50	4,16	0,50	0,19	24,66	14,05	11,93	0,13	0,07
A3u	50-70	4,26	0,53	0,27	28,96	14,57	12,58	0,16	0,06
AB	70-120	4,16	0,48	0,33	27,98	14,77	11,67	0,25	0,09
BA	120-140	2,51	0,23	0,02	5,17	16,64	13,45	0,29	0,06
Bw	140-180	1,98	0,23	0,01	3,84	17,30	14,42	0,33	0,06
Plintossolo Argilúvico Alítico Antrópico, Rio Autaz-Açú, Autazes-AM (P4).									
Aup	0-5	5,96	0,25	0,33	6,11	25,98	6,75	0,22	0,49
A2u	5-25	12,03	0,17	0,18	4,14	28,94	9,56	0,29	0,43
AB	25-35	11,80	0,23	0,17	5,00	31,16	11,16	0,31	0,25
BA	35-45	8,27	0,23	0,28	10,44	35,22	11,71	0,35	0,17
Bf1+Bf2	45-90+	4,19	0,22	0,15	4,23	43,42	10,16	0,42	0,06
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico, Rio Autaz-Açú, Autazes-AM (P5).									
Ap	0-5	8,36	0,33	0,32	2,58	5,01	8,03	0,13	0,18
A2u	5-15	2,10	0,25	0,31	6,37	6,59	8,80	0,16	0,15
AB	15-25	2,68	0,23	0,08	3,13	11,67	9,60	0,29	0,14
BA	25-40/50	1,80	0,24	0,16	4,97	22,95	12,74	0,25	0,10
Bt	40/50-90+	1,63	0,29	0,60	12,68	39,20	10,41	0,34	0,07

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: óxido de fósforo, CaO: óxido de cálcio, MgO: óxido de magnésio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de alumínio, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de ferro, TiO<sub>2</sub>: óxido de titânio, K<sub>2</sub>O: óxido de potássio e MnO: óxido de manganês.

Continuação da tabela 9.

Horiz. Símb.	Prof. cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO
----- g kg <sup>-1</sup> -----									
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico, Lago Acará Grande, Autazes-AM (P6).									
Ap	0-8	3,25	0,26	0,19	5,94	16,89	16,09	0,20	0,19
A2u	8-20	3,51	0,28	0,16	5,05	20,79	16,25	0,20	0,21
A3u	20-45	5,39	0,25	0,13	6,34	23,13	19,43	0,20	0,16
AB	45-55	3,87	0,34	0,92	110,23	14,32	20,70	0,18	0,09
BA	55-65	3,40	0,24	0,94	72,10	34,64	21,24	0,23	0,16
Bt	65-90+	2,77	0,23	1,34	91,90	38,72	16,45	0,25	0,10
Latossolo Amarelo Distrófico Petroplintico Antrópico, Borda Josefa, Autazes-AM (P7).									
Au	0-8	3,25	0,26	0,09	41,51	21,34	9,81	0,16	0,11
AB	8-25	4,08	0,26	0,28	67,79	26,94	12,46	0,29	0,12
BA	25-95	4,21	0,28	0,27	68,59	28,87	12,20	0,31	0,09
Bw	95-120+	3,68	0,25	0,29	62,16	29,05	12,56	0,26	0,07
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico, Lago Acará Grande, Autazes-AM (P8).									
Ap	0-5	4,51	0,30	0,18	13,68	23,70	13,25	0,15	0,85
A2u	43952	2,83	0,26	0,12	10,95	19,46	15,71	0,16	0,37
AB	20-40	3,25	0,26	0,14	26,42	28,67	15,57	0,18	0,13
BA	40-60	2,58	0,31	0,23	8,05	15,19	10,34	0,17	0,20
Bt	60-140+	7,76	0,31	0,25	12,69	13,07	8,81	0,20	0,22
Argissolo Vermelho Distrófico Plintossólico Antrópico, Rio Preto Pantaleão, Autazes-AM (P9).									
Ap	0-10	3,33	0,26	0,95	75,00	36,02	4,16	0,17	0,68
A2u	10-20	3,43	0,28	0,85	55,84	23,18	11,19	0,20	0,24
AB	20-30	3,71	0,31	0,83	74,54	32,03	11,93	0,20	0,18
Bt	30-100+	1,91	0,22	0,54	83,54	51,77	10,35	0,20	0,07
Plintossolo Argilúvico Distrófico Gleissólico Antrópico, Rio Preto Pantaleão, Autazes-AM (P10).									
Ap	0-25	4,53	0,31	1,10	35,61	17,54	11,45	0,22	0,18
A2u	25-50	7,01	0,30	1,11	60,36	26,81	14,30	0,20	0,42
AB	50-65	6,49	0,24	0,60	43,02	20,62	16,33	0,24	0,20
BA	65-75	3,50	0,25	0,77	63,32	22,44	16,84	0,27	0,13
Bf	75-100+	2,91	0,24	0,69	77,31	29,14	14,88	0,34	0,10

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: óxido de fósforo, CaO: óxido de cálcio, MgO: óxido de magnésio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de alumínio, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de ferro, TiO<sub>2</sub>: óxido de titânio, K<sub>2</sub>O: óxido de potássio e MnO: óxido de manganês.

O teor mais alto de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> neste trabalho foi registrado no horizonte A2u (antrópico) no P-4 Plintossolo Argilúvico, 12,03 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 9), inferior ao teor máximo já registrado em TPAs de terra firme 17,47 g kg<sup>-1</sup> (Lima, 2001). Estes teores revelam a magnitude da concentração deste elemento em TPAs, indicando períodos mais longos de ocupação dos povos indígenas no local.

Foram encontrados teores semelhantes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O entre os horizontes A antrópicos e os horizontes B subsuperficiais, com variação ao longo do perfil. Tal homogeneidade é consequência da mineralogia, sem maiores influências antrópicas. Contudo, Costa et al. (2009) e Macedo (2014) relacionam

K<sub>2</sub>O como indicador de atividade antrópica, enquanto Corrêa (2007) e Souza (2011) sugerem que o K<sub>2</sub>O aumente com a ocorrência de fragmentos de cerâmicas, embora ocorra mica em todos os perfis.

Os teores totais de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub> foram os mais elevados para todos os solos estudados. Solos em avançado estado de intemperismo apresentam intensa perda de sílica (dessilicatização), com resultante acúmulo de óxidos de ferro e alumínio (Uehara, 1988). Os teores de TiO<sub>2</sub> estão associados à sua alta estabilidade, representando assim um elemento residual do intemperismo, que tende a se concentrar em função dos fatores naturais, como material de origem do solo e intensidade pedogenética (Souza, 2011), e não revelando relação com atividades antrópicas.

### **3.7.1. Teores totais dos elementos traços na TFSA.**

Os teores de elementos traços podem ser utilizados como indicativo de atividade antrópica em solos. Para TPAs há estudos que utilizaram os teores de Ba, Cu, Cl, Sr e Zn (Costa et al., 2009; Macedo 2009; Vasconcelos, 2010; Souza 2011) e Cs, Cu, Co, Zn, Ba, Rb e Ni (Macedo, 2014).

Os perfis analisados neste estudo, demonstraram teores mais elevados de Zn e Cu nos horizontes A antrópicos quando comparados aos horizontes B subperifíciais (Tabela 10), sugerindo influência de atividade antrópica, uma vez que os níveis elevados de Zn e Cu estão associados a excrementos humanos (Woods 2003), e material vegetal como galhos, folhas e frutas (Costa e Kern 1999).

O Cu apresentou teores variando de 2,16 a 28,51 mg kg<sup>-1</sup>, foram sempre menores que Zn, que variaram de 9,16 a 92,77 mg kg<sup>-1</sup>. Vasconcelos (2010) em estudos de ambiente antrópico preservado (abrigo), descreveu teores maiores para Zn e menores para Cu, diferente das TPAs da Amazônia.

De forma geral na Amazônia é comum TPAs apresentarem menores teores de Cu em relação ao Zn, pois o Cu é mais lixiviado. Woods (2003) explica que em ambiente mais úmido, em um período de 2000 anos o Cu praticamente é perdido por lixiviação.

**Tabela 10.** Teores totais dos elementos traços na TFSA das TPAs da bacia do rio Autaz-Açú Médio Solimões-AM.

Horiz. Símbo.	Prof. cm	Zr	Cu	Mo	Zn	Cr	Pb	As	Cd	Ni	Co	Ba	V
-----mg kg <sup>-1</sup> -----													
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico, Distrito Sampaio, Autazes-AM (P1).													
Ap	0-5	435,63	9,58	5,57	23,90	78,78	17,63	nd	nd	32,42	20,10	nd	53,74
A2u	5-20	650,87	9,55	2,59	21,73	71,89	24,32	nd	nd	15,23	28,30	nd	80,89
AB	20-28/35	611,69	8,48	2,72	18,13	91,67	27,25	3,37	nd	16,88	28,70	nd	108,18
BA	28/35-40/45	502,12	6,28	2,11	14,94	96,35	27,94	0,71	nd	13,11	26,99	nd	126,05
Bt1	40/45-80	461,94	4,67	2,21	13,18	92,27	24,58	0,44	nd	13,97	25,16	nd	118,93
Bt2	80-110+	490,12	3,48	2,44	12,22	95,21	26,50	nd	nd	15,39	25,96	nd	119,37
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico, Comunidade Josefa, Autazes-AM (P2).													
A1u	0-12	415,88	15,58	3,77	40,57	75,69	18,40	nd	nd	25,58	20,04	nd	69,45
A2u	12-60	412,65	20,80	3,33	46,95	87,31	21,75	0,31	nd	26,72	20,48	nd	87,42
A3u	60-90	427,91	20,50	5,09	43,87	97,14	19,80	nd	nd	28,33	20,83	nd	85,74
AB	90-110	355,54	20,48	3,49	48,81	81,56	18,13	nd	nd	25,97	16,93	nd	78,11
BA	110-130	419,61	13,82	6,44	35,37	89,29	21,62	nd	nd	23,94	19,66	nd	92,67
Bw	130-140+	458,54	4,96	5,13	21,24	99,00	25,71	1,30	nd	23,64	23,29	nd	114,44
Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico, Distrito Sampaio, Autazes-AM (P3).													
Ap	0-12	655,57	7,30	1,86	26,38	60,56	20,77	nd	nd	10,83	27,02	nd	70,91
A2u	12-50	495,20	6,23	1,85	14,72	75,91	22,62	1,27	nd	13,14	25,82	nd	93,89
A3u	50-70	514,38	6,34	2,06	15,73	78,61	23,03	3,53	nd	13,50	26,92	nd	100,80
AB	70-120	495,11	6,83	1,66	21,05	71,77	21,76	0,33	nd	12,70	24,62	nd	91,33
BA	120-140	563,26	2,16	4,39	10,26	103,74	28,01	0,53	nd	21,62	27,19	nd	116,91
Bw	140-180	605,84	2,16	4,62	10,54	108,90	27,51	3,73	nd	21,85	30,19	nd	126,41
Plintossolo Argilúvico Alítico Antrópico, Rio Autaz-Açú, Autazes-AM (P4).													
Ap	0-5	299,87	22,42	2,67	90,25	69,37	24,26	nd	nd	21,90	16,18	nd	82,69
A2u	5-25	330,19	31,02	3,77	92,77	91,88	24,80	nd	nd	31,06	20,54	nd	108,13
AB	25-35	392,24	25,71	2,06	62,94	89,39	27,82	nd	nd	21,37	23,88	nd	124,38
BA	35-45	385,30	14,92	1,10	52,13	92,72	29,12	0,48	nd	15,56	24,30	nd	146,91
Bf1+Bf2	45-90+	308,59	7,54	1,07	49,18	118,80	35,43	nd	nd	18,39	19,81	nd	206,91
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico, Rio Autaz-Açú, Autazes-AM (P5).													
Ap	0-5	314,69	6,14	0,91	16,64	25,75	11,60	nd	nd	3,84	14,72	nd	29,59
A2u	5-15	332,16	3,34	0,64	9,60	28,69	13,08	nd	nd	3,62	17,17	nd	35,25
AB	15-25	337,87	2,28	0,66	10,32	32,20	14,33	nd	nd	2,98	17,52	nd	46,30
BA	25-40/50	392,05	4,04	2,02	25,08	71,03	24,59	nd	nd	13,05	22,10	nd	107,30
Bt	40/50-90+	260,86	7,60	1,49	40,60	100,08	25,04	nd	nd	21,30	20,29	nd	153,41

Zr: zircônio, Cu: cobre, Mo: molibdênio, Zn: zinco, Cr: cromo, Pb: chumbo, As: Arsênio, Cd: cádmio, Ni: níquel, Co: cobalto, Ba: bário, V: vanádio, nd não detectado.

Continuação da tabela 10.

Horiz. Símb.	Prof. cm	Zr	Cu	Mo	Zn	Cr	Pb	As	Cd	Ni	Co	Ba	V
----- mg kg <sup>-1</sup> -----													
Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico, Lago Acará Grande, Autazes-AM (P6).													
Ap	0-8	580,58	10,13	3,49	34,98	85,58	32,29	2,14	nd	23,95	35,43	nd	102,76
A2u	8-20	588,55	12,72	2,79	50,70	89,38	36,12	1,89	nd	22,39	36,37	nd	114,92
A3u	20-45	659,12	17,08	2,29	37,49	84,89	35,73	4,00	0,24	14,25	39,54	nd	137,65
AB	45-55	652,45	13,82	2,23	24,64	72,75	29,12	19,73	1,43	8,78	37,68	nd	146,98
BA	55-65	842,18	7,29	2,74	29,01	97,35	42,77	nd	8,95	5,62	26,50	nd	169,07
Bt	65-90+	553,26	5,86	2,28	31,49	104,47	32,61	nd	4,71	12,64	22,62	nd	181,65
Latosolo Amarelo Distrófico Petroplintico Antrópico, Borda Josefa, Autazes – AM (P7).													
Au	0-8	446,98	7,80	7,59	23,53	100,54	25,73	nd	7,81	33,43	7,61	nd	78,38
AB	8-25	585,84	8,96	7,65	30,40	110,53	29,01	2,50	8,55	33,35	9,79	nd	107,36
BA	25-95	519,97	8,84	8,01	31,50	121,70	29,70	0,69	8,20	36,61	10,16	nd	118,59
Bw	95-120+	520,45	8,19	6,45	28,39	108,75	30,68	nd	7,64	27,55	11,77	nd	122,87
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico, Lago Acará Grande, Autazes-AM (P8).													
Ap	0-5	1159,33	28,51	2,91	44,57	87,62	38,31	8,55	nd	18,79	46,16	nd	107,85
A2u	5-20	772,39	17,95	2,53	39,41	71,85	30,62	7,79	nd	17,02	35,87	nd	86,35
AB	20-40	632,77	10,80	3,49	30,03	103,76	36,31	14,21	nd	25,24	35,38	nd	137,38
BA	40-60	455,18	9,88	1,39	29,32	41,92	18,68	0,26	nd	8,91	22,11	nd	57,14
Bt	60-140+	350,95	11,02	1,35	31,58	42,86	16,55	nd	nd	9,43	19,39	nd	50,55
Argissolo Vermelho Distrofico Plintossolico Antrópico, Rio Preto Pantaleão, Autazes-AM (P9).													
Ap	0-10	114,49	27,54	1,43	71,80	28,00	5,70	nd	0,34	16,32	17,13	nd	98,30
A2u	10-20	535,16	12,50	8,12	28,51	101,46	22,98	nd	6,09	39,82	12,97	nd	74,27
AB	20-30	581,05	11,89	5,70	36,48	89,79	25,71	nd	8,05	22,97	11,03	nd	89,35
Bt	30-100+	361,62	5,87	4,98	39,89	124,60	29,53	nd	7,38	25,85	9,67	nd	157,91
Plintossolo Argilúvico Distrófico Gleissólico Antrópico, Rio Preto Pantaleão, Autazes-AM P(10).													
Ap	0-25	488,83	16,73	5,28	34,14	71,75	20,51	nd	3,21	27,24	17,00	nd	71,09
A2u	25-50	624,37	23,36	5,11	54,10	79,85	31,59	nd	9,12	17,95	14,31	nd	80,15
AB	50-65	700,15	14,62	6,87	35,14	88,41	32,23	nd	9,20	24,16	17,17	nd	75,06
BA	65-75	656,47	8,74	6,32	30,50	86,48	35,11	nd	11,04	18,60	15,90	nd	96,31
Bf	75-100+	550,40	8,00	5,45	32,23	93,45	33,07	nd	8,80	19,48	14,71	nd	119,04

Zr: zircônio, Cu: cobre, Mo: molibdênio, Zn: zinco, Cr: cromo, Pb: chumbo, As: Arsênio, Cd: cádmio, Ni: níquel, Co: cobalto, Ba: bário, V: vanádio, nd não detectado.

Os elementos Ni e Co, quando comparado nos horizontes A antrópicos e horizontes B subsuperficiais, apresentaram teores semelhantes, com ligeiro aumento nos horizontes A antrópicos, o que sugere pouca interferência de atividades antrópicas. Resultados semelhantes foram descritos por Macedo (2014). Já os teores dos elementos Cd, Pb, V, Cr e Mo apresentam valores semelhantes ou maiores nos horizontes B subsuperficiais, com reflexo do material de origem.

### **3.8. Composição mineralogia da fração argila**

A composição mineralógica na fração argila dos horizontes antrópicos e não antrópicos (subsuperficiais) é semelhante, indicando que mineralogia do horizonte antrópico é semelhante ao do horizonte não antrópico.

Os perfis P1, P2, P3, P7, descritos próximos ao distrito do Sampaio e P 8 (lago do Acará Grande), apresentaram composição mineralógica contendo caulinita, goethita, quartzo e óxidos de titânio (rutilo), conforme as figuras 2, 3 e 4, indicando mineralogia típica de ambiente bem drenado, e em concordância com a formação Alter do Chão, com arenitos, siltitos e argilitos (Dino et al., 2012). De acordo com Lima et al. (2002) esta composição mineralógica predomina na grande maioria dos solos bem drenados da Amazônia, e é reflexo da pobreza mineralógica generalizada do material de origem, das boas condições de drenagem e do longo tempo relativo de exposição dos sedimentos aos agentes bioclimáticos.

Diferente da formação Alter do Chão, as TPAs dos Terraços Superiores representados pelos perfis P4, P5, P6, P9 e P10, apresentam mineralogia composta por caulinita, goethita, quartzo, óxidos de titânio (rutilo) e minerais 2:1 vermiculita e mica/ilita, (Figuras 5, 6, 7 e 8), indicando ambiente com menor drenagem coincidindo com a formação dos Terraços, oriundos de depósitos de sedimentos fluviais, datados de 240,000 a 51,000 anos AP Gonçalves et al. (2016). Os terraços formam os depósitos do quaternário mais antigos da planície aluvial do sistema Solimões/Amazonas, e corresponde à paleo planície de inundação, destes rios, hoje inativa.

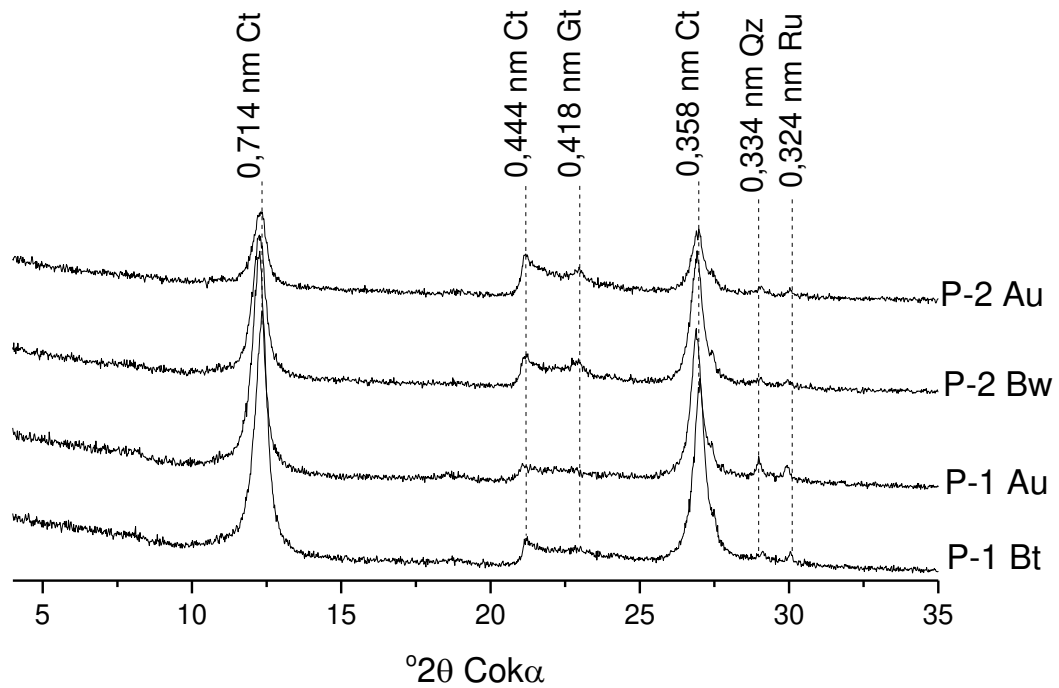
Segundo Lima et al. (2002), as condições restritas de drenagem, resultantes das características ambientais e da granulometria fina dos sedimentos originais, condicionaram um processo de intemperismo menos acentuado do que aquele normalmente observado nos solos bem drenados da Amazônia, o que pode resultar em condições favoráveis para existência de minerais mais instáveis como vermiculita e mica/ilita.

Ressalta-se ainda a presença marcante de Bf, caráter plintossólico ou gleissólico em todas as TPAs dos Terraços, corroborando a restrição de drenagem.

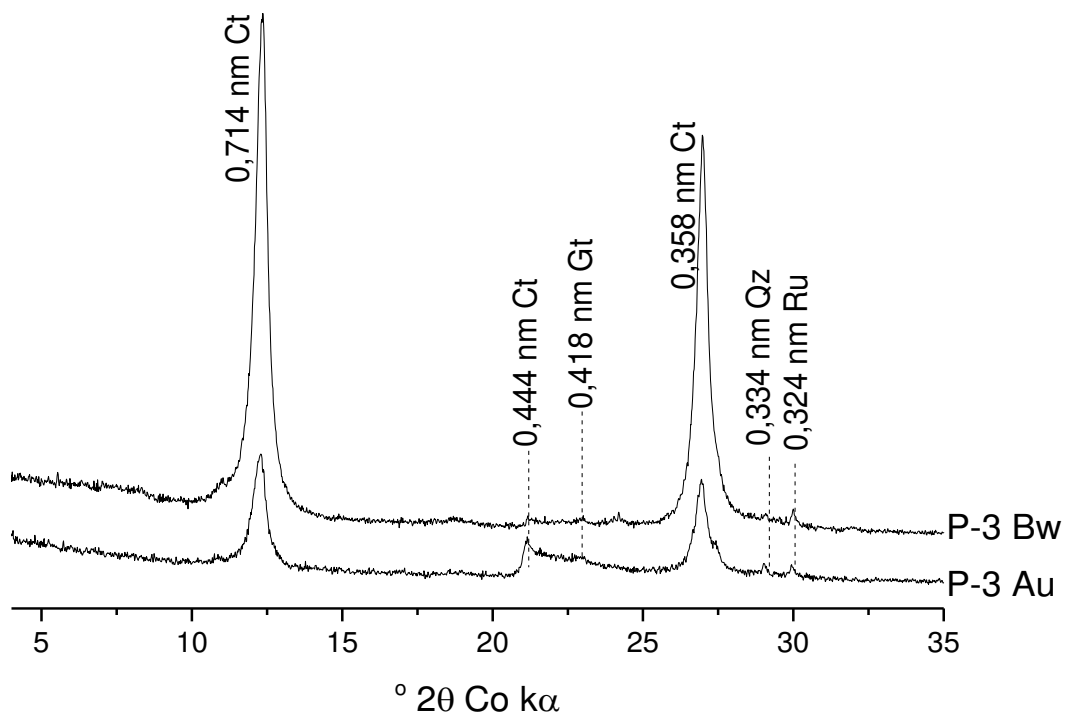
A mineralogia das TPAs do rio Autaz-Açú (Terraços) são semelhantes a mineralogia das TPAs estudadas por Lima (2001) nas proximidades do Solimões/Amazonas.

Não foi identificado gibbsita na fração argila dos solos estudados, o que deve estar relacionado à quantidade de silício na solução do solo (Irion 1984); Cornu et al. (1998) encontrou na solução de Latossolos Amarelos a relação 8/1 de Si/Al, evidenciando teor de silício muito alto em relação ao alumínio; A floresta Amazônica recicla quantidades significantes de silício, (Lucas et al., 1993), sendo provavelmente suficiente para inibir a formação da gibbsita e preservar a caulinita (Irion, 1984), pelo menos na camada superior dos solos.

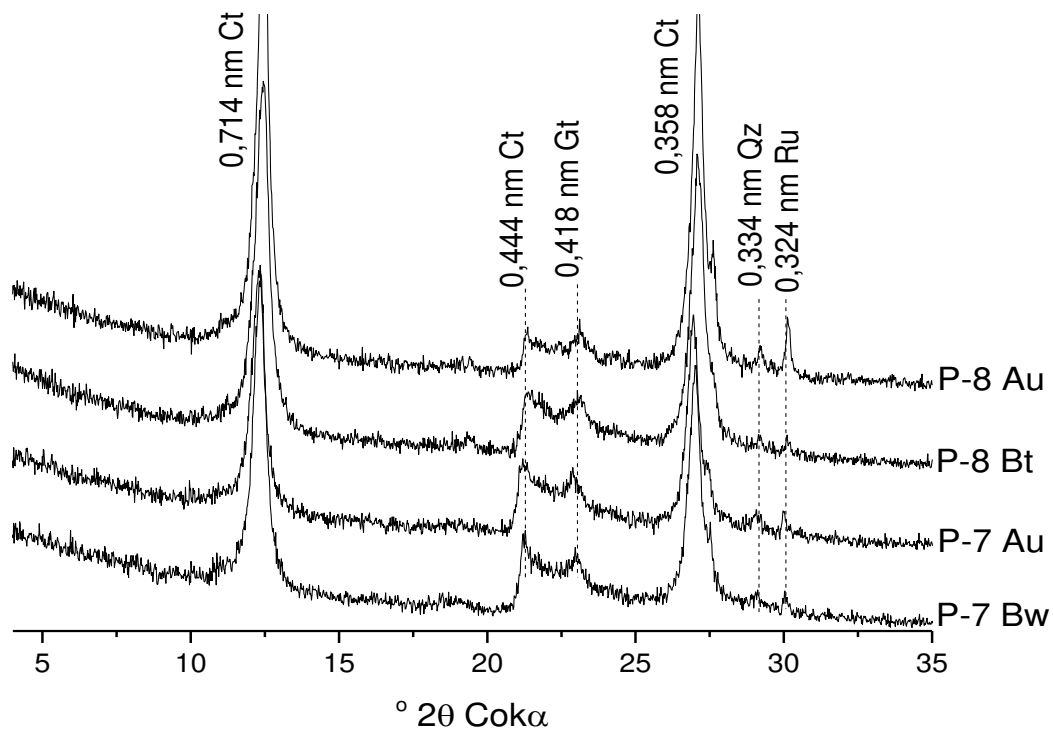
Não ocorreu identificação de hematita na fração argila, ausência esta devido aos baixos teores de Fe no material de origem, resultando em baixas atividades de Fe, pH ácido desfavorecendo a agregação do precursor (ferrihidrita), bem como teores elevados de matéria orgânica atuando na complexação do Fe. Tais condições dificultam a formação da hematita e favorecem goethita (Kamp e Curi 2000). Contudo, a hematita foi identificada exclusivamente em microconcreções ferruginosas, no perfil P9, adjunta de mica/ilíta, caulinita, goethita e quartzo (Figura 10). A fração areia apresentou apenas quartzo em todos os perfis analisados (Figura 10).



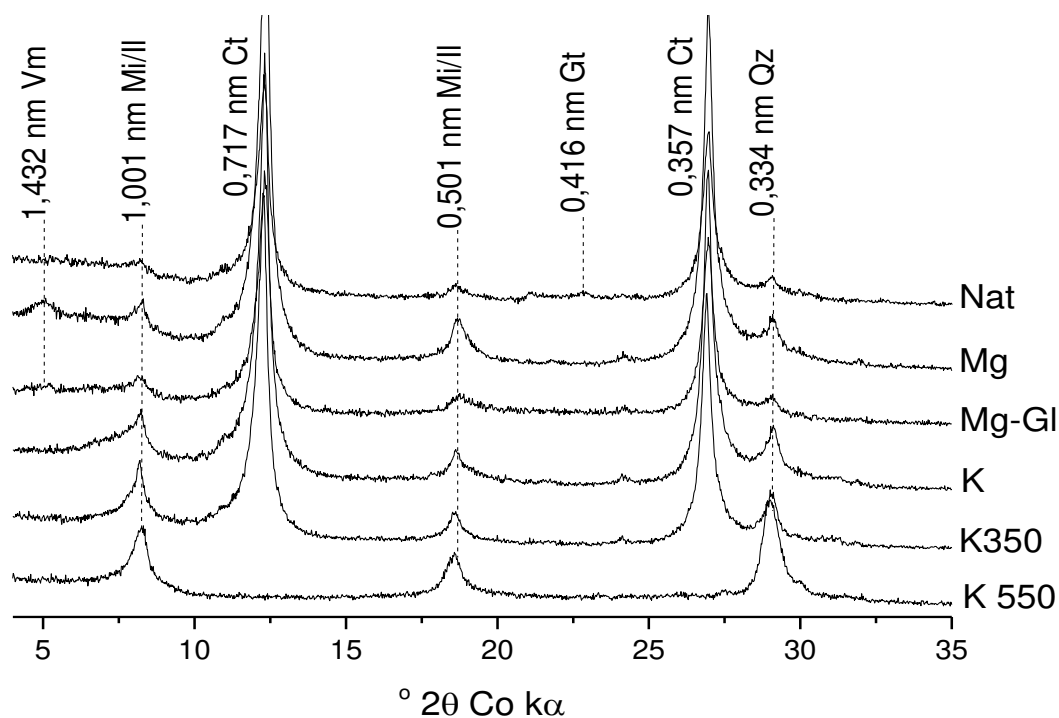
**Figura 2.** Difratogramas de raios-X da fração argila dos horizontes Au e Bt do P1 Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico e Au e Bw do P2 Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Ct: caulinita, Gt: goethita, Qz: quartzo e Ru: rutilo.



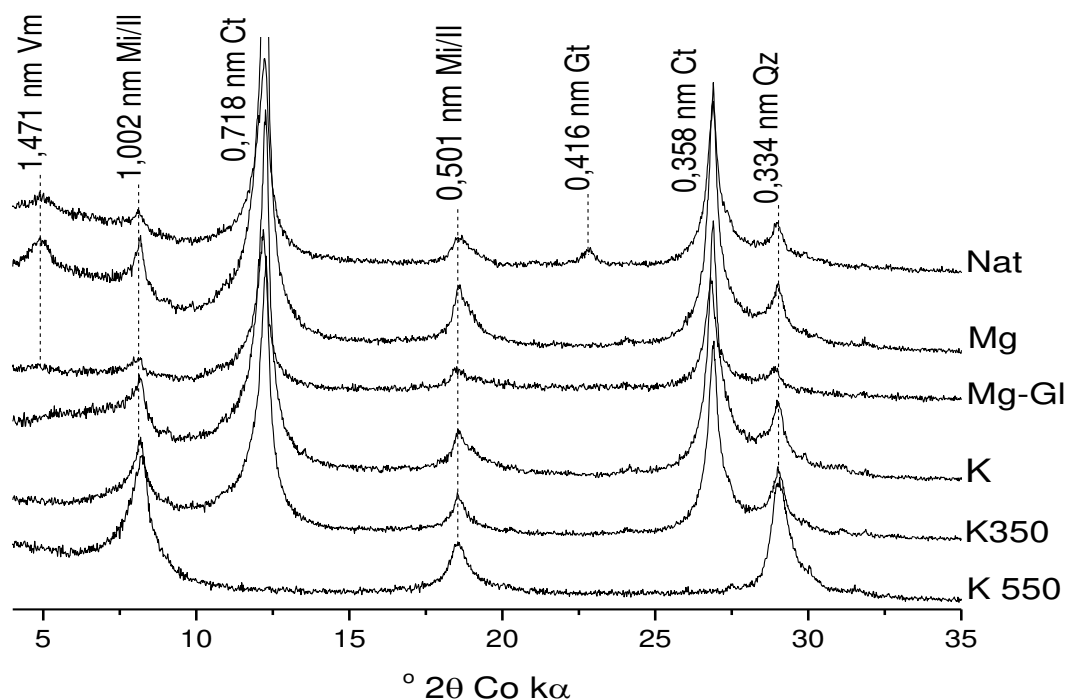
**Figura 3.** Difratogramas de raios-X da fração argila dos horizontes Au e Bw do P3 Latossolo Amarelo Distrófico Antrópico. Ct: caulinita, Gt: goethita, Qz: quartzo e Ru: rutilo.



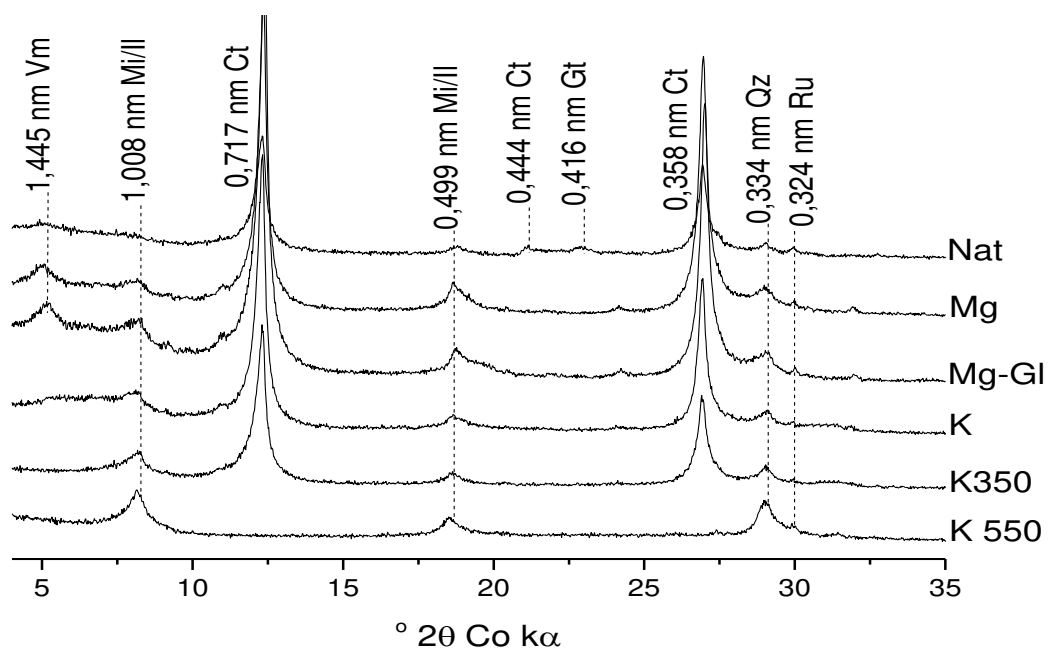
**Figura 4.** Difratomogramas de raios-X da fração argila dos horizontes Au e Bw do P7 Latossolo Amarelo Distrófico Petroplintico Antrópico e Au e Bt do P8 Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Ct: caulinita, Gt: goethita, Qz: quartzo e Ru: rutilo.



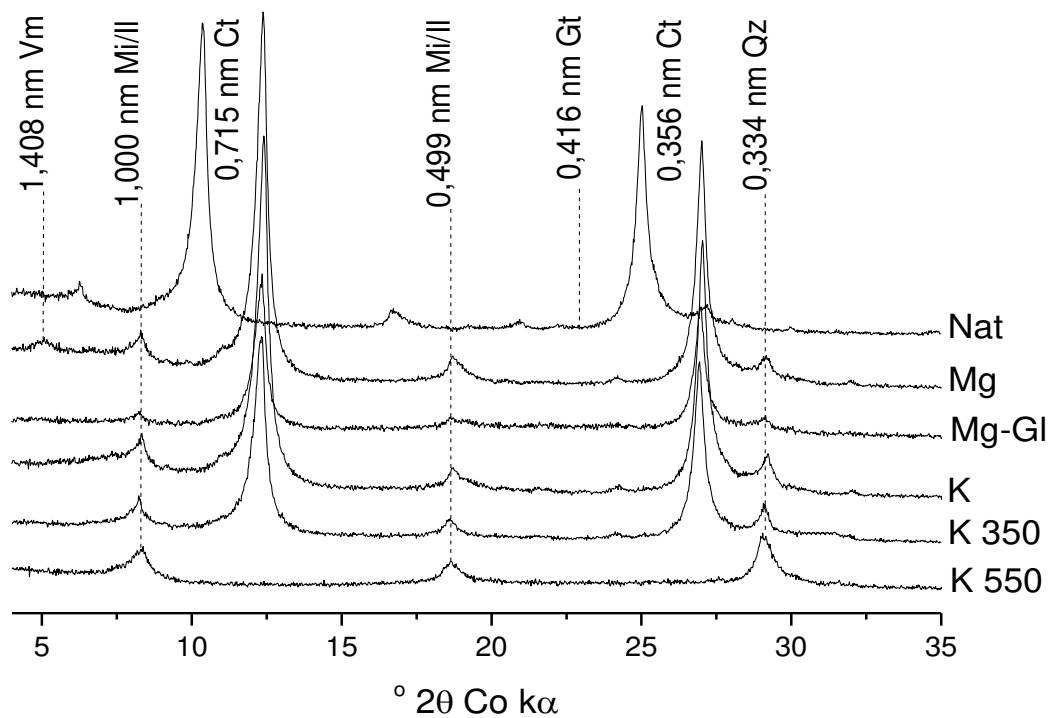
**Figura 5.** Difratomogramas de raios-X da fração argila do horizonte Bf do P4, Plintossolo Argilúvico Alítico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; Vm: vermiculita, Mi/Il: mica/ilíta Ct: caulinita, Gt: goethita e Qz: quartzo.



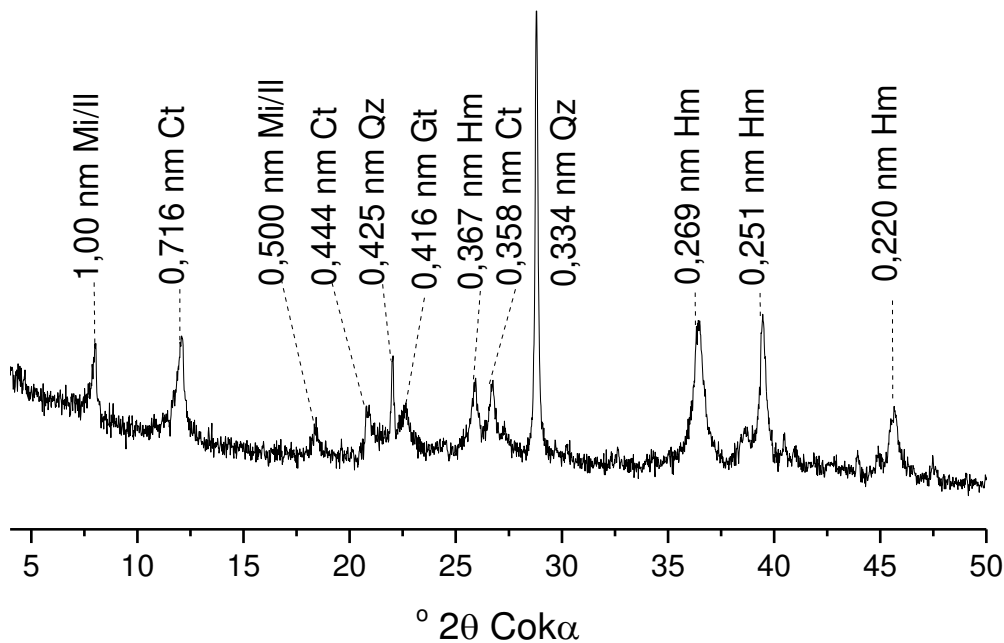
**Figura 6.** Difratogramas de raios-X da fração argila do horizonte Bt do P5, Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; Vm: vermiculita, Mi/Il: mica/ilíta Ct: caulinita, Gt: goethita e Qz: quartzo.



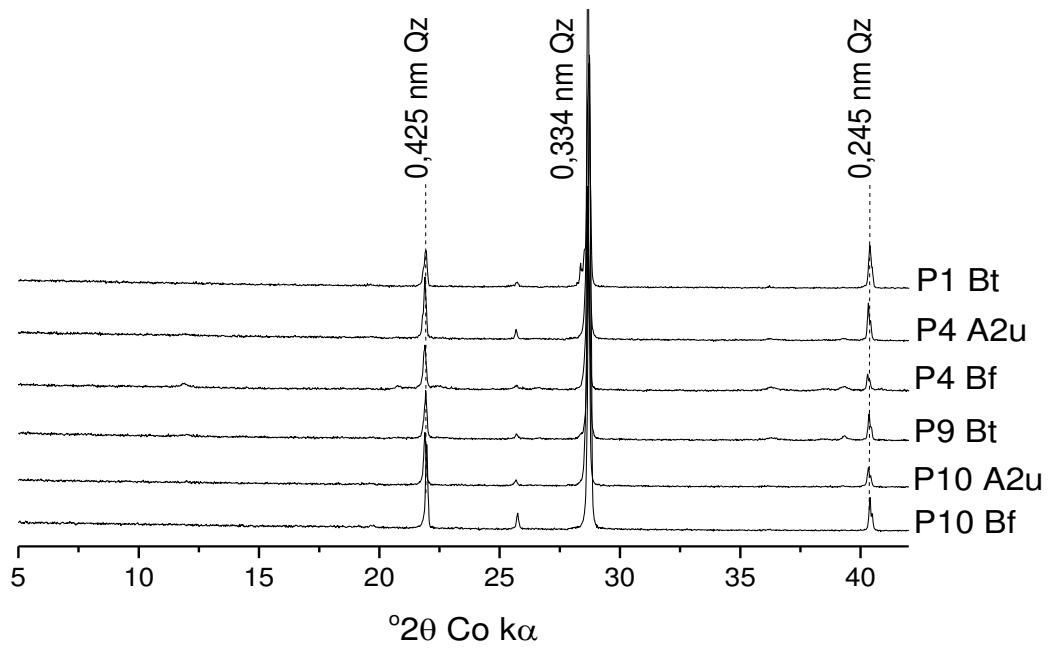
**Figura 7.** Difratogramas de raios-X da fração argila do horizonte Bt do P6, Argissolo Amarelo Alumínico Plintossólico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; Vm: vermiculita, Mi/Il: mica/ilíta Ct: caulinita, Gt: goethita, Qz: quartzo e Ru: rutilo.



**Figura 8.** Difratomogramas de raios-X da fração argila do horizonte Bt do P9, Argissolo Vermelho Distrofíco Plintossolico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; Vm: vermiculita, Mi/Il: mica/ilíta Ct: caulinita, Gt: goethita, Qz: quartzo e Ru: rutilo.



**Figura 9.** Difrátograma de raios-X da microconcreção, do P9, Argissolo Vermelho Distrofíco Plintossolico Antrópico. Mi/Il: mica/ilíta Ct: caulinita, Gt: goethita, Hm: hematita, Qz: quartzo.



**Figura 10.** Difratogramas de raios-X da fração areia dos perfis: P1 horizonte Bt, P4 horizontes A2u e Bf, P9 horizonte Bt e P10 horizontes A2u e Bf. Qz: quartzo.

#### 4. CONCLUSÕES

As TPAs do rio Autaz-Açú mais afastadas da várzea do rio Solimões/Amazonas diferem das TPAs, adjacentes ao grande rio. Ocorrem fragmentos de carvão pirogênico, cacos de cerâmicas, valores mais elevados de P disponível,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Mn, Zn e MO, nos horizontes antrópicos, revelando ser indicadores de atividades antrópicas, como em todas as TPAs já estudadas.

As TPAs do rio Autaz-Açú revelaram aumento do P em horizontes transicionais, evidenciando remoção pelo cultivo e/ou mobilidade de P pela iluviação com a matéria orgânica.

Os valores mais altos das formas de P-Al e P-Fe seguido de P-Ca, nas TPAs de terra firme, sugere condições de intemperismo mais acentuado, onde o P-Ca já sofreu maior dissolução e transformação, embora incompleta. A ocorrência de formas de P-Ca em conjunto aos fragmentos de ossos, indicam que apatita biogênica seja a fonte primária de P em solos com horizontes antrópicos, à semelhança de todos os estudos anteriores.

As TPAs do rio Autaz-Açú possuem idades mais recentes que as TPAs do Alto rio Madeira, o que permite postular que o povoamento do Médio e Baixo rio Madeira, através da bacia do rio Autaz-Açú, deu-se pelo descimento pelo rio Madeira até a foz do rio Amazonas.

A composição mineralógica dos horizontes antrópico e não antrópico é semelhante, o que evidencia a mesma matriz mineralógica. A identificação de minerais 2:1 em terraços mais altos revela a influência pretérita de deposição sedimentar mista da antiga planície do rio.

## 5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, O. R. **Reconhecimentos geológicos no vale do Amazonas**. Rio de Janeiro (Boletim Geologico e Mineralogico do Brasil): DNPM (Divisão de Geologia e Mineralogia), 1922.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres.**, v. 21, p. 73–85, 1974.

CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Revista Bragantia**, v. 70, p. 598–609, 2011.

CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré , Amazonas. **Revista Agroambiente On-line**, v. 6, p. 102–109, 2012.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, v. 84, p. 133–144, 1957.

CHEN, P. Y. **Table of key-lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clay and associated rocks**. Bloomington (Geological survey occasional paper, 21).: [s.n.]. v. 21.

CORNU, S. et al. Transfer of dissolved Al, Fe and Si two Amazonian forest environments in Brasil. **European Journal of Sil Science**, v. 49, p. 377–3884, 1998.

CORRÊA, G. R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da região dos lagos (RJ) e terras pretas de índio na região do Baixo Rio Negro/Solimões (AM)**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2007.

COSTA, J. A. et al. Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso Deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: Embrapa,

Amazônia, Ocidental., 2009. p. 161–171.

COSTA, M. L.; KERN, D. C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 66, p. 369–385, 1999.

CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta) anthropogenic dark earth soils of brazilian amazonic region. **Acta Amazônia**, v. 37, n. 1, p. 91–98, 2007.

CUNHA, T. J. F. et al. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 85–93, 2009.

DINO, R. et al. Journal of South American Earth Sciences Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fl uviaal deposits of the Amazonas Basin , Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 34, p. 61–80, 2012.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. In: Rio de Janeiro (Documento 132): EMBRAPA, Solos, 2011. p. 230.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. In: 3. ed. Brasília: EMBRAPA, Solos, 2013. p. 353.

FALCÃO, N. P. S. et al. Pedology, fertility, and biology of Central Amazonian Dark Earths. In: WOODS, W. I. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**. Springer, Berlin: [s.n.]. p. 213–228.

GLASER, B. et al. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de I. **Geochimica et**

**Cosmochimica Acta**, v. 82, p. 39–51, 2012.

GONÇALVES JUNIOR, E. S. et al. Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira , Central Amazon. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 2, p. 167–180, 2016.

HOGG, A. G. et al. SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0-50,000 Years cal BP. **Radiocarbon**, v. 55, n. 4, p. 1889–1903, 2013.

HORBE, M. A.; VIEIRA, L. C.; CÉSAR, R. N. Geoquímica de camadas vermelhas bioturbadas da Formação Alter do Chão, Cretáceo da Bacia do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 396–402, 2006.

HUA, Q.; BARBETTI, M.; RAKOWSKI, A. J. Atmospheric Radiocarbon for the Period 1950-2010. **Radiocarbon**, v. 55, n. 4, p. 2059–2072, 2013.

IRION, G. Quaternary geology of amazonian lowland. In: **Simpósio do trópico úmido**. Belém, PA.: EMBRAPA-CPATU, 1984. p. 494–498.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e Mineralogia de Solos, Parte I – Conceitos Básicos**. Viçosa, MG: [s.n.]. p. 333–380.

KÄMPF, N. CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 107–133.

KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient antropic soils. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.) **Amazonia Dark earths. Origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 77–102.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solos como registro da ocupação humana pré-histórica

na Amazônia. In: TORRADO, P. V. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2005. p. 277–320.

KERN, D. C. et al. Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso Deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: Embrapa, Amazônia, Ocidental., 2009. p. 72–81.

KERN, D. C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná, Pará. **R. Bras. de Ciênc. do Solo**, v. 3, p. 219–225, 1989.

KETTERINGS, Q. M.; BIGHAM, J. M.; LAPERCHE, V. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1108–1117, 2000.

LEHMANN, J. et al. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.) **Amazonian Dark Earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 105–124.

LIMA, H. N. **Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2001.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “ Terra Preta Anthrosols ” (“ Indian black earth ”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, p. 1–17, 2002.

LIMA, H. N. et al. Mineralogia e Química de Três Solos de Uma Topossequência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 59–68, 2006.

LUCAS, A. Y. et al. The Relation Between Biological Activity of the Rain Forest and Mineral Composition of Soils. **Science**, v. 260, n. 5107, p. 521–523, 1993.

MACÁRIO, K. D. et al. Graphitization reaction via zinc reduction: How low can you go? **International Journal of Mass Spectrometry**, n. 400, p. 47–51, 2016.

MACEDO, R. S. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) em áreas de Várzea do rio Solimões, AM.** [s.l.] Universidade Federal do Amazonas, 2009.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba - AM.** [s.l.] Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2014.

MADARI, B. E. et al. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa, Amazônia, Ocidental., 2009. p. 172–188.

MCKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 46, p. 13–32, 1966.

MEGGERS, B. J. **Amazônia, a Ilusão de um Paraíso Perdido.** Belo Horizonte: Ed.USP, 1987.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. **Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Minerals,**. Madison, Wisconsin: Department of Soils, University of Wisconsin, 1960.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, n. C, p. 31–36, 1962.

NEVES, E. G. **Arqueologia da Amazônia.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

RADAM. Projeto RADAMBRASIL levantamento de recursos naturais. In: Rio de Janeiro, V10. (Folha SA.21-Santarém): [s.n.]. p. 510.

RAMSEY, B. C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. **Radiocarbon**, v. 51, n. 1, p. 337–360, 2009.

RIBEIRO, A. C.; GUMIMARÃES, P. T. G.; VENEGAZ, V. H. A. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, MG.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife - PE. CD-ROM. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SANTOS, L. A. C. et al. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **R. Bras. de Ciênc. do Solo**, v. 37, n. 4, p. 825–836, 2013a.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2013b.

SATO, S. et al. Biogenic calcium phosphate transformation in soils over millennial time scales. **Journal Soils Sediments**, v. 9, p. 194–205, 2009.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. In: [s.l.] B. Museu Paraense Emílio Goeldi, Ser. Ci. Terra, 12, 2000. p. 63–104.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, n. 4, p. 401–409,

2004.

SCHAEFER, C. E. G. R. Bases Físicas da Paisagem Brasileira: Estrutural Geológica, Relevo e Solos. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. (Eds.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1–69.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Solos da Região Amazônica. In: CURTI, N. et al. (Eds.). **Pedologia solos dos biomas Brasileiros**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 111–175.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. . Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S. B. (Ed.) **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 379–438.

SILVA, F. W. et al. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 673–681, 2011.

SILVEIRA, M. I. et al. Um milênio de ocupações arqueológicas com manchas de terra preta em floresta na região de Carajás , Pará , Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 11, n. 1, p. 11–31, 2016.

SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, p. 553–566, 1980.

SOUZA, K. W. et al. Phosphorous forms in cultivated indian black earth (anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1347–1355, 2009.

SOUZA, K. W. **Gênese, mineralogia, micromorfologia e formas de fósforo em arqueo-antropossolos da várzea do rio Amazonas**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2011.

TEIXEIRA, W. G. et al. As propriedades Físicas e Hídricas dos Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio na Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia : Sua Caracterização e Uso Deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: Embrapa, Amazônia, Ocidental., 2009. p. 242–250.

UEHARA, G. Acric properties and their significance to soil classification. In: BEINROTH, F. H.; CAMARGO, M. N.; ESWARAN, H. (Eds.). **Eighth International Soil Classification Workshop**. Rio de Janeiro, RJ.: EMBRAPA/ SNLCS, 1988. p. 19–22.

USEPA. **Method 3052 microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices**. [s.l.] Disponível em: [www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052](http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052). Acesso em 14/11/2016., 1996.

VASCONCELOS, B. N. F. **Gênese de antropossolos em sítios arqueológicos de ambiente cárstico no Norte de Minas Gerais**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2010.

WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (Ed.) Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 331–362.

WOODS, W. I. Development of Anthrosol research. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.) **Amazonia dark earths. Origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 3–14.

ZECH, W.; HAUMEIER, L.; HEMPFLING, R. ) Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: BLOOM, P. (Ed.) **Humic Substances in Soil and Crop Science: Selected Readings**. Madison: American Society of Agronomy and Soil Sciences, 1990. p. 187–202.

## **CAPÍTULO II**

**TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA DE VÁRZEA E TERRA FIRME NO ALTO  
SOLIMÕES-AM: FÍSICA, QUÍMICA, MINERALOGIA, IDADE E FORMAS DE  
FÓSFORO.**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

## RESUMO

A Terra Preta de Índio ou arqueológica, possui horizontes antrópicos escurecidos, com fragmentos de carvão e cerâmica, normalmente ricos em nutrientes, como P, Ca, Mg, Mn, Zn, e teores elevados de matéria orgânica. Ocorre principalmente em Terra Firme próximo à margem dos rios, em posição topográfica com boa visibilidade, sendo registrada com menor intensidade em Várzeas. A região do Alto Solimões - Amazonas permanece praticamente inexplorada em estudos de TPA, apesar do avanço dos estudos no Médio e Baixo Amazonas. Objetivou-se caracterizar sete sítios de Terra Preta, em locais inexplorados da região. Foram abertas sete trincheiras, cinco em Terra Firme e duas em Várzea, nos municípios de São Paulo de Olivença e Amaturá (Alto Solimões, Amazonas). Para cada perfil realizou-se coletas e descrição dos atributos morfológicos, realizadas análises físicas, químicas, mineralógicas, datações por radiocarbono e extração das formas de fósforo. A morfologia é fortemente marcada pela cor escura, abundância de carvão pirogênico e cacos de cerâmicas disseminados. As características químicas expressam fertilidade elevada nos horizontes antrópicos, com valores elevados de pH, P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Mn, Zn, SB, CTC, V, MO. Ocorre iluviação de argila enriquecida com MO, P e  $\text{Ca}^{2+}$ , que favorece o aumento dos teores de P em horizontes transicionais. Os horizontes antrópicos de Várzea demonstram maiores níveis de fertilidade, provindo das atividades humanas e da riqueza natural dos sedimentos andinos. Horizonte com maior acúmulo de carvão pirogênico mostrou maior valor de  $\text{Ca}^{2+}$  e pH. O fracionamento do P revelou predominância do P-Ca para os horizontes antrópicos em várzeas, enquanto os horizontes antrópicos de Terra Firme foram dominados por P-Al e P-Fe, com exceções que apresentaram maiores valores de P-Ca mesmo em Terra Firme. As idades das TPAs de Terra Firme no Alto Solimões variam de 1190 – 1410 anos AP (mais recentes) a 2500 - 2870 anos AP (mais antigas), indicando o início da ocupação deste ambiente. Já, nos ambientes de Várzea variou de 920 – 1270 anos AP, com idades mais recentes (950 AD) nos horizontes superficiais, indicando o final da ocupação. Tais idades evidenciam que a ocupação no Alto Solimões iniciou pelos ambientes de Terra Firme e posteriormente diversificou-se nos ambientes de Várzeas. A mineralogia do pedoambiente de Terra Firme, revelou predomínio de caulinita, goethita, gibbsita, quartzo e vermiculita com hidróxi entre camadas; na Várzea predominou caulinita, mica/ilita, goethita, quartzo, pirofilita e vermiculita com hidróxi entre camadas. A formação das TPAs na continuação Várzea-Terra Firme é um padrão recorrente ao longo do sistema Amazonas-Solimões, conforme revela a presença de novos sítios arqueológicos desconhecidos da ciência; as TPAs de Várzea do Alto Solimões revelam maior riqueza química e mineralógica que as TPAs de Terra Firme; as semelhanças das TPAs de Várzea do Alto Solimões com o Médio Amazonas indicam que o modelo de ocupação de Várzea não foi diferente ao longo do sistema Amazonas-Solimões; o P-Ca é a fonte primária de P, progressivamente transformada em formas de P-Al e P-Fe com a pedogênese. Idades das TPAs no Alto Solimões revelam a ocupação inicial nos ambientes de Terra Firme, seguido da ocupação da Várzea com construção de aterros (mounds); A mineralogia das TPAs de Terra Firme demonstra intemperismo mais avançado na Bacia do Solimões, em relação às outras regiões da Amazonia.

**Palavras chave:** solo antrópico, arqueo-antrossolos, terra preta de índio, terra preta em várzea de igapó.

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia Sedimentar do Solimões apresenta no ecossistema de Terra Firme duas classes de solos dominantes, Argissolos, na maior parte com plintita, perfazendo em torno de 58 % do total, e Plintossolos com 23 %, ambos apresentam caráter alítico quase generalizado, com argila de atividade alta (argila 2:1) e teores elevados de alumínio. Já nos ecossistemas de Várzea os solos em geral são ricos e eutróficos (Neossolos Flúvicos e Gleissolos) com argila de atividade alta em constante renovação sedimentar, pela origem andina/subandina (Schaefer et al., 2017).

Uma das feições mais impressionantes do Alto Solimões/Amazonas é a imensa e densa rede de drenagem que alimenta os dois troncos que, unidas, formam o Amazonas (Ucayali/Marañón), além da mais extensa cobertura florestal intocada de toda Amazônia, com a característica de ser tanto isolada para os países Andinos (Colômbia e Peru) quanto no extremo isolamento ocidental brasileiro (Lathrap, 1970).

Geomorfologicamente, a topografia geral denota a existência de um grande triângulo, ou “cunha” entre o Amazonas e o rio Madeira, onde repousam antigos depósitos fluviais (Aluviais) da formação Solimões, além das planícies aluviais atuais, inundadas (várzeas). Apesar da discreta paisagem da terra firme baixa (Aluviões antigos) para a planície fluvial atual, as duas zonas são na prática, completamente distintas do ponto de vista ecológico, pedológico e humano: as várzeas atuais são quimicamente ricas, atrativas com locais de pesca e caça embora comparativamente mais difíceis para estabelecer habitações permanente (Lathrap, 1970), exceto pelos diques aluviais arenosos.

Apesar de pouco conhecido, na região do Alto Solimões, também ocorrem solos antrópicos. Conhecidos como Terras Pretas de Índio (TPIs), Terra Preta (TP), Terra Preta Arqueológica (TPA), (Kern e Kämpf, 1989) ou Arqueo-antrossolo (Kämpf et al., 2003). Apresentam cor escura no horizonte A (bruno acinzentado a muito escura), valores mais elevados de pH, CTC, V, MO, P, Ca, Mg, Zn e Mn, podendo ter variações físicas e químicas dentro e entre sítios, (Kern e Kämpf, 1989; Lima, 2001; Lima et al., 2002; Lehmann et al., 2003; Schaefer et al., 2004; Kern et al., 2009; Santos et al., 2013).

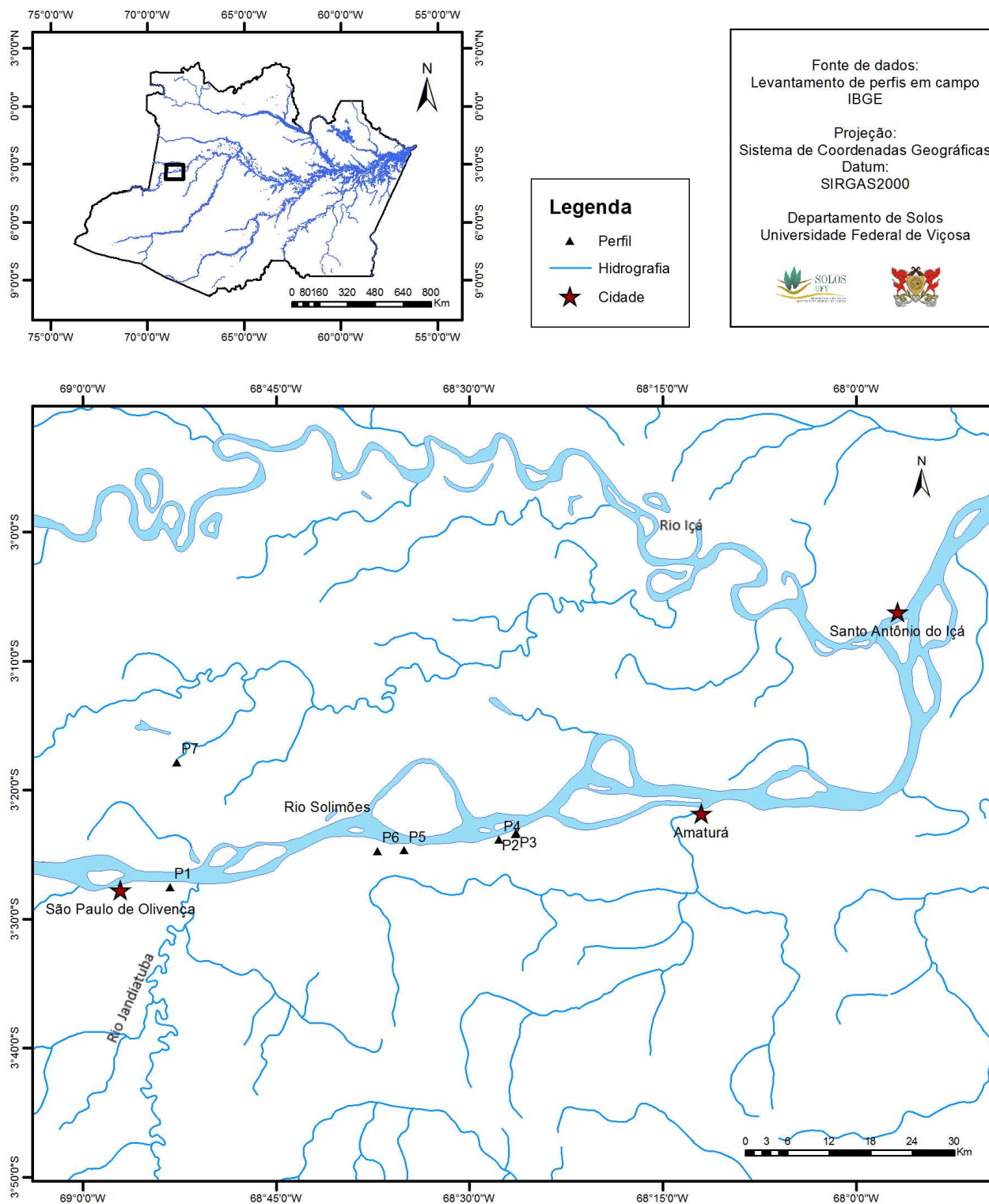
Há estimativas de que as TPAs ocupem entre 6.000 e 18.000 km<sup>2</sup> da Bacia Amazônica (Sombroek et al., 2003); com tamanho variando de 1 a 500 ha (Smith, 1980), datadas de 1.000 a 2.000 anos (Kämpf e Kern, 2005). São registrados com muita frequência no ambiente de terra firme, e com menor intensidade em Várzea, próximas as margens dos rios (Souza et al., 2009).

As dificuldades de acesso inerentes à Região Amazônica limitaram o conhecimento das TPAs, mas com o avanço de pesquisas isso deve mudar (Kern et al., 2009).

As TPAs foram majoritariamente estudadas no Médio e Baixo Amazonas, restando ainda extensa área do Alto Solimões/Amazonas praticamente inexplorada cientificamente. Além da lacuna de conhecimento, existem grandes diferenças na constituição sedimentar das bacias nos diferentes setores do Solimões/Amazonas, o que repercute nos atributos dos solos (Schaefer, 2013) sem que as possíveis inferências nas TPAs sejam conhecidas. A partir disso, o trabalho buscou estudar a gênese de solos com horizontes antrópicos (TPAs) em ambientes de terra firme, várzea e/ou igapó estacional na região do Alto Solimões Amazonas. Além de permitir um maior conhecimento dos atributos físicos, químicos e mineralógicos destes solos, este trabalho traz como contribuição a apresentação de sítios praticamente desconhecidos da Pedoarqueologia brasileira.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo localiza-se na região do Alto Solimões, próximo ao contato da Sub-Bacia do Jandiatuba com a Sub-Bacia do Juruá, separados pelo (Arco do Caruari) nos municípios de São Paulo de Olivença e Amaturá-AM (Figura 1). Geologicamente, insere-se na Formação Solimões, constituída essencialmente de argilitos e siltitos finamente laminados e maciços, contendo lentes de linhito e turfa, concreções carbonáticas e gipsíferas, além de quantidades menores de sedimentos arenosos (Cavalcante, 2006). Tal diversidade litológica provoca variações na formação dos solos.



**Figura 1.** Localização da área de estudo, contato (Sub-Bacia do Jandiatuba com a Sub-Bacia do Juruá).

Este trabalho abrange duas unidades morfoestruturais, a planície do rio Solimões (Várzea), caracterizada de sedimentos fluviais Quaternários desenvolvida

ao longo da margem esquerda do rio Solimões, com predomínio de Neossolos e Gleissolos; e o Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (Terra Firme), em área com relevo suavemente dissecado, alongado e estreito, com interflúvios tabulares e fraco entalhamento de talvegues. Esta última apresenta sinais de cordões de sedimentação antigas sobre os sedimentos terciários, com predomínio de Argissolo Vermelho Amarelo (RADAM, 1977).

O clima segundo a classificação de Koppen é Af, clima tropical úmido, com temperatura média anual é 25.6 °C, e precipitação média de 2750 mm, agosto é o mês mais seco com média anual de 140 mm (RADAM, 1977).

Foram selecionados sete sítios onde se verificou a presença de solos antrópicos, sendo dois (dois) sítios em Várzea e 5 (cinco) em Terra Firme. Foram abertas trincheiras para descrição morfológica e coleta de amostras de acordo com Santos et al. (2015). Os solos foram classificados conforme EMBRAPA (2013).

Na Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) foram determinados pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, usou-se a 10 g de TFSA para 25 ml. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> via extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificação por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA) conforme (EMBRAPA 2011). Os valores de ΔpH foram encontrados a partir da subtração: pH em KCl – pH em H<sub>2</sub>O.

Os teres trocáveis de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, foram determinados via extração com solução Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>) e quantificado por fotometria de chama. Acidez total (H + Al), por meio de extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0, e quantificação por titulometria com NaOH 0,05 mol L<sup>-1</sup>.

A extração de Zn, Mn, Fe e Cu disponíveis, foi feita com extrator Mehlich-1 Conforme (EMBRAPA, 2011).

A partir dos resultados de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, foram calculados SB = (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>); a CTC a pH 7 (T) = SB + (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), a CTC efetiva (t) = SB + (Al<sup>3+</sup>), a saturação por bases (V %) = SBx100/T e saturação por Al<sup>3+</sup> (m %) = Al<sup>3+</sup> x 100/ t conforme EMBRAPA, (2011).

Carbono orgânico foi determinado pelo método Walkley-Black, por oxidação via dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,167 mol L<sup>-1</sup>) em meio ácido, seguida da titulometria de complexação com solução de sulfato ferroso (0,025 mol L<sup>-1</sup>) (EMBRAPA, 2011).

Para a determinação do P disponível, foi feita extração com a solução Mehlich-1 ( $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ) e quantificação por colorimetria com ácido ascórbico segundo Braga e Defelipo, (1974).

O P-resina foi feito pelo método da resina trocadora de cátions e ânions conforme EMBRAPA (2011) e quantificado pelo método colorimétrico de Braga e Defelipo, (1974).

Para o fracionamento de P foram feitas 4 (quatro) extrações sequenciais, conforme o método de Chang e Jackson (1957); para 0,5 g de TFSA usou-se 50 ml das soluções de  $\text{NH}_4\text{Cl } 1 \text{ mol L}^{-1}$  para extrair P solúvel;  $\text{NH}_4\text{F } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para extrair P ligado alumínio;  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  para extrair P ferro;  $\text{H}_2\text{SO}_4 0,25 \text{ mol L}^{-1}$  para extrair P cálcio, e por último, fusão alcalina com  $\text{LiBO}_2$  para extrair o P residual. Em todas extrações o P foi quantificado pelo método colorimétrico de Murphy e Riley, (1962).

A determinação das frações areia grossa, areia fina, silte e argila, foi feita de acordo com Ruiz (2005). As amostras de TFSA foram dispersas com solução de  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  por 16 horas de agitação em agitador tipo Wagner (50 rpm), enquanto a fração areia foi separada por tamisação e argila pelo método da pipeta.

Para extrair Fe, Al, e Mn pouco cristalinos e complexados à matéria orgânica, usou-se o método do oxalato de amônio ( $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  - pH 3,0) na ausência de luz (McKeague e Day, 1966). Para extrair os teores destes mesmos elementos, presentes em óxidos cristalinos, usou-se o método do ditioníto citrato bicarbonato (DCB), conforme Mehra e Jackson (1960), na fração argila. Foi calculada a relação Feo/Fed, que indica o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro.

A digestão total da TFSA foi feita conforme EPA 3052 (USEPA, 1996) ajustada para o método do Bloco Digestor DigiPREP MS em tubos de teflon fechados em triplicata. As amostras de TFSA foram trituradas com almofariz de ágata e peneiradas a 200 mesh. Tubos de teflon com capacidade para 50 ml, com 0,25 g das amostras foram usadas na digestão, com evaporação dos gases através da pré-digestão com  $\text{HNO}_3$  50% à  $65^\circ\text{C}$  em tubos parcialmente fechados; em seguida foi feita a digestão com 3ml de  $\text{HNO}_3$  e 2 ml de HF, ambos concentrados, em tubos fechados à temperatura de  $110^\circ\text{C}$  por 24 horas, a cada 3 horas as amostras foram sonificadas, o processo foi repetido por três vezes e finalizado com a evaporação do HF a  $65^\circ\text{C}$ .

Após a digestão, os elementos foram quantificados por espectrometria de emissão atômica óptica por plasma induzido (ICP-OES).

Para conhecer a idade das TPAs no Alto Solimões, foram feitas datações em fragmentos de carvão pirogênico enterrado, na camada basal dos solos, pela técnica de radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ), no Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense (LAC-UFF). As amostras de carvão foram preparadas de acordo com a metodologia proposta por Macário et al. (2016). A calibração das idades foi realizada com OxCal versão 4.2 (Ramsey; 2009) utilizando o software de curva SHCal13 (Hogg et al., 2013) dentro de um intervalo de confiança de 2 sigmas, as idades modernas foram calibradas de acordo com Hua et al. (2013).

A identificação dos minerais nas areias e argilas foi realizada através da técnica de Difractometria de Raios-X em difratômetro da marca PanAnalytical - Modelo X'pert PRO, com tubo ânodo de cobalto. As amostras de TFSA foram dispersas por 16 horas em agitador tipo Wagner (50 rpm), com solução de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , e as frações foram separadas por tamisação (areia) e sedimentação (silte e argila).

Nas amostras que apresentaram evidências de minerais 2:1, foram feitos 4 (quatro) tratamentos conforme Whitttg e Allardice (1986), saturação com magnésio ( $\text{MgCl}_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), solvatação com etilenoglicol nas lâminas saturadas com magnésio; saturação com potássio ( $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ ); e aquecimento das lâminas saturadas com potássio a 350 e 550 °C. Todos os tratamentos foram feitos após a desferrificação das amostras com DCB, descrito acima.

Os difratogramas foram interpretados conforme Chen, (1977) e Whitttg e Allardice, (1986).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Caracterização física e morfológica**

Os solos antrópicos de várzea e terra firme do Alto Solimões caracterizam-se pela abundância de fragmentos de cerâmica e carvão, distribuídos do topo do horizonte A até a base do BA, com profundidade variando de 10 a 64 cm, (Tabela 1). Kämpf e Kern (2005) evidenciam que alto conteúdo de carvão indica uma elevada adição de material orgânico, posteriormente carbonizado em fogos domésticos de baixa intensidade. Dentre os perfis, P 6 foi aquele que apresentou maior quantidade de fragmentos de carvão.

Nos solos estudados na Terra Firme, os horizontes A antrópicos apresentam textura média, enquanto os horizontes subsuperficiais (B) possuem texturas variando de média a argilosa, indicando um incremento de argila em profundidade, por podzolização (Tabela1).

Na Várzea, ocorrem duas situações. Próximo ao rio, foi observada textura média em todo o perfil, com teores semelhantes das frações areia fina e silte (Tabela 1), típico de depósitos aluviais. Na várzea distante da margem do rio Solimões, aqui abordada como igapó estacional (P 7, "Aterrado"), ocorre textura siltosa, com frações dominantes de silte e argila. É provável que a seleção de frações mais finas em igapó estacional esteja relacionada à menor energia do curso d'água, formando uma planície colmatada de rios meândricos, em águas calmas (lagos de Várzea).

Os horizontes antrópicos de Terra Firme apresentam estrutura com grau fraco e tamanho variando de pequena a média do tipo blocos subangulares. Os horizontes transicionais (AB e BA) apresentam estrutura com grau de formação moderado ou moderado/forte do tipo blocos angulares e subangulares. Os horizontes subsuperficiais (B), caracterizam-se pela estrutura de grau forte, com tamanho variando de média/grande ou grande do tipo blocos angulares.

A cor úmida dos horizontes antrópicos de Várzea apresenta variação de bruno acinzentado escuro (10 YR 4/2) a preto (10 YR 2/1), e nos horizontes subsuperficiais cor bruno (10YR 4/3) e bruno amarelo escuro (10YR 4/4) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Cor e caracterização física, das TPAs, Alto Solimões-AM.

Hor. Símb.	Prof. cm	Cor Úmida Munsell	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
-----g kg <sup>-1</sup> -----							
<b>Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P1)</b>							
Ap	0-8	10YR 4/2	16	391	377	216	Franco argiloso
Bi	8-35	10YR 4/3	9	391	396	204	Franco argiloso
CB	35-80	10YR 4/4	13	342	416	229	Franco argiloso
C	80-120	10YR 5/1	35	418	400	147	Franco
<b>Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P2)</b>							
Ap	0-10	10YR 2/1	185	401	214	200	Franco argilo arenoso
AB	10-40	10YR 2/2	172	358	237	232	Franco argilo arenoso
BA	40-45	10YR 3/2	179	414	194	213	Franco argilo arenoso
Bt1	45-100	10 YR 5/4 e 3/2	174	377	193	256	Franco argilo arenoso
Bt2	100-140	10 YR 5/6 e 4/3	132	384	212	272	Franco argilo arenoso
<b>Argissolo Vermelho Ta Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (P3)</b>							
Ap	0-10	2,5YR 2,5/1	130	344	289	236	Franco argilo arenoso
A2u	10-28	2,5YR 2,5/1	136	345	278	241	Franco argilo arenoso
AB	28-36	2,5YR 2,5/2	109	411	264	216	Franco argilo arenoso
BA	36-48	2,5YR 4/4	55	390	254	301	Franco argiloso
Bt1	48-80	2,5YR 4/6	20	287	217	475	Argila
Bt2	80-120	2,5YR 5/6	13	283	176	529	Argila
Bt3	120-170	2,5YR 5/8	13	291	210	485	Argila
<b>Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P4)</b>							
Ap	0-10	7,5YR 2/1	376	341	140	143	Franco arenoso
A2u	10-35/45	7,5YR 2/1	417	311	118	154	Franco arenoso
AB	35/45-52/62	7,5YR 3/2	426	295	116	163	Franco arenoso
BA	52/62-100	7,5YR 4/6 e 3/2	356	251	117	276	Franco argilo arenoso
Bt	100-140	7,5YR 5/6 e 3/2	349	248	126	277	Franco argilo arenoso
<b>Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (5)</b>							
Ap	0-8	7,5YR 2,5/1	28	641	147	184	Franco arenoso
A2u	8-40	7,5YR 2,5/1	74	506	162	258	Franco argilo arenoso
AB	40-55	7,5YR 3/1	93	565	149	194	Franco arenoso
BA	55-70	7,5YR 4/6 e 3/2	86	506	138	270	Franco argilo arenoso
Bt	70-120+	7,5YR 5/6	44	434	137	384	Franco argiloso
<b>Latossolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P6)</b>							
A1u	0-12	10YR 2/1	100	417	237	246	Franco argilo arenoso
A2u	12-54	10YR 3/1	36	513	159	292	Franco argilo arenoso
A3u	54-64	10YR 2/1	34	424	227	315	Franco argiloso
2BA	64-72	10YR 5/6	13	402	177	408	Argila
3AB	72-90	10YR 3/2	17	425	233	324	Franco argiloso
3Bw	90-140+	10YR 5/6	11	336	176	478	Argila
<b>Gleissolo Háptico Ta Eutrófico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P7)</b>							
Ap	0-10	10YR 2/1	16	115	609	260	Franco argilo siltoso
A2u	10-20	10YR 2/1	13	115	585	287	Franco argilo siltoso
AC	20-25	10YR 3/1	17	122	578	283	Franco argilo siltoso
CA	25-35	10YR 3/2	7	146	582	265	Franco argilo siltoso
C1	35-60	10YR 4/3	11	128	607	254	Franco argilo siltoso
2A3ub	60-100	10YR 3/2	17	113	544	326	Franco argilo siltoso
2C2	100-125	10YR 4/2	14	140	584	262	Franco argilo siltoso
3C3	125-180	10YR 4/3	18	55	632	295	Franco argilo siltoso

Para os horizontes antrópicos de Terra Firme a cor da amostra úmida varia de preto avermelhado (2,5 YR 2,5/1) a preto (10 YR 2/1) ou bruno muito escuro 10 YR 2/2, enquanto nos horizontes subsuperficiais, variam de vermelho (2,5 YR 4/6, 5/6 e 5/8) a bruno amarelado (10 YR 5/4 ou 5/6) (Tabela 1).

A cor escura expressa nos horizontes antrópicos é atribuída à ocorrência abundante fragmentos de carvão pirogênico, facilmente registrado em todos os perfis, desde o topo dos horizontes antrópicos até a base do AB, variando em espessura. Smith (1980) relata a permanência da cor escura destes horizontes, após longo período de exposição ao clima tropical quente e úmido com elevada precipitação, como um fator extraordinário, relacionado aos altos conteúdos de carvão pirogênico.

De acordo com Cunha et al. (2007) a humina e ácidos húmicos são as substâncias predominantes nos horizontes antrópicos, apresentam cor escura e maior poder de recalcitrância nestes solos. De acordo com Moreira (2007) a ação antrópica proporciona a manutenção dos ácidos húmicos e humina e a diminuição de ácidos fúlvicos, conferindo melhoria na qualidade da matéria orgânica e maior grau de humificação.

Em termos de atividade biológica pode-se afirmar que a pedobioturbação é muito abundante em todos os perfis, representada por muitas galerias e canais biológicos, que conectam os horizontes A antrópicos aos horizontes subsuperficiais, transportando material orgânico e solutos. A atividade biológica não influencia apenas na morfologia, mas também nos atributos físicos e químicos dos solos.

Material orgânico é transportado por iluviação ou pedobioturbação do horizonte antrópico, pela atividade biológica através da abundante rede de poros, recobrando os agregados do horizonte B e formando feições clássicas de iluviação na forma de orgãos e cutãs, muito comuns nos solos antrópicos. São bem menos frequentes nos solos adjacentes, maiores detalhes são descritos na seção de micromorfologia (capítulo IV).

### **3.2 Características químicas dos solos estudados**

As características químicas das TPAs estudadas no Alto Solimões são diferentes das características dos solos não antrópicos. Conforme observado por Lima et al. (2006) e Schaefer et al. (2017) os solos do Alto Solimões são

naturalmente ácidos pobres em nutrientes e ricos em  $\text{Al}^{3+}$  trocável, em função da natureza do material de origem e das condições bioclimáticas.

Nesse trabalho os atributos químicos são classificados de acordo com Ribeiro et al. (1999).

Os horizontes A antrópicos e os horizontes subsuperficiais dos ecossistemas de Terra Firme e Várzea apresentam variações semelhantes de pH em água. Nos horizontes A antrópicos de Terra Firme, o pH varia de 5,12 a 6,07, já nos horizontes subsuperficiais variam de 5,02 a 5,99. Estes resultados estão de acordo com os estudos de Falcão et al. (2009) que relatam variação de pH 5,2 a 6,4. Nos horizontes A antrópicos de Várzea o pH varia de 5,77 a 5,98 e nos horizontes subsuperficiais 5,34 a 6,14 (Tabela 2). Foram detectados teores de  $\text{Al}^{3+}$  mesmo em pH acima de 5,5 o que revela que não se trata de  $\text{Al}^{3+}$  trocável.

Estes valores de pH no perfil como todo, exclusivamente em áreas de Terra Firme são atribuídos à deposição de resíduos antrópicos com reação alcalina. Costa et al. (2009) descreve que os teores elevados de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , obtidos da decomposição do material orgânico (antrópico) resulta na elevação do pH, o que é condizente com o resultado. Contudo nas áreas de Várzea, além da ação antrópica, ocorre deposição de sedimentos aluviais ricos em nutrientes, como o  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , corroborado pelos teores encontrados nos horizontes subsuperficiais em TPAs de Várzea (Tabela 02).

Destaca-se, que o valor de pH mais alto 6,07 (Tabela 2), foi encontrado em horizonte antrópico (P6, A3). Tal horizonte exibe um maior acúmulo de carvão pirogênico, sugerindo que este contribua para a elevação do valor de pH. Valores de pH elevados com alta CTC, foram reportados por Glaser et al. (2002) e Oguntunde et al. (2004) e atribuído ao aumento do nível de cátions trocáveis derivado ou retido pelo carvão pirogênico.

Os valores de pH em KCl foram sempre menores em todos os pedoambientes, variando de 4,2 a 4,9, resultando em valores de  $\Delta\text{pH}$  (KCl – pH em  $\text{H}_2\text{O}$ ) sempre negativos em todos os horizontes antrópicos, indicando predomínio de carga superficial líquida negativa (Lima et al., 2002). Esses valores são condizentes com Falcão et. (2009) e Lima et al. (2002) entre outras TPAs na Amazônia.

**Tabela 2.** Características química das TPAs, Alto Solimões-AM.

Hor.	Prof.	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	C	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn
				-----mg/dm <sup>3</sup> -----					-----cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----					-----%-----	g/kg	mg/L					-----mg/dm <sup>3</sup> -----
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P1)																					
Ap	0-8	5,77	4,75	132,9	27	2,7	5,42	0,86	0,1	2,3	6,36	6,46	8,66	73,4	1,5	17,98	31,4	1,91	52,9	375,3	3,94
Bi	8-35	5,95	4,21	306,2	22	12,8	10,83	1,24	0,1	2,1	12,18	12,28	14,28	85,3	0,8	4,52	29,5	2,57	34,5	409,8	5,28
CB	35-80	5,98	4,82	463,8	41	31,8	13,59	1,46	0,3	3,1	15,29	15,59	18,39	83,1	1,9	3,75	28,9	2,37	14,7	351,6	3,84
C	80-120	5,9	4,26	773,8	28	33,8	11,53	1,08	0	3	12,83	12,83	15,83	81	0	3,77	34,8	4,01	13,5	400,4	5,79
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P2)																					
Ap	0-10	5,35	4,19	1122,1	38	9,7	7	0,43	0,2	8,1	7,57	7,77	15,67	48,3	2,6	51,04	28,7	3,37	25,5	220,6	11,61
AB	10-40	5,68	4,47	1197,9	23	5,7	8,57	0,03	0	6,3	8,68	8,68	14,98	57,9	0	15,08	29,6	4,11	52,6	272,3	11,32
BA	40-45	5,82	4,44	860,9	16	3,7	5,69	0,02	0	5,8	5,77	5,77	11,57	49,9	0	15,08	30	3,12	19,8	282	7,2
Bt1	45-100	5,99	4,28	351,3	4	0	4,83	0,02	0,3	3	4,86	5,16	7,86	61,8	5,8	15,08	33,5	0,73	4,1	148,7	1,16
Bt2	100-140	5,5	4,31	276,9	4	0	3,44	0,01	0,7	3,1	3,46	4,16	6,56	52,7	16,8	7,54	32,4	0,45	2,3	106,2	0,61
Argissolo Vermelho Ta Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (P3)																					
Ap1	0-10	5,53	4,35	265,8	53	0	11,75	1,16	0	11,1	13,05	13,05	24,15	54	0	59,92	18,7	1,94	106,8	101,5	12,67
A2	10-28	5,45	4,42	237,1	8	0	10,57	0,22	0,2	12,2	10,81	11,01	23,01	47	1,8	50,58	10,7	1,7	31,8	39	4,2
AB	28-36	5,98	4,63	694,3	12	0	8,68	0,14	0,3	13,7	8,85	9,15	22,55	39,2	3,3	33,70	8,4	2,66	17,7	135,7	4,84
BA	36-48	5,65	4,8	369,8	13	0	5,43	0,35	0,9	8,1	5,81	6,71	13,91	41,8	13,4	14,21	19,1	1,97	8,4	142,8	2,78
Bt1	48-80	5,4	4,73	268,3	9	0	4,33	0,41	2,3	8,1	4,76	7,06	12,86	37	32,6	4,52	14,8	0,99	3,7	68,5	1,75
Bt2	80-120	5,02	4,76	396,6	7	0	3,19	0,19	3,4	7,9	3,4	6,8	11,3	30,1	50	3,02	13,6	0,69	2,6	36,9	1,19
Bt3	120-170	5,35	4,3	313,6	13	1,7	4,52	0,3	2,3	7,1	4,86	7,16	11,96	40,6	32,1	2,26	16,3	0,75	3,2	40,2	1,53

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Na: Sódio trocável, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, t: capacidade de troca catiônica efetiva, T: capacidade de troca catiônica total a pH 7, m: percentagem de saturação por alumínio, C: carbono orgânico, P-Rem: fósforo remanescente, Cu: cobre trocável, Fe: ferro trocável, Zn: zinco trocável.

Continuação da tabela 2.

Hor.	Prof.	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P -----mg/dm <sup>3</sup> -----	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V -----%-----	m	C g/kg	P- Rem mg/L	Cu	Mn -----mg/dm <sup>3</sup> -----	Fe	Zn
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P4)																					
Ap	0-10	5,37	4,31	192,2	47	0	4,36	0,81	0	6,4	5,29	5,29	11,69	45,3	0	31,50	34,9	2,17	59,9	170,2	9,45
A2	10- 35/45	5,79	4,7	225,3	11	0	4,73	0,5	0	4,8	5,26	5,26	10,06	52,3	0	13,52	31,1	1,83	28,9	120,2	3,02
AB	35/45- 52/62	5,51	4,53	480,5	15	0	4,78	0,4	0	4,6	5,22	5,22	9,82	53,2	0	7,48	30,8	1,2	9,2	84,4	1,1
BA	52/62- 100	5,88	4,42	276,9	27	0	4,15	0,38	0	3,3	4,6	4,6	7,9	58,2	0	3,02	34	0,25	2,2	81,5	0,34
Bt	100-140	5,68	4,2	271,7	31	0	4,49	0,55	0	3,8	5,12	5,12	8,92	57,4	0	3,77	29,4	0,42	3,6	149	0,36
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Município de Amaturá-AM (5)																					
Ap	0-8	5,6	4,18	311,8	32	0	9,38	1,06	0	5,8	10,52	10,52	16,32	64,5	0	22,51	32,9	1,29	149,1	40,4	7,14
A2	8-40	6,07	4,71	206,2	9	0	8,26	1,15	0	5	9,43	9,43	14,43	65,3	0	20,59	23,9	2,09	36,8	59,8	4,63
AB	40-55	5,63	4,86	290	6	0	1,97	0,34	0,7	6,1	2,33	3,03	8,43	27,6	23,1	7,48	24,8	2,08	9,6	138,5	2,04
BA	55-70	5,32	4,93	266,6	8	0	1,82	0,41	1,3	6,1	2,25	3,55	8,35	26,9	36,6	3,77	25,7	1,35	5,5	166,5	1,47
Bt1	70-120	5,25	4,96	276	6	0	2,41	0,28	1,4	5,1	2,71	4,11	7,81	34,7	34,1	3,16	19,3	0,39	1,8	90,9	0,88
Latossolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P6)																					
A1	0-12	5,93	4,23	103,3	35	0	15,76	2,61	0	4,8	18,46	18,46	23,26	79,4	0	82,42	43	0,51	225,2	15,3	24,18
A2	12-54	5,12	4,16	1289,2	13	0,7	11,59	0,14	0	5,8	11,77	11,77	17,57	67	0	20,59	27,2	2,18	17,3	104,3	11,02
A3	54-64	6,07	4,98	1241,1	10	1,7	20,17	0,45	0	9,4	20,65	20,65	30,05	68,7	0	46,81	23,9	1,92	13,2	107,1	14,82
2BA	64-72	5,99	4,25	530,5	7	0	10,02	0,38	0	5,9	10,42	10,42	16,32	63,8	0	8,24	27,4	1,49	8,3	147,4	4,46
3AB	72-90	5,74	4,9	777,1	11	0	9,92	0,39	0	5,4	10,34	10,34	15,74	65,7	0	10,50	27,3	2,19	12,7	271,6	6,04
3Bw	90-140+	5,49	5	347,3	4	0	4,85	0,54	0,1	4,6	5,4	5,5	10	54	1,8	3,02	27,1	0,34	2,1	29,7	1,12

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Na: Sódio trocável, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, t: capacidade de troca catiônica efetiva, T: capacidade de troca catiônica total a pH 7, m: percentagem de saturação por alumínio, C: carbono orgânico, P-Rem: fósforo remanescente, Cu: cobre trocável, Fe: ferro trocável, Zn: zinco trocável.

Continuação da tabela 2.

Horiz.	Prof.	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P -----mg/dm <sup>3</sup> -----	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V -----%-----	m	C g/kg	P- Rem mg/L	Cu -----mg/dm <sup>3</sup> -----	Mn	Fe	Zn
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P7)																					
Ap	0-10	5,75	4,29	143,8	30	0	23,08	1,41	0	6,9	24,57	24,57	31,47	78,1	0	63,69	33,8	2,32	115,3	33,8	23,06
A2u	10-20	5,84	4,81	916,6	40	13,8	18,53	0,84	0,1	7,1	19,53	19,63	26,63	73,3	0,5	22,51	17,6	7,68	22,9	81,3	21,36
AC	20-25	5,89	4,28	1905,2	44	23,8	17,65	0,6	0,6	9,6	18,47	19,07	28,07	65,8	3,1	13,52	19,1	9,16	22,7	117,8	28,25
CA	25-35	5,53	4,33	1088,9	28	14,8	16,66	0,54	1	7,4	17,34	18,34	24,74	70,1	5,5	5,97	24,1	6,11	13,9	100,7	10,65
C1	35-60	5,34	4,4	1088,9	29	17,8	17,21	0,64	0,5	7,1	18	18,5	25,1	71,7	2,7	5,97	26,9	6,07	20	162,2	14,67
2A3ub	60-100	5,49	4,47	2949,1	19	30,8	25,46	0,76	0	5,4	26,4	26,4	31,8	83	0	26,22	27,8	4,58	16,4	191,6	23,2
2C2	100-125	6,14	4,57	2586,8	36	44,8	22,2	1,12	0	6,1	23,61	23,61	29,71	79,5	0	8,99	39,7	5,58	18,4	152,2	43,9
3C3	125-180	6	4,66	1546	42	41,8	25,6	1,23	0	3,6	27,12	27,12	30,72	88,3	0	3,77	43	3,72	13,4	99,1	14,97

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Na: Sódio trocável, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, t: capacidade de troca catiônica efetiva, T: capacidade de troca catiônica total a pH 7, m: percentagem de saturação por alumínio, C: carbono orgânico, P-Rem: fósforo remanescente, Cu: cobre trocável, Fe: ferro trocável, Zn: zinco trocável.

Nas TPAs de Várzea o  $\text{Ca}^{2+}$  apresentou valores muito alto, variando de 5,42 - 25,6  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (Tabela 2), tendendo sempre à aumento em profundidade. Estas maiores concentrações são atribuídas a dois fatores principais: deposições antrópicas, conforme Kämpf e Kern (2005), que indicam o descarte de resíduos de alimentos, como fonte de  $\text{Ca}^{2+}$ , e sedimentos depositados nas cheias anuais das Várzea, aumentando os níveis de cátions trocáveis como cálcio (Lima et al., 2006).

Os horizontes A antrópicos de Terra Firme também apresentam valores de  $\text{Ca}^{2+}$  muito alto, variando de 4,73 - 20,17  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (Tabela 2), mas os horizontes subsuperficiais revelam teores menores variando de 1,82 - 10,02  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (Tabela 2). Há uma redução em profundidade, embora os horizontes subjacentes ainda apresentem valores relativamente altos de  $\text{Ca}^{2+}$ , mencionados em função da iluviação e bioturbação (Kämpf e Kern 2005); considerando que a Terra Firme Amazônica possui teores de  $\text{Ca}^{2+}$  muito baixo.

O valor mais elevado de  $\text{Ca}^{2+}$  nas TPAs de Terra Firme foi registrado no P6, horizonte (A3). Conforme já descrito, este horizonte apresenta um acúmulo maior de carvão pirogênico. É postulado que o carvão pirogênico represente fonte de  $\text{Ca}^{2+}$ , corroborando com Glaser et al. (2002) e Oguntunde et al. (2004) que relataram que o carvão pirogênico aumenta significativamente os níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  e a CTC.

Os horizontes antrópicos nas áreas de Várzea e Terra Firme apresentam valores de  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis semelhantes, (baixos a muito bom), variando de 0,14 - 2,61  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , seguindo a tendência do  $\text{Ca}^{2+}$  (Tabela 2), mas com valores bem menores, já que a apatita possui  $\text{Ca}^{2+}$  mais não  $\text{Mg}^{2+}$ .

O  $\text{K}^+$  trocável, nos horizontes antrópicos de Terra Firme e Várzea variam de muito baixo a bom, 6 - 53  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (Tabela 2). Tais valores são inferiores à média 66,47  $\text{mg}/\text{dm}^3$  de Falcão et al. (2009), que relata baixos valores de  $\text{K}^+$  em horizontes antrópicos. Os valores de  $\text{K}^+$  são muito influenciados pelo material de origem (rico ou pobre em micas) e na presença de cerâmica ricas em  $\text{K}^+$ .

Foram encontrados maiores teores de  $\text{K}^+$  trocáveis nas TPAs de Terra Firme em todos os horizontes Ap antrópicos (superficiais). Mas tal situação não se repete nas TPAs de Várzea. É possível que o  $\text{K}^+$  seja influenciado pela degradação da cerâmica, conforme apresenta Corrêa (2007), mas no presente caso menos acentuado.

Os teores de  $\text{Na}^+$  trocável nas TPAs de Terra Firme são muito baixo ou nulos, já nas TPAs de Várzea os teores são maiores, e estão associados aos sedimentos andinos (Lima et al., 2006).

Os valores mais elevados do conjunto  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  em horizontes antrópicos de Terra Firme refletem nos resultados mais elevados de pH, soma de bases, CTC e saturação por bases e diminuição do  $\text{Al}^{3+}$  trocável (Tabela 2), condizente com Kern e Kämpf (1989). Nas áreas de Várzea a soma de bases, a CTC e a saturação por bases apresentam valores maiores em horizontes subsuperficiais.

Em todos os perfis estudados há incremento de carbono orgânica nos horizontes antrópicos variando (35,5 a 142,1 g/kg), (Tabela 2). Este incremento é resultado da matéria orgânica oriunda da combustão incompleta (carvão pirogênico), tornando-a mais estável no solo (Zech et al., 1990). A permanência da matéria orgânica pirogênica nos horizontes antrópicos é atribuída à sua estrutura aromática policíclica, que é química e biologicamente estável, sendo passiva de oxidação lenta, produzindo grupos carboxílicos nas arestas do núcleo aromático, aumentando a CTC e reatividade do carbono (Kämpf e Kern, 2005), com alta capacidade de retenção de nutrientes (Glaser et al., 2001).

Os valores de  $\text{Al}^{3+}$  (acidez trocável), nos horizontes antrópicos são nulos ou baixos variando de 0 - 0,7 (Tabela 2). Os valores diferem dos teores relatados por Lima et al. (2006), acima de 10  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , com saturação de Alumínio acima de 60 % nos Argissolos (não antropogênicos). Assim, a redução do  $\text{Al}^{3+}$  pela acumulação da matéria orgânica antrópica parece evidente (Cunha et al., 2009), e tal efeito se prolonga em profundidade na maioria dos perfis estudados, com exceção do P3 que apresenta valor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável muito alto 3,4  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  (Tabela 2). Este valor ainda é bem inferior ao registrado em Argissolo Amarelo ( $\text{Al}^{3+}$  trocável 10,8  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ ) (Lima et al., 2006), na mesma região.

Nas TPAs de Várzea, o Cu apresenta teores que se enquadram como altos, variando de 1,91 a 9,16  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (Tabela 2), aumentando em profundidade. Neste caso deve ocorrer variação de teores associados à sedimentação aluvial em diferentes profundidades. Já nas TPAs de Terra Firme, os teores de Cu variaram de muito baixo a alto (0,25 a 4,11  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) (Tabela 2), aumentando na superfície, o que indica associação com atividades antrópicas.

O Mn variou de 2,3 a 225,2 mg/dm<sup>3</sup> e o Zn variou de 0,36 a 43,9 mg/dm<sup>3</sup>, ambos classificados de muito baixo a alto, (Tabela 2), apresentando teores mais altos em horizontes antrópicos, o que evidencia associação com atividades antrópicas. Kern e Kämpf (1989) e Souza et al. (2009) reportam baixa mobilidade do Zn em solos antrópicos, com elevado teor de matéria orgânica.

O P disponível (Mehlich-1), apresenta valores muito altos, variando de 192,9 a 1289,1 mg/dm<sup>3</sup> para pedoambientes de Terra Firme, e 132,9 a 2949,1 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 2), para pedoambientes de Várzea, sendo este último horizonte enterrado, onde não houve subsequente.

Valores excepcionalmente elevados de P disponível (2949,1 mg/dm<sup>3</sup>) podem ser atribuído à descartes muito concentrados de ossos de animais e espinhas de peixes conforme relatam Lima et al. (2002) e Souza et al. (2009), além da influência conjugada do carvão pirogênico (Glaser et al., 2001). Como o ambiente de planície aluvial apresenta pH elevado e constante aporte de Ca<sup>2+</sup> e pouca lixiviação em ambiente sedimentar fechado, pela contínua deposição de sedimentos andinos relativamente ricos (Lima et al., 2006), retardando a dissolução da forma de P-Ca. Contudo não foram encontrados fragmentos de ossos, o que poderia explicar os valores mais altos de P.

Em áreas de Várzea a preservação de P é condicionada pelo pH elevado, retardando a dissolução de P-Ca. Foi reportado por Corrêa (2007), que ainda considera dois fatores que também influenciam nos teores de P elevados em várzea, a saber: a não utilização dos horizontes antrópicos em sistemas de cultivos, o que evita a retirada de nutrientes, e o baixo grau de pedogênese e pedobioturbação, ocasionando menor nível de degradação, principalmente em horizontes enterrados.

A principal fonte de P em horizonte antrópico de Terra Firme são os ossos, (Lima et al., 2002; Schaefer et al., 2004; Corrêa, 2007 e Souza et al., 2009). Neste pedoambiente, não ocorre influência de depósitos andinos, ou seja, a única fonte possível é apatita de osso, limitada pela quantidade descartada ao solo, diferente do pedoambiente de Várzea, que tem outras fontes além de ossos, como sedimentos andinos mais ricos. Isto pode também influenciar os níveis menores de P nos horizontes antrópicos de Terra Firme (Tabela 2), além de fatores retromencionados.

O P disponível nos pedoambientes de Terra Firme revela um acúmulo maior nos horizontes A2 e AB (1289,1 mg/dm<sup>3</sup>), reduzindo nos horizontes subjacentes. Apesar de ser considerado pouco móvel o P foi encontrado em horizontes com mais de 170 cm de profundidade atingindo 313,6 mg/dm<sup>3</sup>. Isto mostra que o impacto da ação antrópica não se limita apenas aos horizontes superficiais, onde houve o descarte, mais pode alterar o solo até profundidades maiores, por processos de lessivagem e bioturbação (Kämpf e Kern, 2005).

A pedobioturbação intensa foi indicada pela presença abundante e marcante de galerias e canais biológicos em todos os perfis estudados. Conforme Schaefer et al. (2004) a pedobioturbação contribui significativamente para o acúmulo de P em profundidade nas TPAs. Para Lima et al. (2002) e Corrêa, (2007) o acréscimo de P em profundidade está relacionado a mobilidade do P que ocorre pelo acúmulo da matéria orgânica, por variados processos.

### **3.3 Fracionamento sequencial de P**

O fracionamento do P proposto por Chang e Jackson, é um método que visa separar as formas de P extraídas em: P-NH<sub>4</sub>Cl (P facilmente solúvel), P-Al (P ligado a alumínio), P-Fe (P-ligado a ferro) P-Ca (P ligado a cálcio) e P residual, e pode facilitar a compreensão das formas de P em estudos de Terra Preta Arqueológica, considerando que a fonte principal de P é apatita de ossos.

O P resina apresentou valores variando de 2,93 a 105,65 mg kg<sup>-1</sup>, bem menores que Mehlich-1 (Tabela 3). No entanto apresenta conformidade ao P Mehlich-1, no sentido de aumentar em profundidade, evidenciando o processo de carreamento do P para os horizontes subjacentes. A diferença entre os valores de P extraídos por Mehlich-1 e resina concorda com Souza (2011), em que o autor relata que o extrator resina parece subestimar os teores de P disponível em TPAs. Por outro lado, os teores extraídos por Mehlich-1, por ser um extrator ácido, Novais e Smith (1999) podem superestimar o P disponível, considerando que o P-Ca é a forma mais comum em TPAs.

O fracionamento do P nos dois perfis (P1 e P7) de Várzea apresentou predominância de P ligado a cálcio (Tabela 3), o pH mais elevado comum em ambiente de varzea, dificulta a dissolução da apatita e favorece a permanência de P ligado a cálcio (P-Ca). Resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2009).

Por outro lado, nos pedoambientes de Terra Firme ocorre predominância de P ligado a alumínio, seguido de P ligado a ferro e por último P ligado a cálcio (Tabela 3). Atribui-se a este resultado à natureza ácida dos pedoambientes de Terra Firme, que promove rápida dissolução das fontes primárias de fósforo mais facilmente decomponíveis (apatita de osso), favorecendo as reações de formação de novos compostos de P-Al e P-Fe, estáveis em pH baixo.

**Tabela 3.** Fósforo Mehlich-1, resina, fracionamento e total, TPAs, Alto Solimões-AM.

Horiz. Símb.	P-Resina Resina	P-Mehlich 1 Mehlich	P-Lábil NH <sub>4</sub> Cl	P-Al NH <sub>4</sub> F	P-Fe NaOH	P-Ca H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P-Residual Fusão Alcalina	P-Total EPA 3052
-----mg kg <sup>-1</sup> -----								
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P1)								
Ap	65,57	132,90	nd	168,02	82,87	336,15	268,57	949,85
Bi	81,65	306,20	nd	194,11	95,82	448,63	190,76	1093,76
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P2)								
Ap	81,41	1122,10	10,47	902,91	456,69	1370,08	180,72	2648,06
AB	80,93	1197,90	4,38	677,14	340,76	908,89	188,25	2887,92
Bt1	105,65	351,30	8,19	374,91	191,55	143,98	117,97	1112,95
Argissolo Vermelho Ta Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (P3)								
A2	12,13	237,10	nd	808,46	402,61	109,30	205,82	1554,30
AB	5,25	694,30	nd	1225,82	612,15	146,79	140,56	2139,56
Bt1	21,09	268,30	4,00	697,82	350,91	79,30	135,54	1237,68
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P4)								
A2	2,93	225,30	nd	304,75	151,80	87,74	70,28	882,69
AB	4,05	480,50	2,29	348,82	175,55	143,04	82,83	796,34
Bt	10,69	271,70	4,57	411,79	208,18	65,24	80,32	853,90
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Município de Amaturá-AM (5)								
A2	6,37	206,20	nd	409,09	203,78	89,61	165,66	1295,25
A3	8,85	290,00	nd	746,40	372,34	86,80	102,91	1007,41
Bt1	23,89	276,00	2,29	877,72	440,00	159,92	138,05	1237,68
Latossolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P6)								
A2	28,69	1289,20	7,62	901,11	454,36	730,78	185,74	2580,90
A3	24,69	1241,10	9,14	1225,82	617,48	904,20	235,94	3166,16
2BA	14,61	530,50	12,00	795,87	403,93	294,90	185,74	2206,72
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P7)								
A2	39,49	916,60	4,95	556,60	280,78	1167,60	331,33	2360,23
AC	92,45	1905,20	23,61	1188,04	605,83	1765,65	374,00	3597,91
C1	40,77	1088,90	31,99	733,80	382,90	1066,37	333,84	2580,90
2A3ub	47,73	2949,10	40,56	1049,52	545,04	2950,51	406,63	4605,32

P-Al: fósforo-alumínio, P-Fe: fósforo-ferro, P-Ca: fósforo cálcio, nd: não detectado.

De acordo com Novais e Smyth (1999), fosfatos de Al e de Fe são mais estáveis em meio ácido, ao passo que fosfatos de Ca, pelo contrário, são pouco estáveis em meio ácido.

Há exceções para o P2 que apresenta valores maiores de P-Ca em horizonte antrópico superficial, e para o P6 que apresenta valores de P-Ca maiores que P-Fe e ligeiramente inferior a P-Al (Tabela 3). Evidencia-se que o P-Ca está relacionado à fonte primária (osso e espinhas de peixes), conforme descrito por Schaefer et al. (2004) e Lima et al. (2002), embora possa estar sofrendo dissolução e sendo transformada para formas de P-Al e P-Fe, em processo dinâmico.

Em P6 observa-se que o predomínio de P-Ca ocorre apenas no horizonte A antrópico, sendo os horizontes subjacentes dominados por P-Al seguidos de P-Fe (Tabela 3), evidenciando aportes de apatita de ossos nas TPAs de Terra Firme, corroborando com Souza et al. (2009).

O P total apresenta valores variando de 949,85 a 4605,32 mg kg<sup>-1</sup>, com média de 2777,58 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 3). Comparado à média de 800 mg kg<sup>-1</sup> de P total em solos tropicais (Essington, 2004), há cerca de 3 vezes mais P total, indicando uma reserva bem maior de P em solos antrópicos (TPAs). Há registros de valores de 3746,72 mg kg<sup>-1</sup> de P total (Lima et al., 2002) ilustrando a magnitude da concentração deste elemento nas TPAs.

### **3.4 Digestão total da terra fina seca ao ar (TFSA)**

A digestão total em terra fina seca ao ar (TFSA) representa a concentração total dos elementos presentes nos solos estudados e permite uma comparação previa entre os teores nos horizontes A antrópicos e os horizontes subsuperficiais. Ressalta-se que poucos trabalhos tratam a respeito da composição química total por (Digestão Total) das Terras Pretas Arqueológicas.

De maneira geral observou-se em todos os perfis de TPAs estudados (Terra Firme e Várzea) teores mais elevados nos horizontes subsuperficiais para Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, que mostram, portanto, maior grau de intemperismo em tais resultados, demonstrando que estes elementos não apresentam origem antropogênica, e condizente com a mineralogia da Formação Solimões (arenitos, argilitos, siltitos e linitos).

**Tabela 4.** Teores totais de Macroelementos na TFSA das TPAs, Alto Solimões-AM.

Horiz. Símb.	Prof. cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO
-----g/Kg-----									
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico. Eureka, São Paulo de Olivença-AM (P1).									
Ap	0-8	2,18	0,55	0,47	12,80	19,39	3,96	0,40	0,33
Bi	8-35	2,50	1,07	0,79	22,91	27,94	4,13	0,59	0,36
CB	35-80	3,63	1,57	0,97	30,71	30,08	4,21	0,65	0,42
C	80-120	4,17	4,00	0,78	43,01	27,40	4,27	0,58	0,36
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P2).									
Ap	0-10	6,06	0,89	0,44	10,57	12,09	3,70	0,24	0,15
AB	10-40	6,61	1,46	0,40	18,30	15,57	4,63	0,31	0,22
BA	40-45	5,08	1,10	0,35	22,29	13,78	3,91	0,28	0,24
Bt1	45-100	2,55	0,24	0,12	7,79	9,64	4,65	0,19	0,04
Bt2	100-140	1,89	0,22	0,28	24,60	9,16	4,64	0,19	0,04
Argissolo Vermelho Ta Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (P3).									
Ap	0-10	3,74	1,72	0,42	15,31	10,55	3,99	0,21	0,22
A2u	10-28	3,56	0,83	0,22	11,05	9,87	4,11	0,19	0,15
AB	28-36	4,90	0,95	0,42	16,21	11,48	4,56	0,23	0,10
BA	36-48	3,16	0,38	0,36	23,58	18,16	5,50	0,40	0,08
Bt1	48-80	2,83	0,17	0,48	33,78	27,55	5,17	0,64	0,06
Bt2	80-120	3,16	0,27	0,53	44,09	26,63	5,68	0,57	0,05
Bt3	120-170	2,02	0,51	0,61	70,58	25,27	5,28	0,56	0,06
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P4).									
Ap	0-10	2,11	0,08	0,16	7,40	5,71	2,95	0,10	0,13
A2u	10-35/45	2,02	0,41	0,19	11,20	6,38	3,74	0,13	0,11
AB	35/45-52/62	1,82	0,25	0,05	7,64	6,41	3,50	0,16	0,08
BA	52/62-100	1,78	0,17	0,21	21,42	12,76	4,29	0,25	0,03
Bt	100-140	1,96	0,12	0,11	19,03	14,55	4,33	0,29	0,04
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Santa Inéias, Amaturá-AM (P5).									
Ap	0-8	2,04	0,10	0,06	2,08	8,96	4,44	0,19	0,18
A2u	8-40	2,97	0,11	0,20	8,43	14,30	4,85	0,28	0,44
AB	40-55	2,31	0,09	0,05	3,08	12,33	4,99	0,24	0,18
BA	55-70	2,37	0,07	0,01	5,71	15,77	5,39	0,31	0,11
Bt	70-120+	2,83	0,06	0,21	24,17	23,37	6,67	0,48	0,07
Latossolo Amarelo Eutrófico Antrópico, Igarapé do Camisa Preta, Amaturá-AM (P6).									
A1u	0-12	2,83	1,90	0,56	8,82	11,64	4,16	0,22	0,46
A2u	12-54	5,91	0,42	0,06	8,30	19,63	5,38	0,39	0,20
A3u	54-64	7,25	0,40	0,05	8,54	19,98	5,16	0,42	0,18
2BA	64-72	5,05	0,37	0,12	25,93	30,17	6,45	0,70	0,16
3AB	72-90	4,83	0,15	0,04	15,10	23,09	5,53	0,52	0,16
3Bw	90-140+	3,54	0,06	0,06	17,59	32,19	6,36	0,77	0,07

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: óxido de fósforo, CaO: óxido de cálcio, MgO: óxido de magnésio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de alumínio, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de ferro, TiO<sub>2</sub>: óxido de titânio, K<sub>2</sub>O: óxido de potássio e MnO: óxido de manganês.

Continuação da tabela 4.

Horiz. Símb.	Prof. cm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO
-----g/Kg-----									
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico Antrópico. Aterrado do Padeiro, São Paulo de Olivença-AM (P7).									
Ap	0-10	3,47	2,51	1,81	17,20	13,88	3,74	0,29	0,48
A2u	10-20	5,40	1,54	1,60	22,32	24,80	4,00	0,55	0,71
AC	20-25	8,24	2,34	2,42	27,18	27,47	4,07	0,62	0,75
CA	25-35	5,54	1,61	1,83	28,38	29,75	4,21	0,68	0,47
C1	35-60	5,91	1,27	1,97	20,96	28,09	4,13	0,63	0,38
2A3ub	60-100	10,55	2,22	1,13	13,56	26,11	3,99	0,59	0,49
2C2	100-125	5,91	1,30	1,22	32,81	32,89	4,47	0,74	0,43
3C3	125-180	4,04	23,29	6,19	37,17	29,40	2,35	0,65	0,44

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: óxido de fósforo, CaO: óxido de cálcio, MgO: óxido de magnésio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de alumínio, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de ferro, TiO<sub>2</sub>: óxido de titânio, K<sub>2</sub>O: óxido de potássio e MnO: óxido de manganês.

Teores mais elevados de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, MgO e MnO foram detectados para os horizontes A Antrópicos de todas as TPAs estudadas, atingindo também os horizontes subsuperficiais. Tais teores indicam uma origem antropogênica, em concordância com Kern e Kampf (1989), Schaefer et al. (2004), Kämpf & Kern, (2005), Corrêa (2007), Costa et al. (2009) e Souza (2011). Estes autores concordam que o descarte de resíduos orgânicos como palhas das coberturas, ossos de animais, escamas e espinhas de peixes, restos funerários humanos entre outros, sofreram processos pedogenéticos e incorporaram na matriz do solo concentrações mais elevadas dos elementos, em contraste as áreas circunvizinhas (não antrópicas), onde são muito reduzidos.

Os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> atingem 10,55 g/kg no horizonte antrópico enterrado 2Aub, (perfil P7), acompanhando teor mais elevado de CaO 23,29 g/kg (Tabela 4). As características químicas do pedoambiente de Várzea, parecem favorecer o acúmulo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e CaO. Souza (2011) encontrou valores ainda maiores em Varzea no Médio Solimões, 75,37 g/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 61,01 g/kg de CaO, mas relata acúmulo abundante de fragmentos ósseos.

### 3.4.1 Elementos traços na Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) de TPAs, Alto Solimões-AM.

Os elementos traços podem ser utilizados para identificação das Terras Pretas Arqueológicas. Costa et al. (2009), Macedo (2009), Vasconcelos (2010) e Souza (2011) identificaram teores mais elevados nos horizontes antrópicos para:

Ba, Cu, Cl, Sr e Zn enquanto Macedo (2014) identificou Cs, Cu Co, Zn, Ba, Rb e Ni.

**Tabela 5.** Teores totais dos elementos traços em TPAs, Alto Solimões-AM.

Hor. Simb.	Prof. cm	Zr	Cu	Mo	Zn	Cr	Pb	As	Cd	Ni	Co	Ba	V
-----mg/kg-----													
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico. Eureka, São Paulo de Olivença-AM (P1).													
Ap	0-8	101,46	8,11	0,39	47,29	48,69	2,48	nd	nd	24,97	9,29	186,08	52,59
Bi	8-35	95,61	12,74	1,21	62,73	56,71	4,73	nd	nd	31,71	12,17	294,13	67,75
CB	35-80	98,81	13,37	0,25	60,90	47,83	4,46	nd	nd	24,94	12,72	579,90	71,65
C	80-120	99,82	13,24	0,22	59,45	48,27	1,94	nd	nd	25,23	11,74	371,51	64,38
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P2).													
Ap	0-10	125,41	13,18	1,49	32,80	47,32	0,59	nd	nd	26,24	5,40	71,50	37,69
AB	10-40	171,30	20,11	2,99	48,63	68,10	1,03	nd	nd	39,87	7,85	88,71	48,46
BA	40-45	153,66	9,93	1,37	36,05	52,02	2,19	nd	nd	24,57	5,23	51,19	40,29
Bt1	45-100	140,93	2,77	2,95	15,52	72,88	1,32	nd	nd	38,23	6,79	77,61	58,04
Bt2	100-140	156,51	1,62	2,15	11,94	63,97	0,56	nd	nd	28,71	5,95	27,43	54,20
Argissolo Vermelho Ta Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (P3).													
Ap	0-10	170,75	15,22	3,70	56,77	68,08	nd	nd	nd	38,83	4,61	10,51	33,28
A2u	10-28	174,22	16,35	6,22	40,63	87,38	nd	nd	nd	51,99	5,35	38,11	34,72
AB	28-36	181,14	16,26	4,44	27,08	75,28	nd	nd	nd	40,15	5,89	27,20	38,38
BA	36-48	197,92	6,93	0,53	23,85	51,40	nd	nd	nd	20,06	7,69	11,78	60,58
Bt1	48-80	175,47	3,75	2,04	24,37	66,17	nd	nd	nd	30,12	7,84	23,55	82,75
Bt2	80-120	177,16	4,97	4,05	28,36	78,74	1,26	nd	nd	43,72	9,24	389,75	107,65
Bt3	120-170	146,01	9,84	4,26	29,55	87,10	1,31	nd	nd	50,73	9,40	30,26	108,22
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P4).													
Ap	0-10	102,37	5,44	7,56	23,94	78,67	0,22	nd	nd	52,58	3,40	7,57	18,79
A2u	10-35/45	124,60	7,91	11,70	22,35	116,25	0,23	nd	nd	78,64	4,94	11,52	27,37
AB	35/45-52/62	107,90	3,28	3,14	16,42	55,99	1,71	nd	nd	33,90	3,85	467,84	29,37
BA	52/62-100	121,99	0,02	2,59	12,88	59,61	0,99	nd	nd	34,70	5,79	8,61	58,32
Bt	100-140	121,82	-0,08	0,22	15,13	38,33	1,89	nd	nd	16,51	4,96	36,93	59,42
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Santa Inéias, Amaturá-AM (P5).													
Ap	0-8	119,89	6,07	1,03	25,78	48,52	2,22	nd	nd	20,20	5,87	23,87	34,69
A2u	8-40	118,36	11,72	8,36	56,23	108,84	0,55	nd	nd	63,72	8,06	72,02	48,87
AB	40-55	127,07	5,85	5,61	24,35	91,58	0,97	nd	nd	52,17	7,29	46,69	44,98
BA	55-70	119,59	3,78	7,46	22,85	105,89	0,41	nd	nd	58,52	7,97	39,34	60,52
Bt	70-120	155,12	0,08	1,35	22,21	73,04	1,25	nd	nd	25,80	9,75	36,32	101,12
Latossolo Amarelo Eutrófico Antrópico, Igarapé do Camisa Preta, Amaturá-AM (P6).													
A1u	0-12	96,45	10,57	0,42	76,38	37,92	0,31	4,31	nd	15,03	6,32	149,63	39,91
A2u	12-54	130,20	8,77	0,08	51,02	55,83	0,97	3,78	nd	20,71	7,78	215,41	65,07
A3u	54-64	118,11	12,91	0,25	59,91	46,38	1,03	5,52	nd	13,75	6,15	44,76	65,19
2BA	64-72	150,21	3,66	0,59	42,51	63,84	2,17	5,13	nd	17,22	7,83	61,93	100,49
3AB	72-90	135,13	5,71	0,30	38,14	55,73	3,27	nd	nd	15,23	6,26	57,33	74,60
3Bw	90-140+	136,28	0,74	0,42	22,99	63,73	3,92	nd	nd	16,11	7,33	37,57	111,63

Zr: zircônio, Cu: cobre, Mo: molibdênio, Zn: zinco, Cr: cromo, Pb: chumbo, As: Arsênio, Cd: cádmio, Ni: níquel, Co: cobalto, Ba: bário, V: vanádio, nd não detectado.

Continuação da tabela 5.

Hor. Simb.	Prof. cm	Zr	Cu	Mo	Zn	Cr	Pb	As	Cd	Ni	Co	Ba	V
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico Antrópico. Aterrado do Padeiro, São Paulo de Olivença-AM (P7).													
Ap	0-10	78,70	28,58	0,88	125,65	24,80	26,30	16,24	0,65	13,94	8,87	589,87	50,74
A2u	10-20	90,35	40,44	1,83	168,82	34,17	11,85	12,26	0,65	16,10	10,24	683,24	57,86
AC	20-25	88,58	50,74	1,44	178,20	34,77	7,42	2,14	0,45	16,84	10,95	299,47	63,19
CA	25-35	94,34	32,39	1,46	114,06	38,12	8,71	4,44	0,24	15,47	11,31	241,94	69,81
C1	35-60	96,36	26,67	1,49	100,51	38,36	10,47	5,53	0,07	13,94	10,42	163,62	67,57
2A3ub	60-100	92,80	34,89	1,42	117,20	35,62	7,10	18,34	0,79	14,04	10,18	874,68	68,32
2C2	100-125	86,43	23,92	1,88	88,93	39,29	7,33	5,87	0,87	17,10	13,03	456,31	85,83
3C3	125-180	55,38	14,35	0,09	120,91	27,05	3,59	6,39	1,00	32,75	21,43	221,47	39,27

Zr: zircônio, Cu: cobre, Mo: molibdênio, Zn: zinco, Cr: cromo, Pb: chumbo, As: Arsênio, Cd: cádmio, Ni: níquel, Co: cobalto, Ba: bário, V: vanádio, nd não detectado.

No presente trabalho os elementos Cu, Zn e Ba apresentam teores mais elevados nos horizontes A antrópicos quando comparados aos horizontes subsuperficiais, não antrópicos, corroborando com Costa et al. (2009), Macedo (2009), Souza (2011) e Macedo (2014).

Nos horizontes A antrópicos o Cu variou de 3,28 a 50,73 mg/kg sendo inferior ao Zn que variou de 16,42 a 178,20 mg/kg e Ba variou de 7,57 a 874,68 mg/kg (Tabela 5). Conforme Woods (2003) Cu e o Zn presentes em TPAs estão relacionados à excrementos humanos, mas Costa e Kern (1999) consideram a fonte com material vegetal (árvores, folhas e frutas).

Os menores teores de Cu em relação ao Zn, parecem ser um padrão das TPAs. Tais resultado são explicados pela maior susceptibilidade do Cu a lixiviação. Woods (2003) evidencia que em clima tropical o Cu é perdido mais facilmente que o Zn, tornando-se muito reduzido após 2000 anos.

Os teores de Ba nas TPAs de Terra Firme variaram de 7,57 a 389,75 mg/kg (Tabela 5), corroborando com Xavier (2013), que relatou ocorrência de Ba com teores elevados, média de 258,08 mg/kg.

Os maiores teores de Ba foram encontrados nas TPAs de Várzea, variando de 186,08 a 874,68 mg/kg (Tabela 5), corroborando com Souza (2011), em estudos de TPAs de Várzea no Médio Solimões que, encontrou teores máximos de Ba 348,80 mg/kg. O autor evidencia origem por depósitos de resíduos de animais incorporados ao solo e condicionado pelo pedoambiente, com pH elevado e altos teores de carbonato de cálcio, provendo baixa mobilidade e favorecendo ao acúmulo de Ba ligado a Ca.

De maneira geral os elementos Mo, Cr, Pb e Ni apresentam teores semelhantes, com ligeiro acréscimo nos horizontes A antrópicos; Já os elementos Zr, Co e V apresentam teores maiores nos horizontes subsuperficiais, indicando origem geogênica. Resultados semelhantes foram demonstrados por Souza (2011) e Xavier (2013).

Os elementos Cd e As apresentaram teores abaixo do limite de detecção para as TPAs nos pedoambientes de Terra Firme e Várzea da margem do Solimões. O Cd foi detectado apenas na TPA com aterro em Várzea (Igapó Estacional), (perfil P7), com teores semelhantes nos horizontes antrópicos e nas camadas subsuperficiais, variando de 0,07 a 1,00 mg/kg (Tabela 5), corroborando com Moreira (2016) que descreve teores iguais em todo o perfil. O Arsênio mostrou teores mais elevados nos horizontes A antrópicos (perfil P7), variando de 12,36 a 18,34 mg/kg (Tabela 5), e pode ser um indicador de TPAs de Várzea com aterro (mounds). Como destaca Costa et al. (2009) estudos mais aprofundados em TPAs de Terra Firme e Várzea são necessários para melhor diferenciar os elementos traços e identificar bons indicadores.

### **3.5. Dissolução seletiva por ditioníto citrato bicarbonato de sódio e oxalato de amônio na fração argila.**

Os valores de  $Fe_d$  extraídos por ditioníto citrato bicarbonato (DCB) em TPAs de Terra Firme apresentam teores variando de 29,66 a 83,31 g/kg, de maneira geral os teores aumentam em profundidades (Tabela 6). As TPAs de Várzea apresentam teores de  $Fe_d$  variando de 15,94 a 34,86 g/kg, sendo inferiores aos teores de TPAs em Terra Firme (Tabela 6).

Os teores mais elevados de  $Fe_o$  ocorreram nos horizontes A antrópicos das TPAs de Terra Firme 5,85 a 14,23 g/kg e nos horizontes das TPAs de Várzea 6,86 a 14,64 g/kg indicando formas de ferro menos cristalinas.

De maneira geral os teores de  $Fe_o$  extraídos por oxalato ácido de amônio apresentam teores menores que  $Fe_d$ , relacionado a dominância de formas dos óxidos de Fe bem cristalizados, como visualizado na relação  $Fe_o/Fe_d$ .

A relação  $Fe_o/Fe_d$  demonstrou valores menores nos horizontes subsuperficiais A antrópicos de TPAs em Terra Firme, variando de 0,02 a 0,08 (Tabela 6), indicando predomínio das formas de óxidos de ferro de maior grau de cristalinidade (goethita), em função da alta estabilidade termodinâmica em

ambiente aeróbico (Kampf e Curi. 2000). Por outro lado, observa-se relações maiores nas TPAs de Várzea e nos horizontes A antrópicos das TPAs de Terra Firme (Tabela 6), evidenciando presença de formas de óxidos Fe de menor grau de cristalinidade nos ambientes aluviais ou antropogênicos. Nos horizontes A antrópicos, os elevados teores de matéria orgânica dificultam o processo de cristalização, e nas TPAs de Várzea, que sofrem inundações periódicas, o regime hídrico é o controlador dessas características (Lima, 2001; Kämpf e Curi, 2000; Schwertmann e Taylor, 1989).

**Tabela 6.** Alumínio, ferro e manganês extraídos por ditioníto citrato bicarbonato (DCB) e oxalato de amônio na fração argila, em TPAs no Alto Solimões.

Horiz. Símb.	Ald	Alo	Fed	Feo	Mnd	Mno	Feo/Fed
-----g/kg-----							
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P1).							
Ap	6,24	5,98	31,35	14,64	0,49	0,49	0,47
Bi	6,34	5,59	33,13	13,94	0,63	0,62	0,42
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P2).							
Ap	9,34	7,51	29,66	14,23	1,38	1,26	0,47
Bt2	4,71	2,76	44,08	3,65	0,39	0,34	0,08
Argissolo Vermelho Ta Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (P3).							
A2u	13,50	11,53	50,27	13,42	1,52	1,43	0,27
Bt2	14,02	4,98	69,39	1,66	0,02	0,02	0,02
Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P4).							
A2u	8,39	4,74	37,08	10,18	0,63	0,66	0,27
Bt	11,44	4,90	42,67	3,51	0,04	0,04	0,08
Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Amaturá-AM (P5).							
A2u	11,03	8,91	42,91	11,93	1,66	1,54	0,28
Bt	14,15	4,67	53,52	3,20	0,02	0,03	0,06
Latossolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Amaturá-AM (P6).							
A2u	17,65	7,04	62,93	5,85	0,56	0,56	0,09
Bw	22,51	4,05	83,31	3,16	0,02	0,21	0,04
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico Antrópico. São Paulo de Olivença-AM (P7).							
A2u	8,86	8,26	34,15	13,45	1,70	1,60	0,39
C1	2,18	1,53	15,94	8,77	0,01	0,02	0,55
2A3ub	6,67	6,15	28,92	11,24	1,03	0,96	0,39
2C2	6,39	4,93	34,86	6,86	0,63	0,55	0,20

Ald: alumínio ditioníto, Alo: alumínio oxalato, Fed: ferro ditioníto, Feo: ferro oxalato, Mnd: manganês ditioníto, Mno: manganês oxalato, Feo/Fed: relação ferro oxalato/ferro ditioníto.

Nas TPAs em ambientes de Várzea os teores de Al<sub>d</sub> foram semelhantes aos teores de Al<sub>o</sub> (Tabela 6). Já nas TPAs de Terra Firme os teores de Al<sub>d</sub> foram sempre maiores que os Teores de Al<sub>o</sub>. Os teores de Al Extraídos com DCB e Oxalato parecem seguir a mesma tendência dos teores de Fe. Neste caso, há muito alumínio substituindo nos óxidos de Fe (Goethita), conforme indicam outros estudos de solos de Terra Firme na Amazônia.

Os teores de Mn<sub>d</sub> e Mn<sub>o</sub> apresentam valores semelhantes para todos os perfis estudados, consistente com Lima (2001), sugerindo que provavelmente o Mn está associado às formas menos cristalinas dos óxidos, com valores mais elevados nos horizontes A antrópico. Kern e Kampf (1989) também observaram teores mais elevados de Mn extraídos por oxalato em horizontes antrópicos, e sugerem o uso deste extrator na identificação química de horizonte antrópico.

### 3.6 Idades das TPAs no Alto Solimões, AM.

As TPAs das Terra Firme do Alto Solimões apresentam idades variando de 1190 – 1410 anos AP (mais recentes) a 2500 - 2870 anos AP (mais antigas), (Tabela 7), estas últimas registram possivelmente a chegada dos povos agricultores no Alto Solimões, e estão acima da idade média das TPAs no fluxo Solimões/Amazonas. Considerando que a idade média das TPAs no Médio Solimões/Amazonas é aproximadamente 2000 anos (Neves, 2006).

**Tabela. 7** Idades das TPAs no Alto Solimões, AM.

Perfil	Localização	Código LACUFF	Idade ( <sup>14</sup> C) BP	Idade Max. Cal. (AP)	Idade Min. Cal. (AP)	Probabilidade (%)
P4	Solimões/Amazonas	160291	2675	2870	2500	95,4
P6	Solimões/Amazonas	160292	1458	1410	1190	95,4
P7 A2u	Várzea/Aterrado	160294	146	290	950 AD	95,4
P7 2A3ub	Várzea/Aterrado	160295	1195	1270	920	95,4

Cód. LACUFF: código do laboratório de radiocarbono da Universidade Federal Fluminense; AP: antes do presente; AD Ano Domini; C<sup>14</sup>: carbono 14.

Até o presente as TPAs mais antigas (3000 anos AP) foram registradas por Roosevelt (2000) no estado do Pará evidenciando o início da formação das TPAs na Amazônia a 3000 anos AP e por Neves (2006), que aponta a existência de TPAs com idades de 4000 anos AP em Rondônia (Rio Madeira). No entanto, na região do Alto Solimões não há registros datados até o presente momento.

A Várzea apresenta TPAs com idades de 920 - 1270 anos AP no horizonte enterrado (2A3ub) com 100 cm de profundidade, indicando a expansão do homem

no ambiente de Várzea no Alto Solimões. Já no horizonte A2u antrópico com 20 cm de profundidade a idade é muito recente (moderna) variando de 290 anos AP a 950 anos AD (Tabela 7), revelando um extenso período de ocupação em Várzea de aproximadamente 950 anos, ainda que descontínuo. Estes resultados corroboram com Roosevelt (1991), que descreve a ocorrência de tesos ou aterros (mounds) em ambiente de Várzea desde 1000 anos AP. Ressalta-se que o Alto Solimões contempla vários Aterros em Várzea, que não foram incluídos neste trabalho, sugere-se estudos mais amplos para confirmação definitiva desse.

A grande antiguidade dos sítios de TPAs do Alto Solimões indica que seres humanos possam ter descido o sistema Alto Amazonas (Ucayali/Marañón), alcançando o setor estudado, acompanhando as TPAs descendente da Bacia do Madeira, e portanto, com origem subandina.

Comparando as Idades das TPAs de Terra Firme e Várzea (Tabela 7), nota-se que as TPAs de Terra Firme são mais antigas que as TPAs de Várzea, com aproximadamente 1590 anos. Postula-se que os povos agricultores/caçadores iniciaram atividades agrícolas primeiro nos ambientes de Terra Firme, cultivando-as por um período de quase 1600 anos, e só depois desse período ocuparam os ambientes de Várzea, ou talvez que os sítios de Várzeas mais antigos, contemporâneos, aos sítios de Terra Firme, tenham sido obliterados pela erosão e sedimentação ativa na planície fluvial. Meggers (1987), considerou que em ambientes de solos pobres e ácidos distantes de Várzeas ricas, submetido ao intenso intemperismo, com alta pluviosidade e altas temperaturas, seriam incapazes de gerar recursos suficientes para promover a permanência e evolução social em níveis mais complexos e organizados. Desta maneira, há uma complementaridade dos sítios de TPAs de Várzea-Terra Firme, difícil de ser elucidada pela presença incompleta dos solos de Várzeas, e pelos poucos estudos de TPAs nesse ambiente.

Kampf e Kern (2005) relatam que ainda existem muitas discussões sobre esse tema de ocupação da população pré-histórica na Amazônia. A ocupação no sentido da complementaridade Terra Firme/Várzea ainda parece plausível no Alto Solimões, mas novos sítios em Várzeas devem ser buscados, identificados e estudados.

### 3.7. Composição mineralógica da fração argila

Na fração argila das TPAs de Várzea (P1), foram identificados minerais como caulinita, mica/ilita, clorita e quartzo (Figura 2); no P7 (aterrado) (horizonte A2) foram identificados caulinita, mica/ilita, vermiculita com hidróxi entre camadas e quartzo (Figura 6); na camada C1 foram identificados caulinita, mica/ilita, vermiculita com hidróxi entre camadas, quartzo e pirofilita (Figura 8); no horizonte 2A3ub foram identificados caulinita, mica/ilita, vermiculita com hidróxi entre camadas, quartzo e óxidos de titânio (rutilo), (Figura 9), e na camada mais profunda 2C2 foram identificados: caulinita, mica/ilita, vermiculita com hidróxi entre camadas, quartzo e esmectita (Figura 10).

A mineralogia do horizonte Bi e das camadas C1 e 2C2 são consistentes com os trabalhos de Marques et al. (2002) em estudos na mesma região Ocidental da Amazônia, bem como Lima et al. (2006) em estudos de topossequência em Benjamin Constant, Alto Solimões, e Guyot et al. (2007). Estes autores relacionam a composição mineralógica da Várzea à deposição andina recente em condições atuais de renovação e drenagem restrita.

Nas TPAs de Várzeas foram identificados traços de óxidos de titânio apenas no horizonte 2Aub (enterrado), diferente das camadas subjacentes (C1 e 2C2).

Na fração argila das TPAs de Terras Firmes, os perfis P2 e P3 não apresentam evidências de minerais 2:1, contudo, identificou-se caulinita, goethita, gibbsita, quartzo e óxidos de titânio (rutilo), (Figura 3). Já nos perfis P4, P5 e P6 além da caulinita, goethita, gibbsita e quartzo, identificou-se também minerais 2:1 (vermiculita com hidróxi entre camadas), (Figuras 4, 5 e 6). Estes resultados diferem dos trabalhos de Marques et al. (2002), Coelho et al. (2005) e Lima et al. (2006), dentro da mesma bacia (Solimões), pela identificação da gibbsita, vermiculita com hidróxi entre camadas e ausência da esmectita na fração argila. Tais resultados evidenciam um estágio mais avançado de intemperismo em alguns dos solos do Alto Solimões.

Conforme descreveu Lima et al. (2006), a ocorrência da esmectita nos solos do Alto Solimões (Benjamin Constant), está associada aos solos que sofreram influências de depósitos marinhos, com elevados teores de bases e sílica. Diferente dessas condições, a área estudo das TPAs não contemplam depósitos de conchas marinhas, o que talvez explique a ausência da esmectita. Já a ocorrência da

gibbsita está associada a ambientes onde o processo de intemperismo e lixiviação são intensos, adquirindo estabilidade em pH 5,2 (Lindsay, 1979).

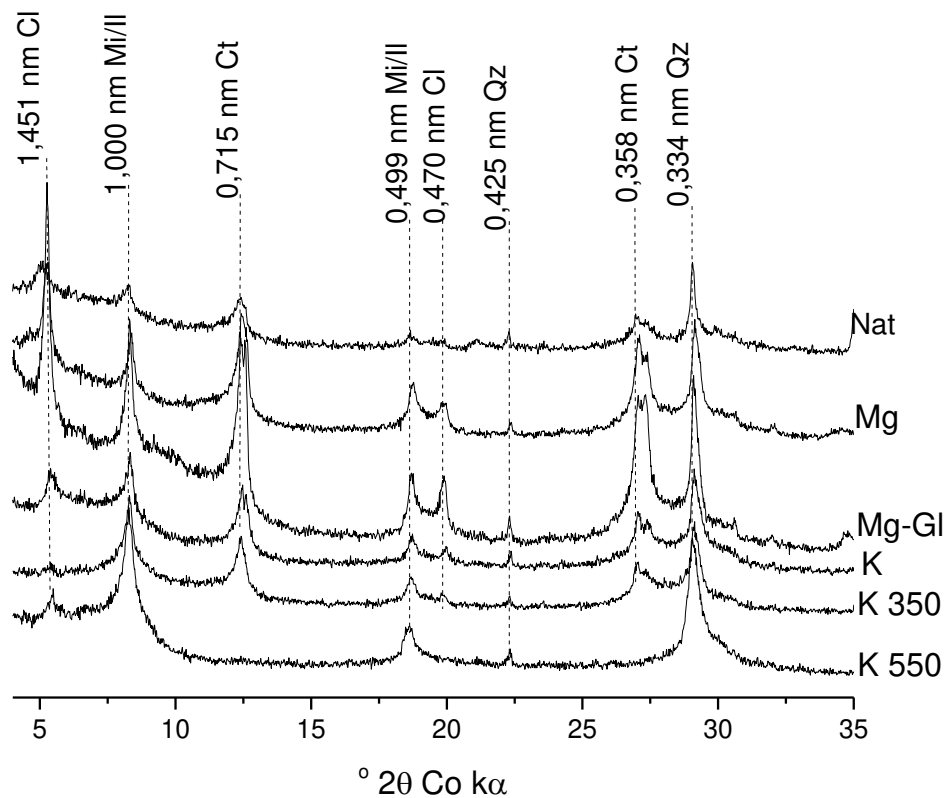
Para melhor esclarecer a origem da gibbsita Schaefer et al. (2008) propôs dois mecanismos: (1) dissolução acelerada nas fases iniciais de intemperismo dos minerais Al-silicatados (principalmente feldspatos), onde a gibbsita pode ser um dos primeiros produtos da neoformação; e (2) intemperismo intenso e prolongado, incluindo a dissolução progressiva da caulinita (dessilicatização). Para as duas vias, é necessário baixa atividade de sílica, baixos teores de base em solução, e não pode ocorrer impedimento de drenagem.

Conforme Kämpf et al. (2012) a formação de gibbsita por pedogêneses é condicionada pela intensidade da lixiviação (dessilicatização dos aluminossilicatos), a qual é influenciada pela precipitação, temperatura, material de origem, topografia, lençol freático, tipo de vegetação e tempo.

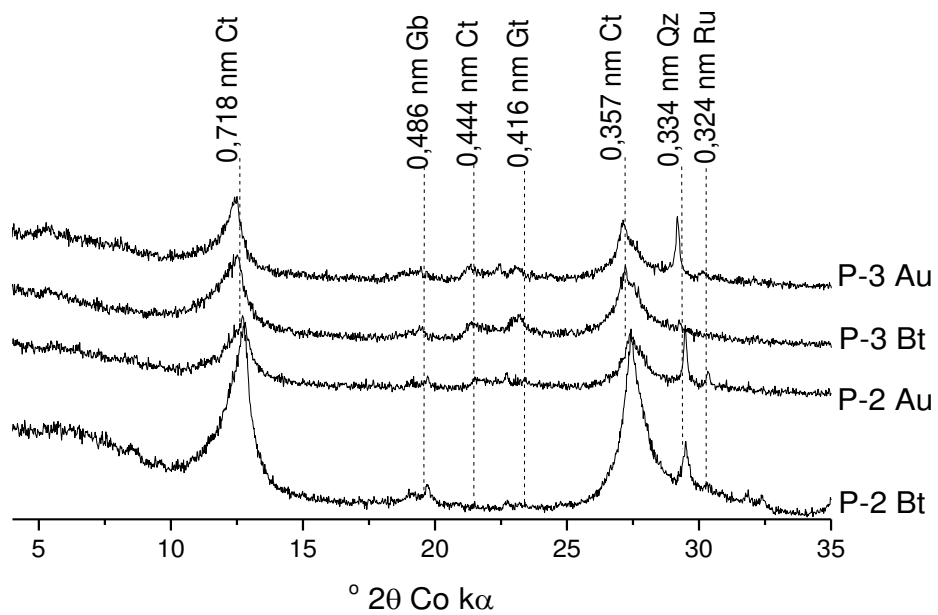
Portanto, um fator que provavelmente está influenciando para existência da gibbsita é a posição topográfica das TPAs, que estão sempre nas partes mais altas da paisagem (Kern et al., 2009), favorecendo a drenagem livre e atuando na perda de bases e sílicas. Reatto et al. (2008) estudando solos do Planalto Central, encontraram predominância da gibbsita em posições mais elevadas da paisagem, indicando que intensidade dos fluxos hidrológicos alteram o processo de intemperismo favorecendo formação de gibbsita nas partes altas.

Nas TPAS de Terras Firmes a composição mineralógica da fração argila nos horizontes antrópicos é semelhante aos horizontes subjacentes, evidenciando homogeneidade (mineralógica) no perfil e pouca influência da antropogênese sobre a mineralogia da argila.

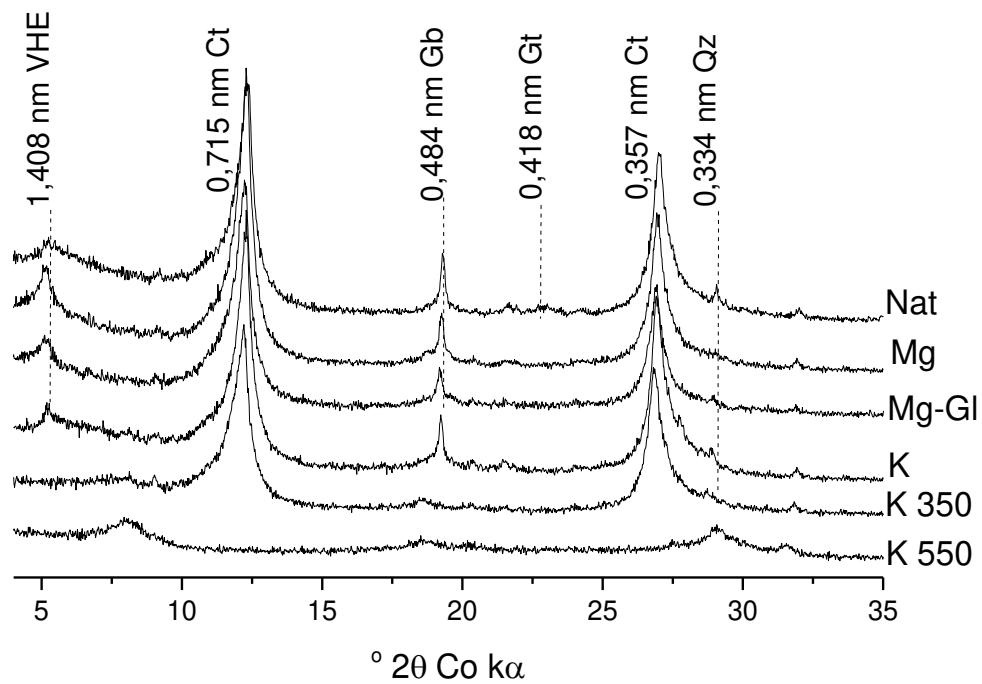
Na fração areia das TPAs de Várzea foram identificados predominantemente quartzo e traços de clorita, mica/ilita, feldspato e plagioclásio, corroborando com Lima et al. (2006). Assim, ocorrem feldspatos que podem sofrer alteração para gibbsita.



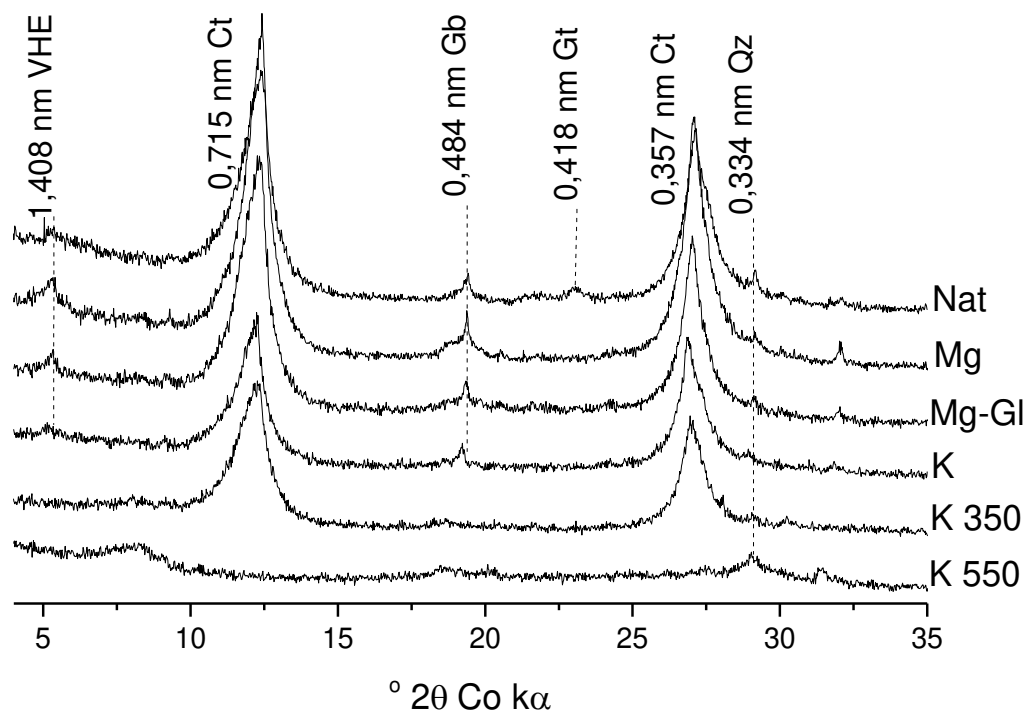
**Figura 2.** Difratoformas de raios-X da fração argila do horizonte Bi do P1, Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; Cl: clorita, Mi/Il: mica/ilíta Ct: caulinita, Gt: goethita e Qz: quartzo.



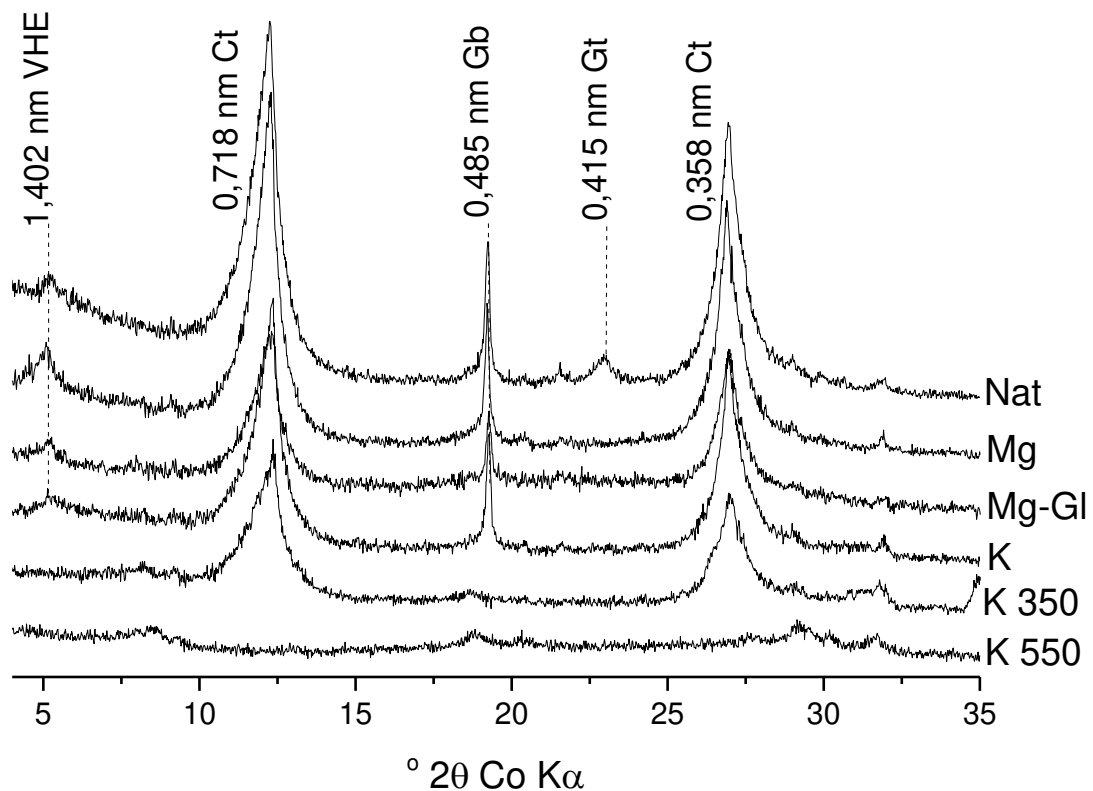
**Figura 3.** Difratogramas de raios-X da fração argila dos horizontes Au e Bt do P2 Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico e Au e Bt do P3 Argissolo Vermelho Ta Distrófico Típico Antrópico. Ct: caulinita, Gt: goethita, Qz: quartzo e Ru: rutilo.



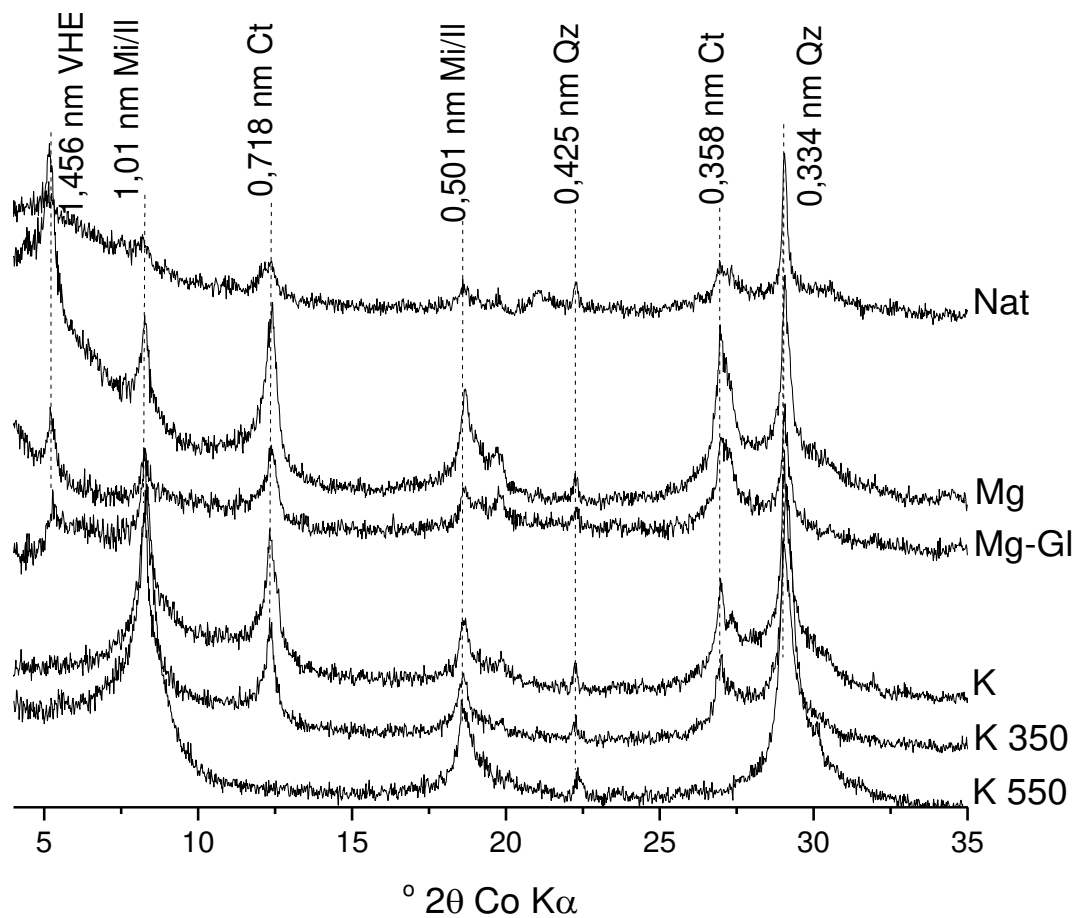
**Figura 4.** Difratoqramas de raios-X da fração argila do horizonte Bt do P4, Argissolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; VHE: vermiculita com hidróxi entre camadas, Ct: caulinita, Gb: gibbsita, Gt: goethita, e Qz: quartzo.



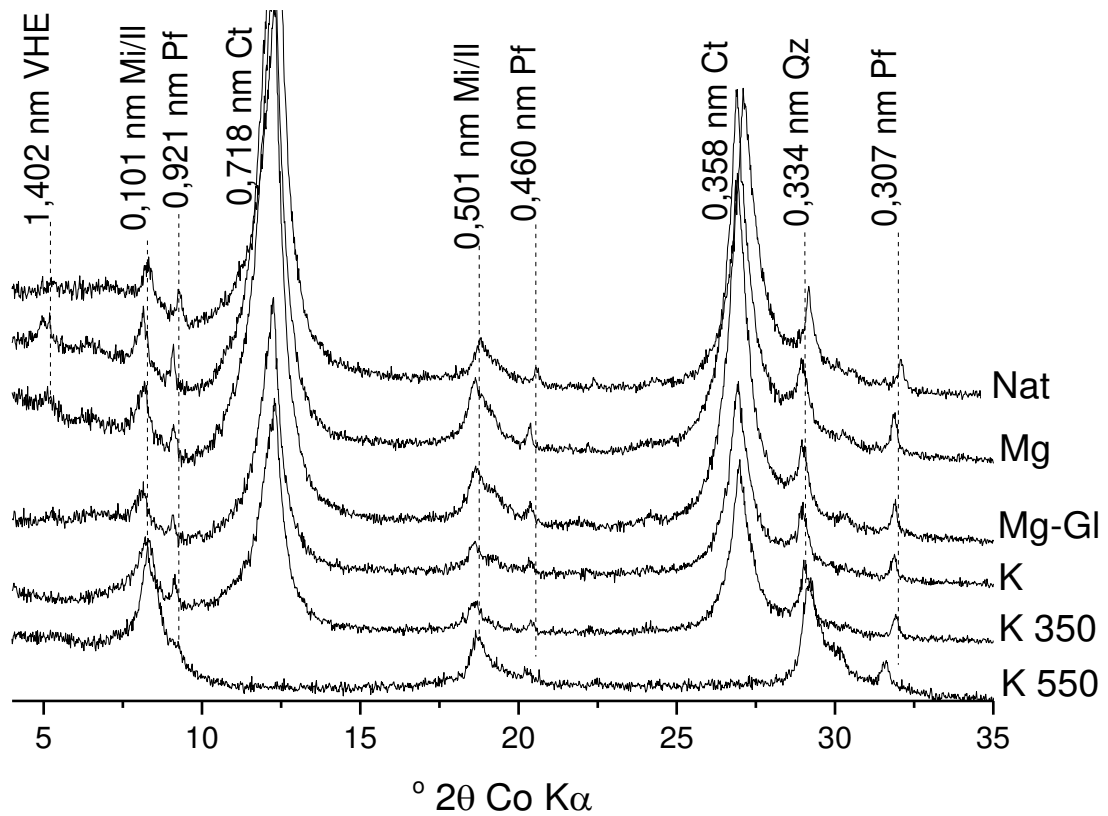
**Figura 5.** Difratoqramas de raios-X da fração argila do horizonte Bt do P5, Argissolo Amarelo Distrófico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; VHE: vermiculita com hidroxi entre camadas, Ct: caulinita, Gb: gibbsita, Gt: goethita, e Qz: quartzo.



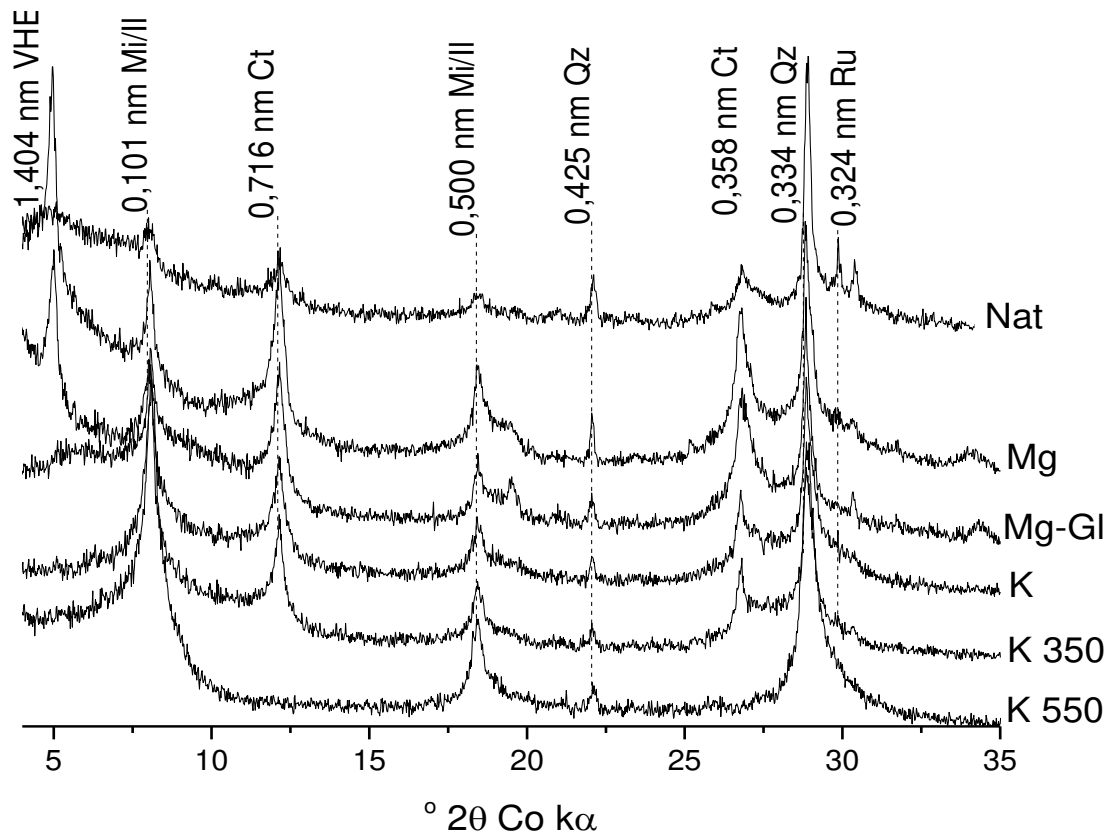
**Figura 6.** Difratoigramas de raios-X da fração argila do horizonte Bw do P6, Latossolo Amarelo Eutrófico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; VHE: vermiculita com hidróxi entre camadas, Ct: caulinita, Gb: gibbsita, Gt: goethita, e Qz: quartzo.



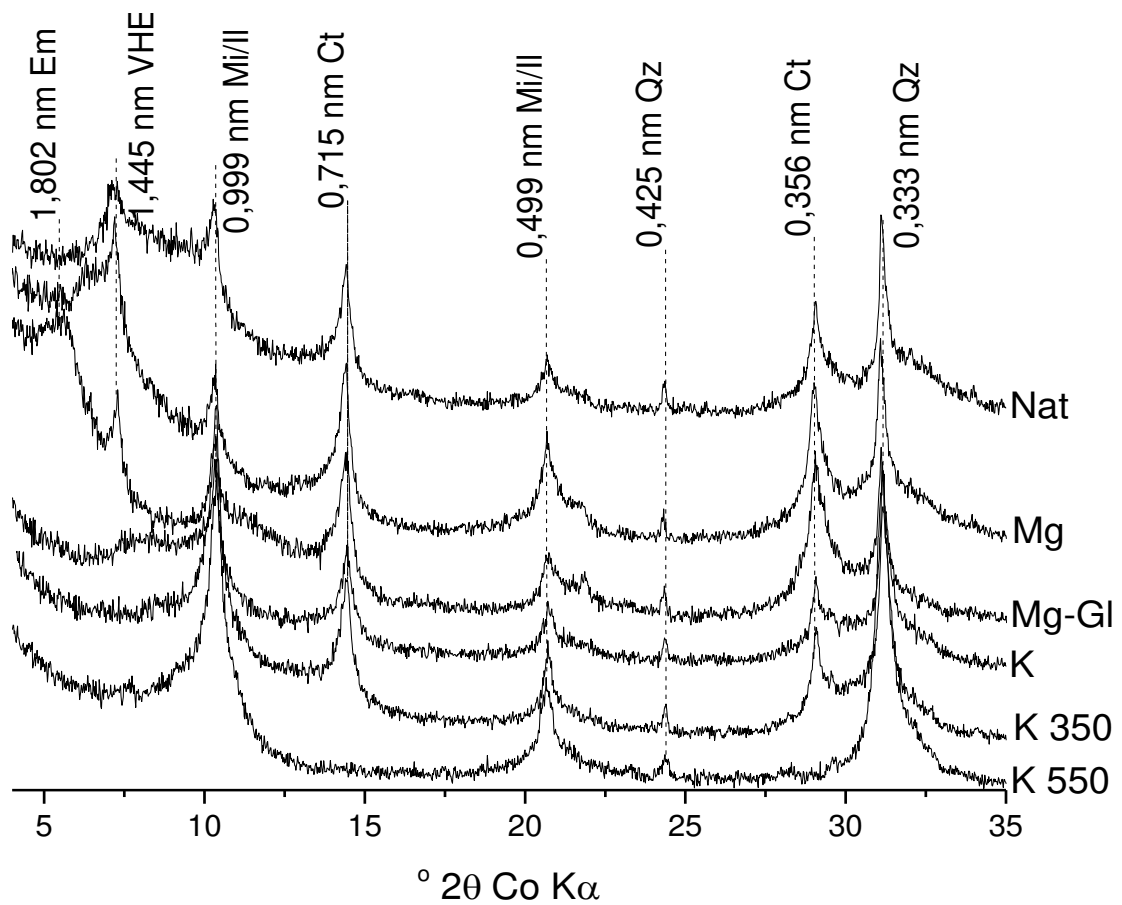
**Figura 7.** Difrátogramas de raios-X da fração argila do horizonte A2 do P7, Gleissolo Háplico Ta Eutrófico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; VHE: vermiculita com hidróxi entre camadas. Mi/Il: mica/ilita. Ct: caulinita e Qz: quartzo.



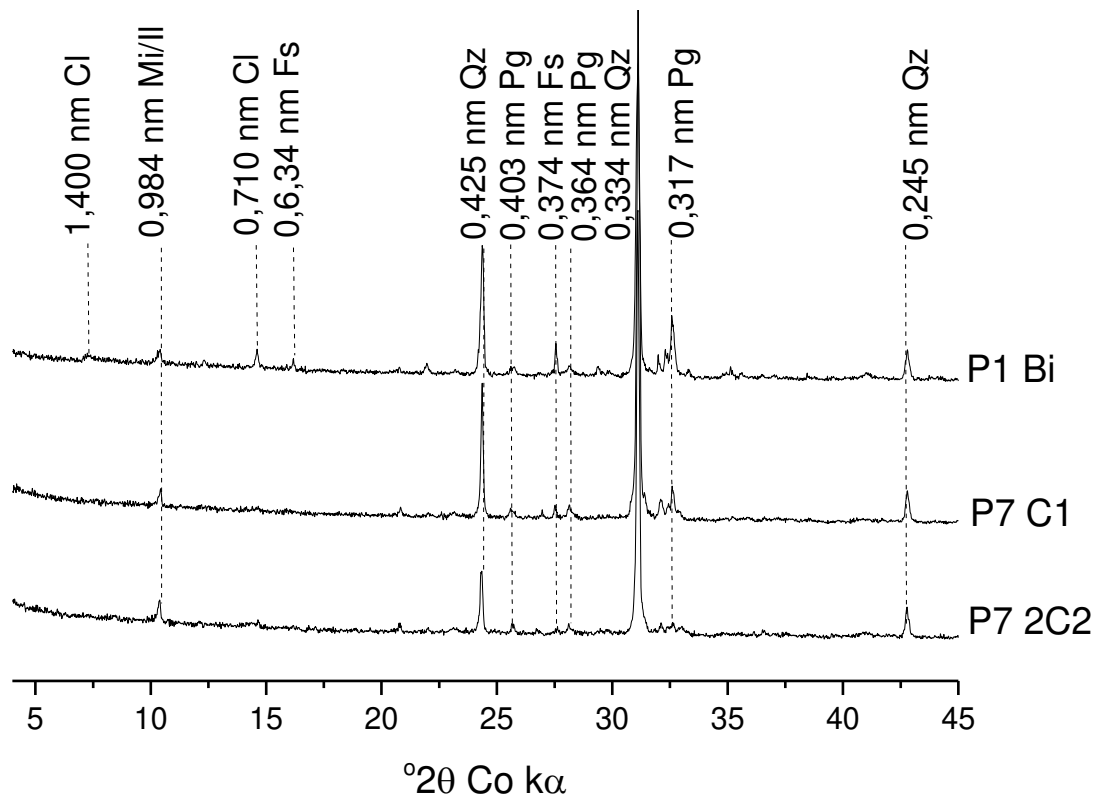
**Figura 8.** Difratogramas de raios-X da fração argila do horizonte C1 do P7, Gleissolo Háplico Ta Eutrófico Antrópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; VHE: vermiculita com hidroxi entre camadas, Mi/Il: mica/ilita, Pf: pirofilita, Ct: caulinita e Qz:



**Figura 9.** Difratoqramas de raios-X da fração argila do horizonte 2A3ub do P7, Gleissolo Háplico Ta Eutrófico Antópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; VHE: vermiculita com hidróxi entre camadas, Mi/Il: mica/ilita, Ct: caulinita, Qz: quartzo e Ru: rutilo.



**Figura 10.** Difratomogramas de raios-X da fração argila do horizonte 2C2 do P7, Gleissolo Háplico Ta Eutrófico Antópico. Nat: argila natural, Mg: saturada com magnésio, Mg-Gl: saturada com magnésio e glicerol, K: saturada com potássio, K 350: saturada com potássio e aquecida 350 °C e K 550: saturada com potássio e aquecida 550 °C; Em: esmectita, VHE: vermiculita com hidróxi entre camadas, Mi/Il: mica/ilita, Ct: caulinita, Qz: quartzo.



**Figura 11.** Difractogramas de raios-X da fração areia do horizonte Bi do P1, Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico Gleissólico Antrópico; C1 e 2C2 do P7 Gleissolo Háplico Ta Eutrófico Antrópico. Cl: clorita, Mi/Il: mica/ilita, Fs: Feldspato, Pg: Plagioclásio e Qz: quartzo.

## 5. CONCLUSÕES

As TPAs de Várzea do Alto Solimões revelam uma riqueza química e mineralógica bem superior às TPAs de Terra Firme na mesma região e comparada à outras regiões.

Há ocorrência de TPAs de Várzea do Alto Solimões, à semelhança das TPAs de Várzea do Médio Amazonas mas ocorrem em sítios de igapós e nas margens dos Solimões. Postula-se que o modelo de ocupação de Várzea não foi diferente ao longo do sistema Amazonas-Solimões. A síndrome da formação das Terras Pretas Arqueológicas na continuação Várzea-Terra Firme é um padrão recorrente ao longo do sistema Amazonas-Solimões, como revela a presença de diversos sítios arqueológicos desconhecidos da ciência, inclusive em áreas de igapó estacional, até hoje não descrito na literatura.

Os horizontes antropogênicos em solos de TPA influenciam os horizontes subsuperficiais, evidenciando que o processo pedogenético pós-deposicional e pós-abandono proporcionam mudanças significativas na morfologia, (formando horizontes iluviais) e na distribuição de certos elementos (P, Ca, Mg, Mn, Zn) e teores de MO, no perfil.

As Terras Pretas Arqueológicas do Alto Solimões representam sistema pedológico bem evoluído na Terra Firme, e relativamente pouco transformado na Várzea, pela natureza aluvionar da última e pela ausência de cultivo.

O Alto Solimões tem Terras Pretas Arqueológicas com idades muito antigas (2500 a 2870) anos AP, que revelam uma ocupação inicial dos ambientes de Terra Firme por um período aproximado de 1590 anos, e da expansão da ocupação na Várzea com construção de aterros (mounds) com aproximadamente 950 anos AP.

A composição mineralogia das TPAs de Terra Firme mostram intemperismo mais avançado (gibbsita) no Alto Solimões, e o posicionamento das TPAs nas partes mais elevadas da paisagem deve contribuir para a ocorrência de minerais como gibbsita, tal mineralogia é semelhante nos horizontes A antrópicos e B subjacentes evidenciando ser o mesmo substrato pedológico.

## 8. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Amazônia brasileira: bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 5–30, 2002.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. **Revista Ceres.**, v. 21, p. 73–85, 1974.

CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Revista Bragantia**, v. 70, p. 598–609, 2011.

CAVALCANTE, L. M. **Aspectos Geológicos do Estado do Acre e Implicações na Evolução da Paisagem**. Rio Branco, AC.: Embrapa Acre. Documento 104., 2006.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, v. 84, p. 133–144, 1957.

CHEN, P. Y. **Table of key-lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clay and associated rocks**. Bloomington (Geological survey occasional paper, 21).: v. 21.

COELHO, M. R. Solos das Áreas-Piloto do Projeto BiosBrasil (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity: Phase I), Município de Benjamin Constant, Estado do Amazonas. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos**, 67, p. 159, 2005.

CORRÊA, G. R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da região dos lagos (RJ) e terras pretas de índio na região do Baixo Rio Negro/Solimões (AM)**. Universidade Federal de Viçosa, 2007.

COSTA, J. A. et al. Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia : Sua Caracterização e**

**Uso Deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas.** Manaus: Embrapa, Amazônia, Ocidental., 2009. p. 161–171.

COSTA, M. L.; KERN, D. C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 66, p. 369–385, 1999.

CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta) anthropogenic dark earth soils of brazilian amazonic region. **Acta Amazônia**, v. 37, n. 1, p. 91–98, 2007.

CUNHA, T. J. F. et al. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 85–93, 2009.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. In: Rio de Janeiro (Documento 132): EMBRAPA, Solos, 2011. p. 230.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. In: 3. ed. Brasília: EMBRAPA, Solos, 2013. p. 353.

ESSINGTON, M. E. Soil and chemistry: an integrative approach. In: Boca Raton, Londres: CRC Press, 2004. p. 534.

FALCÃO, N. P. S. et al. Pedology, fertility, and biology of Central Amazonian Dark Earths. In: WOODS, W. I. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**. Springer, Berlin: p. 213–228.

GLASER, B. et al. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.  
GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 219–230, 2002.

HOGG, A. G. et al. SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0-50,000 Years cal BP. **Radiocarbon**, v. 55, n. 4, p. 1889–1903, 2013.

KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient antropoc soils. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonia Dark earths. Origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 77–102.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solos como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: TORRADO, P. V. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2005. p. 277–320.

KAMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia dos Solos Brasileiros. In: KER, J. C. et al. (Eds.). . **Pedologia Fundamentos**. 1. ed. Viçosa, MG.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 81–146.

KERN, D. C. et al. Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia : Sua Caracterização e Uso Deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: Embrapa, Amazônia, Ocidental., 2009. p. 72–81.

KERN, D. C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indíginas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná, Pará. **R. Bras. de Ciênc. do Solo**, v. 3, p. 219–225, 1989.

KMPF, N. CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 107–133.

LATHRAP, D. W. The upper Amazon as setting for cultural development. In: GLYN, D. (Ed.). **The Upper Amazon, Ancient Peoples & Places**. Thames and Hudson, 1970. p. 22–44.

LEHMANN, J. et al. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 105–124.

LIMA, H. N. **Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2001.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “ Terra Preta Anthrosols ” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, p. 1–17, 2002.

LIMA, H. N. et al. Mineralogia e Química de Três Solos de Uma Topossequência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 59–68, 2006.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New York, John Wiley & Sons.

MACÁRIO, K. D. et al. Graphitization reaction via zinc reduction: How low can you go? **International Journaln of Mass Spectrometry**, n. 400, p. 47–51, 2016.

MACEDO, R. S. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) em áreas de Várzea do rio Solimões, AM**. Universidade Federal do Amazonas, 2009.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba - AM**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2014.

MARQUES, J. J. et al. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Minerals**, v. 37, p. 651–661, 2002.

MEGGERS, B. J. **Amazônia, a Ilusão de um Paraíso Perdido**. Belo Horizonte: Ed.USP, 1987.

MOREIRA, A. Fertilidade , matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Revista Bragantia**, v. 66, p. 307–315, 2007.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, n. C, p. 31–36, 1962.

NEVES, E. G. **Arqueologia da Amazônia**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2006.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. 1. ed. Viçosa, MG.: Universidade Federal de Viçosa, DPS., 1999.

OGUNTUNDE, G. P. G. et al. Effects of charcoal production on maize yield , chemical properties and texture of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 295–299, 2004.

RADAM. Projeto RADAMBRASIL, levantamento de recursos naturais. In: V14. (Folh ed. Rio de Janeiro, V14. (Folha SA.19-Içá): Departamento Nacional da Produção Mineral, 1977. p. 446.

RAMSEY, B. C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. **Radiocarbon**, v. 51, n. 1, p. 337–360, 2009.

REATTO, A. et al. Solos do Bioma do Cerrado: aspectos pedológicos. **Embrapa Cerrados, Planaltina**, v. 1, p. 151–199, 2008.

RIBEIRO, A. C.; GUMIMARÃES, P. T. G.; VENEGAZ, V. H. A. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, MG.: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

ROOSEVELT, A. C. Determinismo ecológico na interpretação do desenvolvimento

social indígena da Amazônia. In: NEVES, W. A. (Ed.). . **Origem, adaptações e diversidade biológica do homem nativo da Amazônia**. 103. ed. Belém, PA.: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. p. 103.

ROOSEVELT, A. C. The Lower Amazon: a dynamic human habitat. In: LENTZ, D. L. (Ed.). **Imperfect Balance: Landscape Transformations in the Pre-Columbian Americas**. New York, Columbia University Press: [s.n.]. p. 455–491.

RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife - PE. CD-ROM. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005

SANTOS, L. A. C. et al. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **R. Bras. de Ciênc. do Solo**, v. 37, n. 4, p. 825–836, 2013a.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2013b.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. In: B. Museu Paraense Emílio Goeldi, Ser. Ci. Terra, 12, 2000. p. 63–104.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, n. 4, p. 401–409, 2004.

SCHAEFER, C. E. G. R. Bases Físicas da Paisagem Brasileira: Estrutural Geológica, Relevo e Solos. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. (Eds.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 1–69.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Solos da Região Amazônica. In: CURTI, N. et al. (Eds.). **Pedologia solos dos biomas Brasileiros**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade

Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 111–175.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols ( Oxisols ): A review. **Clay Minerals**, v. 43, n. May 2015, p. 137–154, 2008.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 379–438.

SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, p. 553–566, 1980.

SOMBROEK, W. et al. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.). **Amazonia dark earths. Origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 125–139.

SOUZA, K. W. et al. Phosphorous forms in cultivated indian black earth (anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1347–1355, 2009.

USEPA. **Method 3052 microwave assisted acid digestion of siliceous and organically base dematrics.** Disponível em: [www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052](http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3052). Acesso em 14/11/2016., 1996.

VASCONCELOS, B. N. F. **Gênese de antropossolos em sítios arqueológicos de ambiente cárstico no Note de Minas Gerais.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2010.

WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (Ed.). Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 331–362.

WOODS, W. I. Development of Anthrosol research. In: LEHMANN, J. et al. (Eds.).

**Amazonia dark earths. Origin, properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 3–14.

XAVIER, B. T. L. **Mineralogia e teores naturais de metais pesados em solos da bacia sedimentar Amazônica.** Universidade Federal de Viçosa, 2013.

ZECH, W.; HAUMEIER, L.; HEMPFLING, R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: BLOOM, P. (Ed.). **Humic Substances in Soil and Crop Science: Selected Readings.** Madison: American Society of Agronomy and Soil Sciences, 1990. p. 187–202.

## **CAPÍTULO III**

### **A DISTRIBUIÇÃO E PADRÃO DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS DEPENDEM DE RECURSOS NATURAIS DOS AMBIENTES ONDE SE LOCALIZAM**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

## RESUMO

As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são originadas de ações antrópicas pretéritas, e costumam ter ampla variação entre sítios, em diversos aspectos. A partir da constatação de que ocorre diferenciação de tamanho, profundidade e riqueza química entre as TPAs, elaborou-se a hipótese de que as TPAs às margens do rio Solimões/Amazonas tenham fornecido maior oportunidade de sedentarização comparada aos rios afluentes do eixo do Amazonas. Objetivou-se comparar através de análises estatísticas, as características das TPAs dos rios afluentes e TPAs do rio Solimões/Amazonas. A área de estudo localiza-se na bacia Amazônica. Construiu-se um banco de dados a partir da coleção de trabalhos que estudaram TPAs, em artigos, teses e dissertações, totalizando 125 perfis, com métodos e análises comparáveis. As variáveis analisadas foram: pH; cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio (K), e fósforo (P) disponível, acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V), CTC, saturação por alumínio (m), carbono orgânico total (COT), areia, silte e argila. Organizou-se o conjunto de dados em horizonte A antrópico e horizonte B nas proximidades do Solimões/Amazonas e seus rios afluentes. Foram realizadas Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Discriminante (AD) no software R. Para AD também foram incluídos solos adjacentes não antrópicos (horizontes A e B). As médias das características avaliadas dos horizontes A antrópicos das TPAs do Solimões, apresentam médias maiores para maioria das variáveis, exceto carbono orgânico. Isto se repete com menos intensidade nos horizontes B, evidenciando que a ação antrópica não se limita apenas nos horizontes superficiais. A análise de componente principal selecionou dois componentes principais (CP-1 e CP-2), que juntos explicam 80% do conjunto de variáveis dos horizontes A e B. Tal análise selecionou as variáveis pH, Ca, SB, CTC, H+Al e V como as mais importantes para explicar a variabilidade de TPA. A AD gerou duas funções para os horizontes A, sendo LD1 (64,43 %) e LD2 (35,47 %), com acerto de 73,91%. Isto se assemelha no horizonte B, LD1 com 79,71 % e LD2 com 20,29%, com acerto de 83%. Para os horizontes A dos solos adjacentes a classificação foi 100 % de acerto, indicando que não existe nem uma relação deste com solos de TPAs. Das 139 observações originais nos horizontes A das TPAs de afluentes, 96 permaneceram neste grupo, 11 realocaram-se nos solos adjacentes e 32 nas TPAs do Solimões. Das 150 observações dos horizontes A do Solimões, a função manteve a classificação em 115 casos, apenas 2 se colocaram com solos adjacentes e 33 para as TPAs dos afluentes. Classificação semelhante foi observado para os horizontes B. Portanto as TPAs dos rios afluentes revelam semelhanças maiores com características dos solos adjacentes, não antrópicos, evidenciando menor enriquecimento químico, em contraste com as terras pretas arqueológicas do rio Solimões; Os povos indígenas que habitaram a calha do rio Solimões/Amazonas desfrutaram de maior acesso à recursos alimentares, o que resultou em terras pretas arqueológicas mais férteis, com teores fósforo e cálcio superiores, ainda que com teores de carbono orgânico semelhantes.

**Palavras Chave:** Recursos Naturais; Terra Preta de Índio; Solimões/Amazonas.

## 1. INTRODUÇÃO

A região Amazônia compreende um vasto “hidrobioma”, onde se mesclam uma diversidade de lagos furos, igarapés, rios grandes e pequenos de diferentes origens, padrões e cargas sedimentares. Na faixa de entremeio a este mosaico de terra/águas, encaixada entre rios menores (afluentes) e o rio principal, Solimões/Amazonas propriamente dito, ocorrem ecossistemas terrestres e aquáticos muito diferenciados entre si (Ab’ Saber, 2002).

De acordo com Roosevelt et al., (1991) na transição do Pleistoceno tardio com o Holoceno antigo, ao final da última glaciação o homem já estava presente em boa parte da Amazônia, como atestam os estudos arqueológicos mais recentes em Monte Alegre e Carajás. Deslocava-se em meio a esse mosaico ainda desconhecido em busca de um habitat que lhe proporcionasse mínima condição de vida. Um exemplo desta ocupação é o sitio Caverna da Pedra Pintada, registrado no município de Monte Alegre no Pará, datado 11.200 anos AP (Roosevelt et al., 1996), próximo do rio Amazonas

O tempo e os caminhos da ocupação humana na Amazônia é tema que ainda não se exauriu. Para Meggers (1987) a disponibilidade de recursos de um determinado ambiente determina sua fixação (moradia/ocupação) ou a procura de um novo habitat com a exaustão dos recursos. Segundo a autora a fixação do homem amazônida esbarrou na capacidade de suporte dos recursos naturais (solo), muitas vezes impróprios para o uso agrícola continuado. Um exemplo claro são os rios de água preta, que do ponto de vista do aproveitamento humano são minimamente aproveitados, apresentando potencial tão baixo na produção de meios de subsistência que são conhecidos como “rios da fome” (Meggers, 1987).

No entanto onde o ambiente expressou uma base de maior riqueza química para produção e sobrevivência a longo prazo, foi possível uma ocupação mais continua e sustentável, como indicam a ocorrência de sítios de Terra Preta Arqueológica (TPA) mais extensos, próximo aos rios piscosos e várzeas mais ricas.

Carneiro (1983) afirma que a concentração de recursos acarretaria um adensamento populacional, que, por sua vez, levaria à necessidade de melhor organização espacial da exploração, criando as condições necessárias para uma complexificação da organização social e política. Provavelmente por volta de 4.000 anos AP, povos indígenas (agricultores, ceramistas) já haviam se organizado em função da oferta de recursos naturais mais abundantes, passando a explorar o solo

com agricultura de subsistência, que deixou registros como as manchas de TPAs, como testemunhos desta ação, modificando as condições locais (químicas e físicas) e adaptando (tecnificando) os solos à sua necessidade.

A ocorrência das terras pretas arqueológicas tem sido registrada em toda Amazônia, sempre localizadas próximas de rios. Como exemplo destaca-se o sistema Solimões/Amazonas que expressa um número elevado de registros de TPA às suas margens, em solos bem drenados de terra firme e, com menor frequência, em solos de várzeas, geralmente enterrados por sedimentos. Contudo, também ocorrem TPAs nas proximidades de rios com menores dimensões (afluentes).

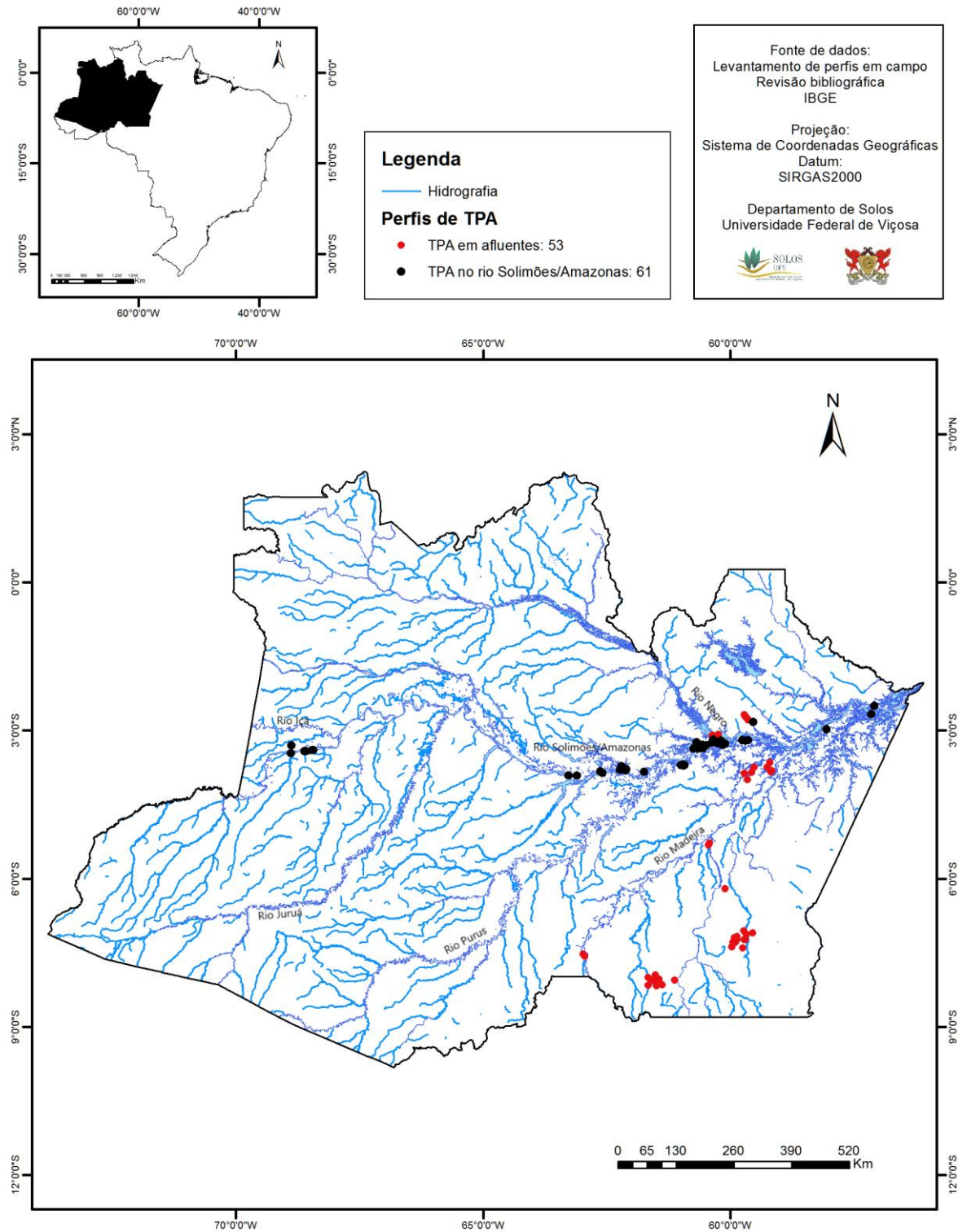
A partir da constatação de que ocorrem diferenciações de tamanho, profundidade e riqueza química entre as TPAs, elaborou-se a hipótese de que as TPAs às margens do Solimões tenham fornecido um contexto de maior riqueza de recursos naturais e melhores oportunidades de sedimentação, comparada aos rios afluentes, onde os sedimentos aluviais não são ricos. Assim, com base num banco de dados amplo, seria possível testar e elucidar se existem diferenças significativas entre TPAs nas duas situações.

Portanto, comparou-se por meio de análises de um banco de dados abrangente, as terras pretas arqueológicas localizadas próximas ao rio Solimões/Amazonas, onde predominam sedimentos de origem andina, com as terras pretas arqueológicas adjacentes aos rios menores, afluentes, com sedimentos quimicamente pobres, pré-intemperizados.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo localiza-se na bacia do Amazonas conforme figura 1. A Bacia do Amazonas possui dois ecossistemas de maiores destaques: terras firmes e várzeas. A terra firme é constituída de solos pobres e ácidos com poucas exceções de solos mais ricos, já a várzea apresenta solos com boa fertilidade natural, onde os rios recebem aluviões de origem andina (Schaefer, 2013). O registro científico de Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) ocorrem com mais

frequência nos ambientes de terras firmes, e com menor intensidade nos ambientes de várzeas.



**Figura 1.** Localização da Área de estudos.

Construiu-se um banco de dados a partir dos trabalhos de Kern e Kampf (1989); Lima (2001); Cunha (2005); Falcão e Borges (2006); Corrêa (2007); Moreira (2007); Soares, (2007); Souza, (2007); Macedo (2009); Souza et al., (2009); Silva et al., (2011); Souza (2011); Barros et al., (2012); Campos et al., (2012); Silva et al., (2012); Santos et al., 2013; Macedo (2014) e Aquino et al., (2016) e dados dos capítulos I e II desta tese. Todo o conjunto contempla pesquisas de TPAs, distribuídos em artigos, teses e dissertações publicadas em periódicos de revistas e bibliotecas online. Selecionou-se apenas aqueles que apresentavam resultados das análises de rotina de solos que fossem metodologicamente comparáveis.

O banco de dados é composto de 125 perfis de terra preta arqueológica, sendo 65 perfis de TPAs do rio Solimões e 60 das TPAs de rios afluentes, para análises. As variáveis analisadas foram: pH; cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potássio (K), e fósforo (P) disponível, acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ), soma de bases (SB), saturação por bases (V), CTC, saturação por alumínio (m), carbono orgânico total (CO), areia, silte e argila. Tomou-se cuidado em selecionar os trabalhos onde os autores utilizaram da mesma metodologia para compor seus resultados, para evitar confrontar dados obtidos com métodos não sistematizados. A metodologia encontrada foi sempre os métodos descritos nos manuais de análises de solos da EMBRAPA (1997, 2011) ou similares mais antigos.

O banco de dados foi subdividido em 4 grupos previamente selecionados pela descrição morfológica: horizonte A antrópico e horizontes B subjacente; com referência à localização identificou-se TPAs localizadas nas margens e proximidades do rio Solimões/Amazonas, e outras dos rios afluentes, contemplando as TPAs pesquisadas nos rios menores (afluentes) na bacia Amazônica.

Além das TPAs selecionadas para análise de agrupamento e análise discriminante, foram incluídos 10 perfis de solos adjacentes (horizonte A e B) não antrópicos e sem vestígios de modificações antrópicas, como referências nas duas áreas, apenas para análise discriminante.

Todo o conjunto de dados foi submetido á análise descritiva para efeito de comparação de médias.

Para selecionar os componentes principais que melhor explicam a variabilidade do conjunto de dados das TPAs próximos ao rio Solimões e TPA de rios afluentes, os dados foram submetidos às análises de componentes principais

(ACP). O percentual de contribuição de cada variável selecionada pelos componentes principais foi gerado a partir dos loadings dos componentes principais e da comunalidade.

As funções discriminantes são combinações lineares de variáveis que melhor discriminam grupos definidos a priori (Reis, 1988).

A função discriminante linear de Fisher é utilizada para classificar as observações nos grupos, neste caso, em grupos de TPAs. Foi realizada uma análise discriminante baseada em 15 variáveis físicas e químicas das TPAs para os horizontes A, e 14 variáveis para os horizontes B, para verificar o grau de discriminação. Em seguida identificar quais das medidas utilizadas teriam maior peso nessa discriminação.

O número de funções discriminantes necessárias para separar os grupos é dado pelo valor mínimo entre o número “p” variáveis e “g” grupos, definidos a priori, estabelecendo  $m = \min(g - 1; p)$ , ou seja, neste trabalho separou-se os grupos que provêm de três tipos de solo diferentes (TPA Solimões, TPA Afluentes e Solos Adjacentes), tem-se  $p = 15$  (variáveis) e  $g = 3$  (grupos), portanto mínimo de 2 ( $g-1$ ). Assim, tem-se 2 funções discriminantes úteis para separar os solos, utilizando 15 variáveis para os horizontes A e 14 para os B. As funções discriminantes que são combinações lineares das  $p$  variáveis, de modo que a função linear de Fisher é dada por:

$$Z = W_1X_{1k} + W_2X_{2k} + \dots + W_nX_{nk} \quad (\text{eq. 1})$$

$Z_{jk}$  = escore Z discriminante da função discriminante j para o objeto k

$W_i$  = peso discriminante para a variável independente i

$X_{jk}$  = objeto k na variável  $x_j$ .

Os escores das funções determinantes foram obtidos pela equação 1. A partir das duas primeiras funções discriminantes foi montado um gráfico para melhor visualização do padrão de discriminação das classes de solos estudadas. Assim os valores das variáveis explicativas de uma observação são inseridos nas funções de classificação e, conseqüentemente, um escore de classificação é calculado para cada grupo, para aquela observação. Todas as análises foram realizadas no software R.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise descritiva de TPA horizonte A antrópico rio Solimões/Amazonas e rios afluentes.

Ao comparar as médias das características químicas dos horizontes A antrópicos dos sítios de Terra Preta Arqueológica da região do rio Solimões, com as médias das características dos horizontes A antrópicos de sítios de TPA da região dos rios afluentes (Tabela 1), observa-se maiores valores de fósforo disponível nos sítios de TPA da calha do Solimões/Amazonas, com média de 865 mg/dm<sup>3</sup>, sendo 6 vezes mais elevado em média que os sítios de TPAs dos rios afluentes, cuja média foi de 140 mg/dm<sup>3</sup> (Tabela 1).

Para a variável Cálcio trocável, observou-se valores igualmente mais elevados nos sítios do rio Solimões/Amazonas, com média 11 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, o que é 2,3 vezes mais elevado que a média dos sítios de TPAs dos rios afluentes, que apresentam valor de 4 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca<sup>2+</sup> (Tabela 1). Portanto, as perdas de Ca<sup>2+</sup> parecem ser maiores que a perda de P, já que este último pode precipitar com Al/Fe em formas secundárias.

De acordo com Lima et al. (2002) e Schaefer et al. (2004) a fonte primária de P e Ca nas TPAs, é oriunda de ossos de animais e espinhas de peixes. É provável que na região de maiores concentrações de P e Ca no ambiente fluvial, o consumo de caça e pesca tenha sido mais abundante, o que provocou maiores acúmulos proporcionais destes nutrientes, como sugerem os autores supracitados.

Consistentemente, os valores de pH apresentam médias maiores nos sítios do rio Solimões/Amazonas 5,78 e 5,31 nos sítios dos rios afluentes. O Magnésio apresenta valores médios de 1,27 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para o TPAs do Solimões/Amazonas e 0,85 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para TPAs dos afluentes. O potássio apresentou média de 0,12 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para as TPAs do Solimões/Amazonas e 0,07 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para as TPAs dos afluentes (Tabela 1).

A CTC atinge valores médios 18.26 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e 10.98 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para as TPAs do Solimões/Amazonas e dos afluentes, respectivamente (Tabela 1). A saturação por bases revelou média geral de 64% para os sítios de TPAs do Alto Solimões, admitindo assim sua caracterização como horizontes com caráter eutrófico. Já os sítios nos rios afluentes não ultrapassam a média de 40% de saturação por bases, constituindo horizonte de caráter distrófico, mesmo enriquecido (Tabela 1). Tal constatação ilustra, de forma inequívoca, o menor

enriquecimento pelas atividades humanas nos solos adjacente à várzeas mais pobres nos rios afluentes, onde os solos são distróficos. Já as TPAs do Solimões revelam que a eutrofização pronunciada comprova transformações químicas mais duradouro e profundas das atividades antrópicas.

Os sítios de TPAs dos rios afluentes apresentam valores médios maiores nos atributos Al e H+Al, indicando maior acidez (Tabela 1), revelando maior semelhança aos solos adjacentes de referência não antrópicos. Por outro lado, os teores de carbono entre as duas regiões são semelhantes, com média de 24,08 g/kg para o Solimões e 23,80 g/kg para os rios afluentes (Tabela 1).

Como se considera que carbono orgânico dos solos de TPAs tem efeito marcante na retenção dos elementos químicos, (Glaser et al., 2001), os resultados apontam que, na verdade existe um pool considerável de carbono recalcitrante que não participa do aumento da CTC e retenção de cátions, representando materiais pirogênicos de baixa carga elevando a resistência à degradação. Quanto à textura dos horizontes A antrópicos, os sítios do Solimões/Amazonas apresentam menores teores de areia, e maiores teores de argila, comparando aos sítios dos rios afluentes.

A tabela 2, descreve as características dos horizontes B subjacentes das TPAs das duas regiões. Observou-se que as características químicas das TPAs do rio Solimões/Amazonas mostram sempre médias maiores que dos rios afluentes, acompanhando a tendência de médias nos horizontes A antrópicos, nas duas regiões. Portanto constata-se que a concentração de nutrientes em horizonte A antrópico traduz-se em efeito de enriquecimento por descensun nos horizontes B, subjacentes.

Estes resultados comprovam que os efeitos das Terra Preta Arqueológica não se limitam apenas aos horizontes superficiais, mas se estendem aos horizontes B subjacentes. Conforme Schaefer et al. (2004) e Kampf e Kern (2005) a pedobiotubação, através de atividades biológicas, são os principais responsáveis por essa uniformização por descensun do material antrópico, seja por iluviação (translocação) ou pelas galerias de cupins e minhocas, carreando materiais para o subsolo.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos horizontes A antrópicos, das regiões do rio Solimões e dos rios afluentes.

Horizonte A antrópico, Afluentes												
ID	Núm.	Média	Medi.	Mín.	Máx.	3 Quar.	1 Quar.	Variânc.	D. Pad.	C.Var.	Assim.	Curt.
pH	139	5.31	5.2	3.7	7.35	4.85	5.8	0.46	0.68	12.79	0.38	-0.1
P	139	140.71	88.5	1	1724.5	22	174.4	39628.3	199.07	141.48	4.29	28.88
Ca	139	4.87	2.98	0	26.6	0.9	8.1	25.51	5.05	103.64	1.51	2.92
Mg	139	0.86	0.5	0	6.3	0.19	1.2	1.08	1.04	120.94	2.57	8.53
K	139	0.08	0.05	0	0.47	0.02	0.1	0.01	0.09	113.06	2.39	7.09
SB	139	5.81	3.56	0.01	29.9	1.16	9.2	33.57	5.79	99.7	1.32	1.9
Al	139	0.63	0.2	0	5.46	0.1	0.95	0.79	0.89	141.52	2.55	8.61
H+Al	139	6.95	6.77	0	17.5	3.7	9.8	17.09	4.13	59.49	0.46	-0.42
CTC	139	10.98	9.4	0.03	39.1	4.32	16.53	57.79	7.6	69.23	0.9	0.52
V	139	40.18	45	0.2	100	13.7	63.6	760.99	27.59	68.65	0.09	-1.28
C	139	29.13	21.43	1.61	111.48	12.35	42.9	511.05	22.61	77.59	1.28	1.43
Areia	139	503.12	512	61.43	920	247	770	75339.2	274.48	54.56	-0.18	-1.44
Silte	139	238.41	170	10	696	70	440	37042.3	192.46	80.73	0.59	-0.94
Argila	139	258.54	237	19	620.81	140	369	20085.5	141.72	54.82	0.41	-0.88
Horizonte A antrópico, Solimões/Amazonas												
pH	150	5.79	5.77	4.5	6.99	5.3	6.2	0.34	0.58	10.06	0.07	-0.74
P	150	865.84	422.35	5.3	7905.3	139	1122.1	1315342	1146.88	132.46	2.91	11.7
Ca	150	11.34	9.13	0.07	41.87	5.59	15.16	70.17	8.38	73.88	1.41	1.88
Mg	150	1.27	0.88	0	6.7	0.45	1.9	1.31	1.15	90.02	1.77	4.09
K	150	0.12	0.1	0	0.86	0.06	0.15	0.01	0.1	86.39	3.26	17.78
SB	150	12.81	10.5	0.12	43.25	7.44	16.41	74.25	8.62	67.27	1.3	1.68
Al	150	0.23	0	0	7.5	0	0.19	0.56	0.75	320.56	7.1	62.04
H+Al	150	6.29	5.58	0	19.6	3.3	8.35	17.95	4.24	67.37	0.96	0.38
CTC	150	18.27	16.28	3.03	49.55	10.58	24.46	95.68	9.78	53.55	0.92	0.38
V	150	64.52	67.53	0.9	100	52	81	439.83	20.97	32.51	-0.74	0.33
C	150	24.09	20.01	2.01	98	10.94	33.28	311.55	17.65	73.28	1.37	2.39
Areia	150	419.34	440	30	850	296	530	26544.6	162.93	38.85	-0.1	-0.43
Silte	150	256.91	202	20	609	98	410	32445.78	180.13	70.11	0.4	-1.27
Argila	150	323.81	318.5	50	620	232	420	15104.53	122.9	37.95	0.25	-0.54

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível (mg/dm<sup>3</sup>), K: potássio disponível (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Ca: cálcio trocável (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Mg: magnésio trocável (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Al: alumínio trocável (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), H+Al: acidez potencial (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), SB: soma de bases (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), CTC: capacidade de troca catiônica total a pH 7 (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), C: carbono orgânico (g/kg), V: saturação por bases (%). Num: número de amostra, Média: média, Medi: mediana, Min: mínima, Max: máxima, 3 Qua: terceiro quartil, 1 Quar: primeiro quartil, Variânc: variância, D. Pad: desvio padrão, C. Var: coeficiente de variação, Assim: assimetria, Curtos: curtose.

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos horizontes B adjacentes, das regiões do rio Solimões dos rios afluentes.

Horizonte B subsuperficial, Afluentes												
ID	Núm.	Média	Medi.	Mín.	Máx.	3 Quar.	1 Quar.	Variânc.	D. Pad.	C. Var.	Assim.	Curt.
pH	100	5,07	4,99	4,00	6,60	4,70	5,38	0,34	0,58	11,45	0,66	0,08
P	100	68,24	39,00	1,00	497,00	7,70	85,80	8559,23	92,52	135,57	2,61	7,90
Ca	100	1,61	1,10	0,00	7,70	0,36	2,18	3,06	1,75	108,33	1,71	2,61
Mg	100	0,38	0,30	0,00	2,30	0,10	0,50	0,16	0,40	104,68	2,50	7,77
K	100	0,03	0,02	0,00	0,17	0,01	0,03	0,00	0,03	121,51	2,38	6,79
SB	100	2,03	1,42	0,00	9,40	0,55	2,59	4,05	2,01	99,11	1,65	2,67
Al	100	0,94	0,41	0,00	5,56	0,10	1,40	1,67	1,29	137,43	2,19	4,91
H+Al	100	4,37	3,85	0,00	12,10	1,90	6,40	7,75	2,78	63,72	0,57	-0,45
CTC	100	5,46	5,06	0,03	14,18	2,91	7,33	9,61	3,10	56,72	0,70	-0,04
V	100	30,34	25,87	0,00	100,00	7,40	46,49	576,18	24,00	79,11	0,69	-0,34
C	100	8,12	4,31	0,23	45,05	2,32	9,55	85,32	9,24	113,73	1,92	3,84
Areia	100	408,04	341,00	26,00	890,00	164,95	670,00	73478,92	271,07	66,43	0,29	-1,43
Silte	100	172,59	142,17	11,00	645,03	63,11	267,30	18661,90	136,61	79,15	1,08	1,16
Argila	100	420,89	463,00	73,07	746,00	240,00	593,50	37618,90	193,96	46,08	-0,19	-1,31
Horizonte B subsuperficial, Solimões/Amazonas												
ID	Núm.	Média	Medi.	Mín.	Máx.	3 Quar.	1 Quar.	Variânc.	D. Pad.	C. Var.	Assim.	Curt.
pH	108	5,99	5,99	4,62	7,12	5,59	6,46	0,36	0,60	9,97	-0,08	-0,78
P	108	389,03	238,60	2,80	2586,80	108,70	444,95	217088,10	465,93	119,77	2,65	7,95
Ca	108	9,38	8,03	0,08	39,48	4,37	12,25	50,81	7,13	75,99	1,47	2,82
Mg	108	1,15	0,56	0,00	6,23	0,30	1,69	1,56	1,25	108,97	1,68	2,80
K	108	0,11	0,08	0,01	1,33	0,03	0,13	0,02	0,15	140,07	6,10	45,30
SB	108	10,59	9,39	0,18	35,82	4,86	14,92	50,71	7,12	67,24	0,91	0,78
Al	108	0,35	0,00	0,00	4,59	0,00	0,18	0,74	0,86	247,62	3,14	9,93
H+Al	108	3,98	3,25	0,00	11,30	1,60	6,10	7,73	2,78	69,90	0,62	-0,60
CTC	108	13,78	12,28	2,04	44,64	8,01	17,46	62,43	7,90	57,35	1,15	1,89
V	108	68,03	73,12	1,60	100,00	48,47	88,20	552,85	23,51	34,56	-0,59	-0,75
C	108	5,38	4,05	0,75	30,00	2,55	7,50	19,91	4,46	82,90	2,52	10,03
Areia	108	313,93	280,00	30,00	883,00	190,50	395,00	25073,84	158,35	50,44	0,96	1,49
Silte	108	337,63	378,50	20,00	658,00	137,50	533,50	44434,65	210,80	62,43	-0,17	-1,45
Argila	108	348,43	281,50	27,00	703,00	201,50	479,00	36956,94	192,24	55,17	0,64	-0,79

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível (mg/dm<sup>3</sup>), K: potássio disponível (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Ca: cálcio trocável (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Mg: magnésio trocável (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), Al: alumínio trocável (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), H+Al: acidez potencial (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), SB: soma de bases (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), CTC: capacidade de troca catiônica total a pH 7 (cmol<sub>e</sub>/dm<sup>3</sup>), C: carbono orgânico (g/kg), V: saturação por bases (%). Num: número de amostra, Média: média, Medi: mediana, Min: mínima, Max: máxima, 3 Qua: terceiro quartil, 1 Quar: primeiro quartil, Variânc: variância, D. Pad: desvio padrão, C. Var: coeficiente de variação, Assim: assimetria, Curtos: curtose.

### 3.2 Análise de Componentes Principais

As análises de componentes principais (ACP) sumarizaram os dados por um conjunto de dados menores, definindo-se a partir dos autovalores e das porcentagens da variância, explicada por cada componente principal conforme tabela 3. O autovalor de um CP indica a variância que contém um determinado CP (Manly, 2008).

Para determinação do número de CP usou-se o critério de Kaiser (1958) que define o autovalor 1 para ponderar um CP significativa (Tabela 3). CPs com autovalores menores que 1 foram retirados. Para separar as variáveis importantes usou o critério de Hair Jr. et al. (2009), em que variáveis com comunalidade superior a 0,5 são suficientemente explicativas. Portanto, neste trabalho são apresentadas apenas as variáveis mais importantes, ou seja, variáveis que melhor explicam os dados (Tabela 4).

**Tabela 3.** Componente principal (CP), autovalores, porcentagem da variância explicada e proporção acumulada pelos componentes nos horizontes A antrópico e B.

Identificação	Componente Principal	Autovalores	Proporção	Proporção Acumulada (%)
Horizonte A	<b>CP 1</b>	3,755	53,638	53,638
Horizonte A	<b>CP 2</b>	1,897	27,098	80,736
Horizonte B	<b>CP 1</b>	4,609	57,618	57,618
Horizonte B	<b>CP 2</b>	1,785	22,319	79,936

A análise de componente principal selecionou dois componentes principais (CP-1 e CP-2) que juntos explicam aproximadamente 80% do conjunto de variáveis originais dos horizontes A antrópicos (tabela 3). O CP-1 explica 53 % e o CP-2 explica 27% da variância total das características químicas dos horizontes A antrópicos. De acordo com Rencher (2002), os CP de um conjunto de dados relevantes explicam pelo menos 70% do conjunto de dados originais. Portanto, os dois primeiros CP juntos, sintetizam efetivamente a variância amostral total, e podem ser usados para interpretar/explicar o conjunto de dados.

A partir das 17 variáveis do conjunto de dados dos horizontes A antrópicos, o CP-1 selecionou cinco variáveis: pH, Ca, SB, CTC, e V. Já o CP-2 selecionou apenas uma, H+Al (Tabela 4).

Avaliando as contribuições das variáveis, observa-se as variáveis SB e Ca quando somadas atingem 49% (Tabela 4). Portanto são as variáveis que melhor explicam no conjunto de dados dos horizontes A antrópicos das regiões do rio Solimões e dos rios afluentes, seguidas de CTC (18%), V (17%), pH (14%), e H+Al (0,73%).

**Tabela 4.** Correlação dos componentes principais, comunalidades e contribuição por variável dos horizontes A antrópicos.

Variável	Loadings		Comunalidades		Contribuição (%)
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	
pH H <sub>2</sub> O	-0,723	0,356	0,523	0,127	14,05
Ca	-0,949	-0,197	0,900	0,039	24,15
SB	-0,964	-0,176	0,930	0,031	24,95
H+Al	0,165	-0,927	0,027	0,859	0,73
CTC	-0,836	-0,504	0,700	0,254	18,78
V	-0,804	0,458	0,647	0,210	17,35

pH: acidez ativa, Ca: cálcio trocável, SB: soma de bases, H+Al: acidez potencial, CTC: capacidade de troca catiônica, V: saturação por bases.

Para os horizontes B subjacentes, as análises de componentes principais selecionaram também dois CP, explicando aproximadamente 80% da variância total do conjunto de dados, ultrapassando assim o limite de 70% recomendado por Rencher (2002), indicando que os dois primeiros CPs são estatisticamente confiáveis. O CP-1 explicou 57% e o CP-2 explicou 22% da variância do conjunto de dados dos horizontes B subjacentes (Tabela 3).

Nos horizontes B subjacentes as variáveis selecionadas pelo CP-1 foram seis: pH, Ca, SB, V, CTC e teor de silte; e pelo CP-2 foram duas: teores de areia e H+Al (Tabela 5). Nota-se que no horizonte B subjacente ocorre uma repetição de variáveis selecionadas no horizonte A antrópico, em que as variáveis químicas explicam melhor os horizontes, A antrópico e B subjacentes. Por outro lado, nos horizontes B subjacente as variáveis físicas, (areia e silte) com 18,88% de contribuição, foram também relevantes, evidenciando que existem diferenças marcantes na granulometria dos solos comparados do rio Solimões e afluentes menores.

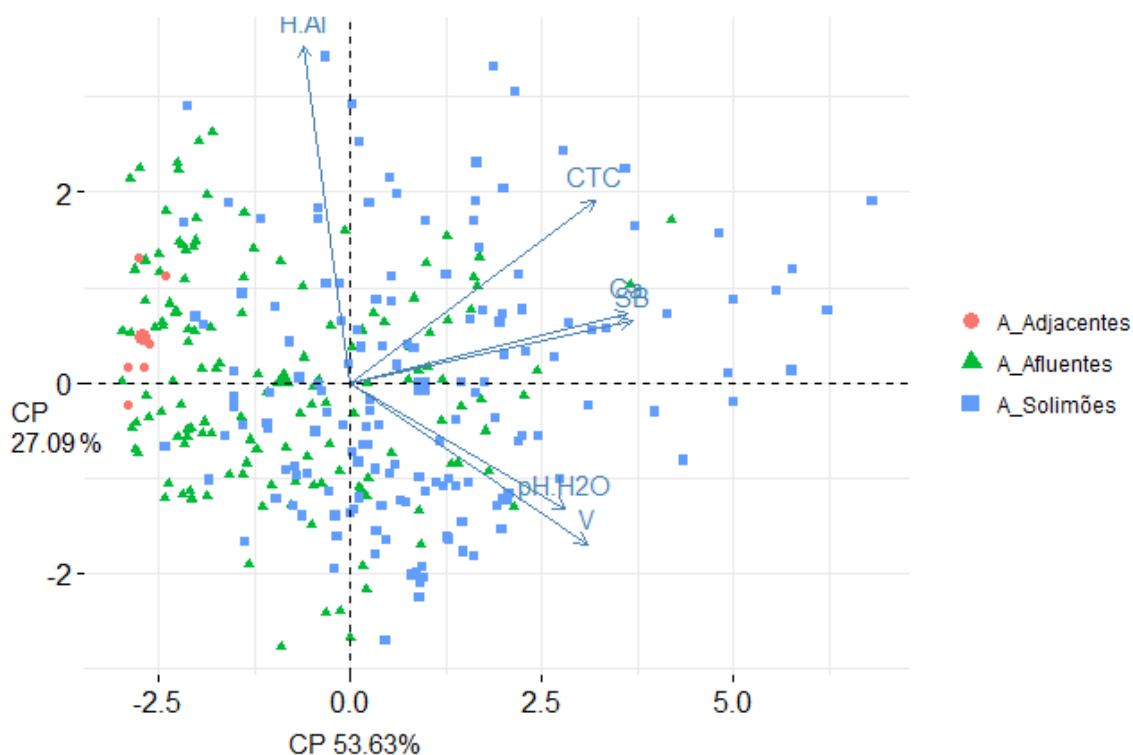
Apesar das variáveis químicas dos horizontes B serem as mesmas dos horizontes A antrópicos, a contribuição das variáveis foi menor, porque o efeito da ação antrópica no horizonte B subjacente é bem menor que o efeito direto no horizonte A antrópico superficial. Assim os percentuais de contribuição: SB (17%), Ca (16%), CTC (15%), V (14%), pH (11%), Silte (11%), areia (7%) e H+Al (6%) são consistentemente menores, (Tabela 5).

**Tabela 5.** Correlação dos componentes principais, comunalidades e contribuição por variável dos horizontes B subjacentes.

variável	Loadings		Comunalidades		Contribuição (%)
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	
pH H <sub>2</sub> O	-0,750	-0,411	0,562	0,169	11,83
Ca	-0,930	0,064	0,865	0,004	16,34
SB	-0,954	0,007	0,911	0,000	17,18
CTC	-0,893	0,261	0,798	0,068	15,54
V	-0,825	-0,408	0,680	0,166	14,05
Areia	0,425	-0,749	0,180	0,561	7,50
Silte	-0,762	0,244	0,580	0,060	11,38
H+Al	0,183	0,870	0,034	0,758	6,17

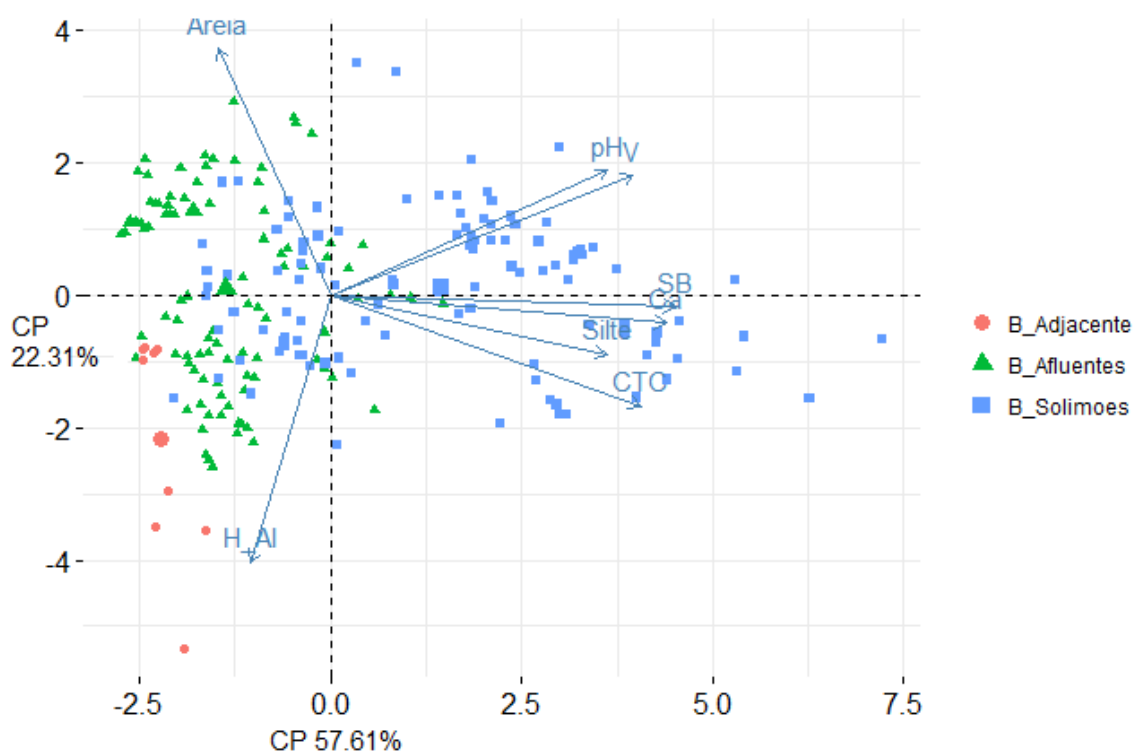
pH: acidez ativa, Ca: cálcio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca catiônica total a pH 7, V: saturação por bases.

A Figura 1 demonstra graficamente que há correlações entre as variáveis mais importantes e entre os componentes principais. Observa-se a tendência de agrupamento para estas variáveis, dos horizontes A antrópicos das TPAs do rio Solimões, dos rios afluentes, e dos horizontes A de solos adjacentes não antrópicos.



**Figura 1.** Biplot da Análise de Componentes Principais dos horizontes A com as variáveis que melhor explicam os dados.

A maioria dos dados dos horizontes A antrópico do rio Solimões estão distribuídos na direção do eixo de variáveis que representam maior riqueza química nos horizontes A antrópicos. Já os horizontes A antrópicos das TPAs dos rios afluentes, distribuem-se de forma oposta, e mais próximas aos solos de referência, não antrópico. Contudo, há outliers que se misturam.



**Figura 2.** Biplot da Análise de Componente Principal dos horizontes B com as variáveis que melhor explicam os dados.

A Figura 2 representa graficamente que há correlações entre as variáveis mais importantes e os componentes, revelando agrupamento dos horizontes B subjacentes das TPAs do rio Solimões, dos rios afluentes e B dos solos adjacentes, não antrópicos, com pouca mistura.

### 3.3 Análise Linear Discriminante

As duas funções geradas foram testadas por meio de uma análise univariada (ANOVA) e se mostraram significantes ( $p < 0.05$ ). Quanto ao poder discriminante,

a primeira função foi responsável por 64,43 % da discriminação entre as classes de solos e a segunda por 35,47 % (Tabela 6).

**Tabela 6.** Funções lineares discriminantes LDI e LDII nas TPAs dos rios Afluentes, Solimões/Amazonas e horizontes A adjacentes (horizonte A).

<b>Funções</b>		<b>LD1</b>	<b>LD2</b>
<b>V a r i á v e i s</b>	<b>pH</b>	0,1651	0,0536
	<b>P</b>	0,0004	0,0002
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	-0,0250	-0,0122
	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	-0,0806	-0,0612
	<b>K<sup>+</sup></b>	1,4115	2,1593
	<b>SB</b>	0,0377	-0,1216
	<b>Al<sup>3+</sup></b>	-0,1433	0,0089
	<b>H+Al</b>	0,1299	-0,0342
	<b>CTC</b>	-0,0032	0,1447
	<b>V</b>	0,0202	0,0404
	<b>m</b>	-0,0203	0,0468
	<b>C</b>	-0,0221	-0,0190
	<b>Areia</b>	-0,0103	-0,1084
	<b>Silte</b>	-0,0111	-0,1101
	<b>Argila</b>	-0,0096	-0,1038
<b>Proporção (%)</b>		<b>64,43</b>	<b>35,57</b>

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca catiônica total a pH 7, C: carbono orgânico, S: saturação por bases.

A partir dos coeficientes das funções determinantes, para o horizonte A, os escores foram calculados para cada observação, a partir da equação:

$$Z1 = 0.1651 * \text{pH} + 0.00038 * \text{P} - 0.024 * \text{Ca} - 0.0806 * \text{Mg} + 1.4115 * \text{K} + 0.0377 * \text{SB} - 0.1433 * \text{Al} + 0.1299 * \text{HAl} - 0.00316 * \text{CTC} + 0.0201 * \text{V} - 0.02025 * \text{m} - 0.022 * \text{C} - 0.01028 * \text{Areia} - 0.01108 * \text{Silte} - 0.00961 * \text{Argila}.$$

$$Z2 = 0,0536 * \text{pH} + 0,0002\text{P} - 0,0122 \text{Ca} - 0,0612 \text{Mg} + 2,1593 \text{K} - 0,1216 \text{SB} + 0,0089 \text{Al} - 0,0342 \text{Hal} + 0,1447 \text{CTC} + 0,0404 \text{V} + 0,0468 \text{m} - 0,0190 \text{C} - 0,1084 \text{Areia} - 0,1101 \text{Silte} - 0,1038 \text{Argila}.$$

Z1 = escore para função determinante 1

Z2 = escore para função determinante 2

A apresentação gráfica, dos escores das duas funções determinantes, são apresentados na figura 3. A partir do diagrama de dispersão das duas primeiras funções nota-se que as TPAs estão bem separadas no diagrama de dispersão.

Na tabela 7, observa-se a classificação dos grupos e o acerto da função. Para os horizontes A dos solos adjacentes, a classificação foi perfeita com 100 % de acerto da função, indicando que não existe nenhuma relação deste com solos de TPAs. Para os horizontes A de TPAs dos rios Afluentes, das 139 observações, 96 permaneceram classificadas neste grupo, 11 realocaram-se para os Adjacentes e 32 para as TPAs do Solimões/Amazonas. Das 150 observações dos horizontes A antrópicos TPAs do Solimões/Amazonas, a função manteve a classificação em 115 casos, apenas 2 foram para os adjacentes e 33 para as TPAs dos afluentes. Portanto nota-se que a existe uma aproximação entre as TPAs dos afluentes com os respectivos solos adjacentes não antrópicos, e uma relação quase nula entre TPAs do Solimões/Amazonas e seus solos adjacentes. As semelhanças entre as TPAs dos rios afluentes e Solimões/Amazonas, somam 22% (Tabela 7).

O modelo gerado pela análise discriminante foi capaz de classificar corretamente 73,91 % de acerto, revelando que a função foi eficiente para separação dos grupos. Ou seja, é possível usar a análise discriminante baseadas nessas características.

**Tabela 7.** Matriz de classificação dos grupos e acerto da função, nas TPAs (horizontes A antrópicos), rios Afluentes, Solimões/Amazonas e horizontes A dos solos adjacentes, sem efeito antrópico.

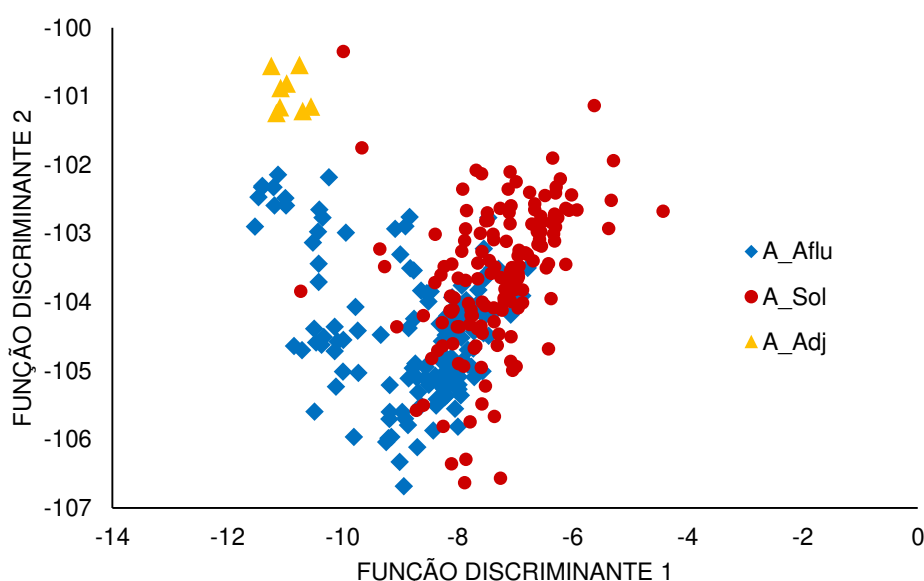
Grupos	N. Amostral	Classificação por grupos			Percentuais por grupos (%)			Acerto da Função
		A_Adj	A_Aflu	A_Sol	A_Adj	A_Aflu	A_Sol	
A_Adj	10	10	0	0	100	0	0	73,91%
A_Aflu	139	11	96	32	8	69	23	
A_Sol	150	2	33	115	1,3	22	76,7	

A\_Adj: horizonte A dos solos adjacentes, A\_Aflu: horizonte A das TPAs dos rios afuentes, A\_Sol: horizonte A das TPAs do rio Solimões.

A Figura 3 representa a distribuição e os agrupamentos entre os horizontes A antrópicos das TPAs do rio Solimões e rios Afluentes, e para facilitar a distinção entre os ambientes, inseriu-se horizontes A de solos adjacentes não antrópicos. Pela figura 3, observa-se que os horizontes A antrópicos das TPAs da região do rio Solimões não se agrupam de forma homogênea com as TPAs da região dos rios afluentes, conforme já comentado nas análises descritivas (Tabela 1) e na matriz

de classificação (Tabela 7). As médias superiores nas TPAs do Solimões são decisivas para formar o agrupamento.

Boa parte dos horizontes A antrópicos da região do rio Solimões se agruparam integralmente fora da área dos rios Afluentes (Figura 3), confirmando características distintas das TPAs dos rios Afluentes. Contudo há aproximadamente 22% de sobreposição (Tabela 7), corroborando com a intersecção dos valores descritivos de mínima e máxima das duas regiões (Tabela 1).



**Figura 3.** Agrupamento dos horizontes A antrópicos do rio Solimões/Amazonas, rios Afluentes e horizontes A dos solos Adjacentes, não antrópicos.

Observa-se também que os horizontes A antrópicos da região do rio Solimões não apresentam qualquer similaridade com os horizontes A Adjacentes, não antrópicos, agrupando-se de forma mais distante destes. Portanto, o impacto antrópico é muito mais acentuado nas TPAs do rio Solimões/Amazonas do que nos rios Afluentes.

Diferente dos horizontes A antrópicos das TPAs do Solimões, as TPAs dos afluentes aproximam-se dos horizontes A adjacentes, demonstrando mais similaridade com os solos adjacentes, não antrópicos. Deste modo, considerando a pobreza química generalizada dos solos não antrópicos da Amazônia (Schaefer

et al., 2017), evidenciou-se que os horizontes A antrópicos das TPAs da região dos rios afluentes são mais empobrecidos que horizontes A antrópicos das TPAs do Solimões/Amazonas, explicado pelas análises descritivas previamente assinaladas.

As combinações lineares das 14 variáveis utilizadas nos horizontes B separam também por duas funções, LD1 com 79,71 % e LD2 com 20,29 % do conjunto de dados (Tabela 8).

**Tabela 8.** Funções lineares discriminantes LDI e LDII nas TPAs dos rios Afluentes, Solimões/Amazonas e horizontes B adjacentes (Horizonte B).

<b>Funções</b>		<b>LD1</b>	<b>LD2</b>
<b>V a r i á v e i s</b>	<b>pH</b>	1,0219	0,3514
	<b>P</b>	0,0008	0,0006
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	-0,0159	-0,2800
	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	-0,0407	-0,3105
	<b>K<sup>+</sup></b>	0,2167	0,6940
	<b>SB</b>	0,0898	0,0091
	<b>H+Al</b>	0,1291	0,0101
	<b>CTC</b>	-0,0413	0,2458
	<b>V</b>	0,0036	0,0335
	<b>m</b>	-0,0194	0,0376
	<b>C</b>	-0,0452	-0,0753
	<b>Areia</b>	-0,0133	-0,0219
	<b>Silte</b>	-0,0135	-0,0216
	<b>Argila</b>	-0,0134	-0,0204
<b>Proporção (%)</b>		<b>79,71</b>	<b>20,29</b>

pH: acidez ativa, P: fósforo disponível, K: potássio disponível, Ca: cálcio trocável, Mg: magnésio trocável, Al: alumínio trocável, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de troca catiônica total a pH 7, C: carbono orgânico, V: saturação por bases.

Na tabela 9, observa-se a classificação dos grupos e o acerto da função linear dos horizontes B do banco de dados. Para os solos adjacentes (sem efeito antrópico) apenas 50% permaneceram classificadas neste grupo, sendo o restante classificado como TPAs dos afluentes. Tal classificação evidencia semelhança entre estes solos nos horizontes B. Para os horizontes B das TPAs dos rios afluentes, das 100 observações, 83 permaneceram classificadas neste grupo, 2 foram classificadas como solos adjacentes e 15 como TPAs do Solimões. Já para as 108 observações dos horizontes B subjacente ao A antrópico do Solimões, a função manteve em classificação em 93 observações, apenas 1 foi para os adjacentes e 14 para as TPAs dos afluentes.

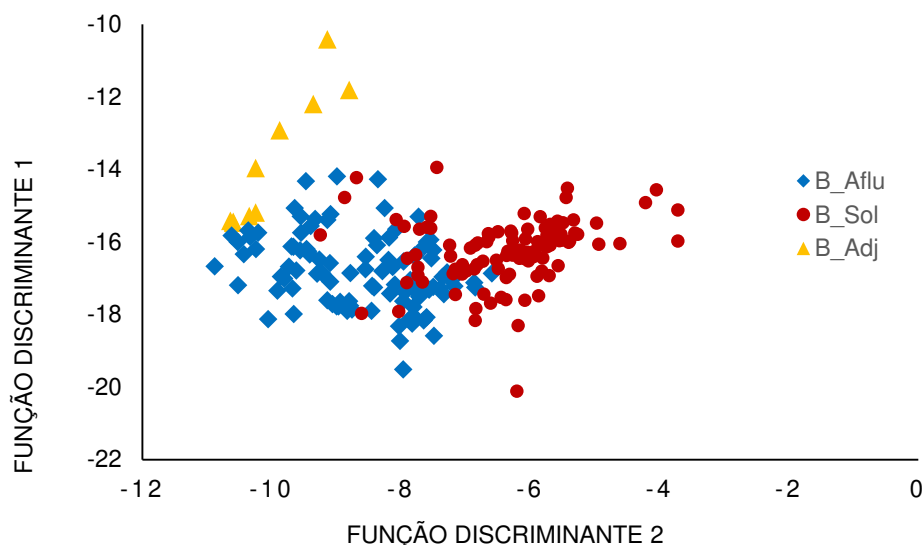
Ao somar os acertos da função, temos 83 % de acerto, sugerindo que a função foi eficiente para separação dos grupos. Portanto é possível usar análise discriminante baseados nessas características dos horizontes B para separar os grupos.

**Tabela 9.** Matriz de classificação dos grupos e acerto da função, nas TPAs (horizontes B subjacente ao A antrópico) dos rios Afluentes, Solimões/Amazonas e horizontes B dos solos adjacentes sem efeito antrópico.

Grupos	N. Amostral	Classificação por grupos			Percentuais por grupos (%)			Acerto Função
		A_Adj	A_Aflu	A_Sol	A_Adj	A_Aflu	A_Sol	
B_Adj	10	5	5	0	50	50	0	83%
B_Aflu	100	2	83	15	2	83	15	
B_Sol	108	1	14	93	1	13	86	

B\_Adj: horizonte B dos solos adjacentes, B Aflu: horizonte B das TPAs dos rios afluentes, B\_Sol: horizonte B das TPAs do rio Solimões.

Na figura 4 ilustra-se o agrupamento dos horizontes B, com configuração semelhante ao horizonte A, (Figura 3), e corroborando com a constatação da maior riqueza nas TPAs do rio Solimões/Amazonas em comparação aos Afluentes.



**Figura 4.** Agrupamento das TPAs horizontes B do rio Solimões, rios Afluentes e horizontes B de solos não antrópicos.

Há também diferença entre os horizontes B adjacentes, não antrópico, com os demais horizontes antrópicos, o que concorda com a retro mencionada observação de que os efeitos antrópicos produzidos no horizonte A antrópico propagam-se para o horizonte B (Figura 4).

Já é consenso entre pesquisadores que a formação das TPAs é um processo não intencional, resultado da prolongada ocupação humana pré-histórica, que ao longo dos anos depositou material orgânico como descartes de uso domésticos, bem como resto de alimentação originário de caça, pesca e frutas, ou resíduos humanos enterrados em urnas de cerâmica ou livre. Tudo isso foi submetido à manejo de fogo em cultivo de slash-and-burn, produzindo material orgânico semicarbonizado pelo uso do fogo, no preparo de alimentos, ou pela queima das áreas para uso agrícola (Smith 1980; Lima et al., 2002; Neves et al., 2003; Kampf & Kern, 2005; Kern et al., 2009; Schimidt & Heckenberger, 2009; Souza 2011).

Assim, regiões que apresentem TPAs com teores de nutrientes mais elevados, agrupam-se separado, o que constitui uma feição das TPAs da região do Solimões/Amazonas. Os dados apresentados dão suporte aos antigos postulados ditos “deterministas” de B. Meggers, por revelar que as várzeas de rios com maior riqueza nutricional, mostram consistentemente TPAs marcadamente mais ricas, o que teria favorecido a permanência dos povos indígenas na mesma área por tempo mais prolongado, retroalimentando o enriquecimento das TPAs.

Portanto, quanto maior fosse a riqueza da região maior seria o tempo de ocupação do mesmo lugar, resultando em maior consumo de alimentos, maiores quantidades de resíduos orgânicos descartados, tendo por fim um acúmulo de maiores concentrações de nutrientes por área ocupada, e maiores extensões das mesmas.

Para Meggers (1987), o nível de cultura das sociedades era condicionado pelo potencial agrícola do ambiente que eles ocupavam. Os dados aqui coligidos, formando um amplo acervo documental, emprestam robusta evidência de sua pertinência. Conforme Lathrap (1970), o avanço de culturas complexas parece ter ocorrido apenas quando a intensificação do crescimento populacional ao longo das várzeas do rio Solimões/Amazonas despertou interesse pelas áreas ricas, agricultáveis e com rios muito piscosos.

A variância dos dados (tabelas 1 e 2) permitem confirmar que as TPAs das duas regiões apresentam características químicas bastante heterogêneas, corroborando Smith (1980) que sugere forte heterogeneidade entre sítios e dentro dos sítios, ainda que esteja claramente definida as diferenças entre as TPAs do Solimões/Amazonas e afluentes.

#### **4. CONCLUSÕES**

As Terras Pretas Arqueológicas do rio Solimões/Amazonas revelaram médias mais elevadas para P, Ca, Mg, K, SB, V e CTC, indicando uma riqueza química superior às Terras Pretas Arqueológicas dos rios afluentes, onde as manchas são menores, e com horizontes Au mais rasos.

Os componentes principais revelaram as variáveis pH, Ca, SB, CTC, H+Al e V como as mais importantes para explicar a ocorrência de terras pretas arqueológicas.

As Terras Pretas Arqueológicas dos rios afluentes demonstram maiores proximidade com as características químicas dos solos adjacente, não antrópicos, evidenciando menor enriquecimento químico, em contraste com as Terras Pretas Arqueológicas do rio Solimões, muito diferenciadas dos solos adjacentes.

Como única justificativa plausível, os povos indígenas que habitaram as várzeas do rio Solimões/Amazonas desfrutaram de maior acesso à recursos alimentares o que resultou em terras pretas arqueológicas mais ricas em nutrientes, como fósforo e cálcio ainda que os teores de carbono orgânico se mantenham semelhantes.

Os resultados do estudo comparativo das Terras Pretas arqueológicas conferem comprovações robustas aos postulados de B. Meggers, tão questionados ao longo do tempo, num viés antropológico claramente “anti-determinista”.

## 5. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Amazônia brasileira: bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 5–30, 2002.

AQUINO, R. E. J. et al. Geoderma Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region , southern Amazonas. **Geoderma**, v. 262, p. 35–44, 2016.

BARROS, K. R. M. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, n. 1, p. 44–51, 2012.

CAMPOS, M. C. C. et al. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré , Amazonas. **Revista Agroambiente On-line**, v. 6, p. 102–109, 2012.

CARNEIRO, R. The Cultivation of Manioc among the Kuikuru of the Upper Xingú. In: **Adaptive Responses of Native Amazonians**. New York: Academic Press, 1983. p. 65–111.

CORRÊA, G. R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da região dos lagos (RJ) e terras pretas de índio na região do Baixo Rio Negro/Solimões (AM)**. Universidade Federal de Viçosa, 2007.

CUNHA, T. J. **Ácidos Húmicos de Solos Escuros da Amazônia (Terra Preta de Índio)**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. In: Rio de Janeiro (Documento 132): EMBRAPA, Solos, 2011. p. 230.

FALCÃO, N. P. S.; BORGES, L. F. Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawaí ( *Carica papaya* L). **Acta Amazônia**, v. 36, n. 4, p. 401–406, 2006.

GLASER, B. et al. The “Terra Preta” phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, n. 1, p. 37–41, 2001.

HAIR, J. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187–200, 1958.

KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solos como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: TORRADO, P. V. et al. (Eds.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2005. p. 277–320.

KERN, D. C. et al. Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.). . **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso Deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas**. Manaus: Embrapa, Amazônia, Ocidental., 2009. p. 72–81.

KERN, D. C.; KAMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná, Pará. **R. Bras. de Ciênc. do Solo**, v. 3, p. 219–225, 1989.

LIMA, H. N. **Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2001.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “ Terra Preta Anthrosols ” (“ Indian black earth ”) of Western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, p. 1–17, 2002.

MACEDO, R. S. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) em áreas de Várzea do rio Solimões, AM**. Universidade Federal do Amazonas, 2009.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta**

**de Índio no município de Iranduba - AM.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2014.

MEGGERS, B. J. **Amazônia, a Ilusão de um Paraíso Perdido.** Belo Horizonte: Ed.USP, 1987.

MOREIRA, A. Fertilidade , matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Revista Bragantia**, v. 66, p. 307–315, 2007.

NEVES, E. G. et al. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In: **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management.** The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 29–49.

RENCHER, A. C. **Methods of Multivariate Analysis.** 2. ed. New York: Wiley Interscience, 2002.

ROOSEVELT, A. C. et al. Eighth Millennium Pottery from a Prehistoric Shell Midden in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 254, n. 19, p. 1621–1624, 1991.

ROOSEVELT, A. C. et al. Paleoindian Cave The Peopling Dwellers of the in the Amazon : Americas. **Science**, v. 272, n. 5260, p. 373–384, 1996.

SANTOS, L. A. C. et al. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **R. Bras. de Ciênc. do Solo**, v. 37, n. 4, p. 825–836, 2013.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, n. 4, p. 401–409, 2004.

SCHMIDT, M. J.; HECKENBERGER, M. J. Formação de Terra Preta na região do alto Xingu: resultados preliminares. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.). **As terras pretas de índio da Amazônia : sua caracterização e uso deste conhecimento**

**na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa, Amazônia, Ocidental., 2009. p. 103–126.

SILVA, A. K. T. et al. Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins , sudeste da Amazônia. v. 42, n. 4, p. 477–490, 2012.

SILVA, F. W. et al. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 673–681, 2011.

SMITH, N. J. H. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 70, p. 553–566, 1980.

SOARES, R. **Agregação e Distribuição da Matéria Orgânica em Solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central.** Universidade Federal Fluminense, 2007.

SOUZA, A. S. **Caracterização e Classificação de solos Antropogênicos dos Municípios de Barcarena e Breu Branco, Estado do Pará.** Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007.

SOUZA, K. W. et al. Phosphorous forms in cultivated indian black earth ( anthrosols ) of varying texture in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1347–1355, 2009.

SOUZA, K. W. **Gênese, mineralogia, micromorfologia e formas de fósforo em arqueo-antropossolos da várzea do rio Amazonas.** Universidade Federal de Viçosa, 2011.

LATHRAP, D. W. The upper Amazon as setting for cultural development. In: GLYN, D. (Ed.). **The Upper Amazon, Ancient Peoples & Places.** Thames and Hudson, 1970. p. 22–44.

## **CAPITULO IV**

### **ATRIBUTOS MICROMORFOLÓGICOS E MICROQUÍMICOS EM ANTROSSOLOS (AMAZONIAN DARK EARTH) DA BACIA DO RIO SOLIMÕES/AMAZONAS, AMAZÔNIA BRASILEIRA**

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2018

## 1. INTRODUÇÃO

As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) são solos antrópicos escuros ricos em matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio, manganês, zinco e cobre, com fragmentos de cerâmicas e as vezes material lítico (Sombroek, 1966; Smith, 1980). Esses solos representam os locais de uso e ocupação dos povos agricultores que ocuparam todas as regiões da Amazônia. São frequentemente encontrados próximos às margens de rios, tanto nos rios de águas barrentas como Purus, Madeira, Juruá, Solimões e Amazonas; os de águas claras como Trombetas, Tapajós e Mapuera; e os rios de águas escuras, como Rio Negro, Urubu, Caxiuanã e Mapuá (Kern, 1989; Kern et al., 2009).

Os estudos das TPAs na Amazônia concentraram-se na região do Médio e Baixo Solimões/Amazonas e focaram principalmente as características físicas, químicas e a classificação dos solos, havendo também alguns estudos sobre geoquímica e mineralogia (Kern, 1996; Lima et al., 2002). Estudos micromorfológicos são escassos, destacando-se Lima et al. (2002); Ruivo et al. (2003); Schaefer et al. (2004); Souza (2011); Arroyo Kalim (2017) e Macedo et al. (2017). De maneira geral, revelaram que as principais microestruturas dos horizontes antrópicos são microagregados, sugerindo forte participação da atividade biológica, com fundo matricial constituído pela mistura de materiais do horizonte A e dos horizontes sotopostos, cuja micromassa se encontra bastante impregnada por material orgânico proveniente de combustão incompleta.

Ainda que iniciais, os estudos micromorfológicas das TPAs têm contribuído para elucidar questionamentos sobre sua gênese. Macedo et al. (2017) demonstraram que as organizações micropedológicas revelaram que os principais processos pedogenéticos são a adição de resíduos orgânicos e artefatos cerâmicos, acompanhados pelo uso do fogo, a turbação ou revolvimento por agentes diversos, como a própria atividade humana, raízes e fauna endopedônica, o escurecimento dos horizontes superiores pela matéria orgânica e de horizontes inferiores pela bioturbação dessa, a iluviação de argila e a degradação de nódulos ferruginosos. Estes estudos têm contribuído também para compreender detalhadamente as formas/fontes dos minerais primários e/ou secundários destes solos, e do seu enriquecimento por elementos como fósforo e cálcio (Schaefer et al., 2004), essenciais à formação das TPAs.

A despeito dos avanços obtidos, diversos aspectos sobre a gênese destes solos permanecem em discussão. Dentre eles, existe um interesse em discriminar e compreender quais atributos seriam efetivamente herdados dos solos originais, quais estariam associados à intervenção antrópica direta e quais seriam produzidos pelos processos pedogenéticos impulsionados e/ou intensificados por essa intervenção. Além disso, os estudos são comumente realizados em uma área específica, havendo poucas pesquisas em escala regional, comparando, por exemplo, solos situados em distintas posições da bacia hidrográfica.

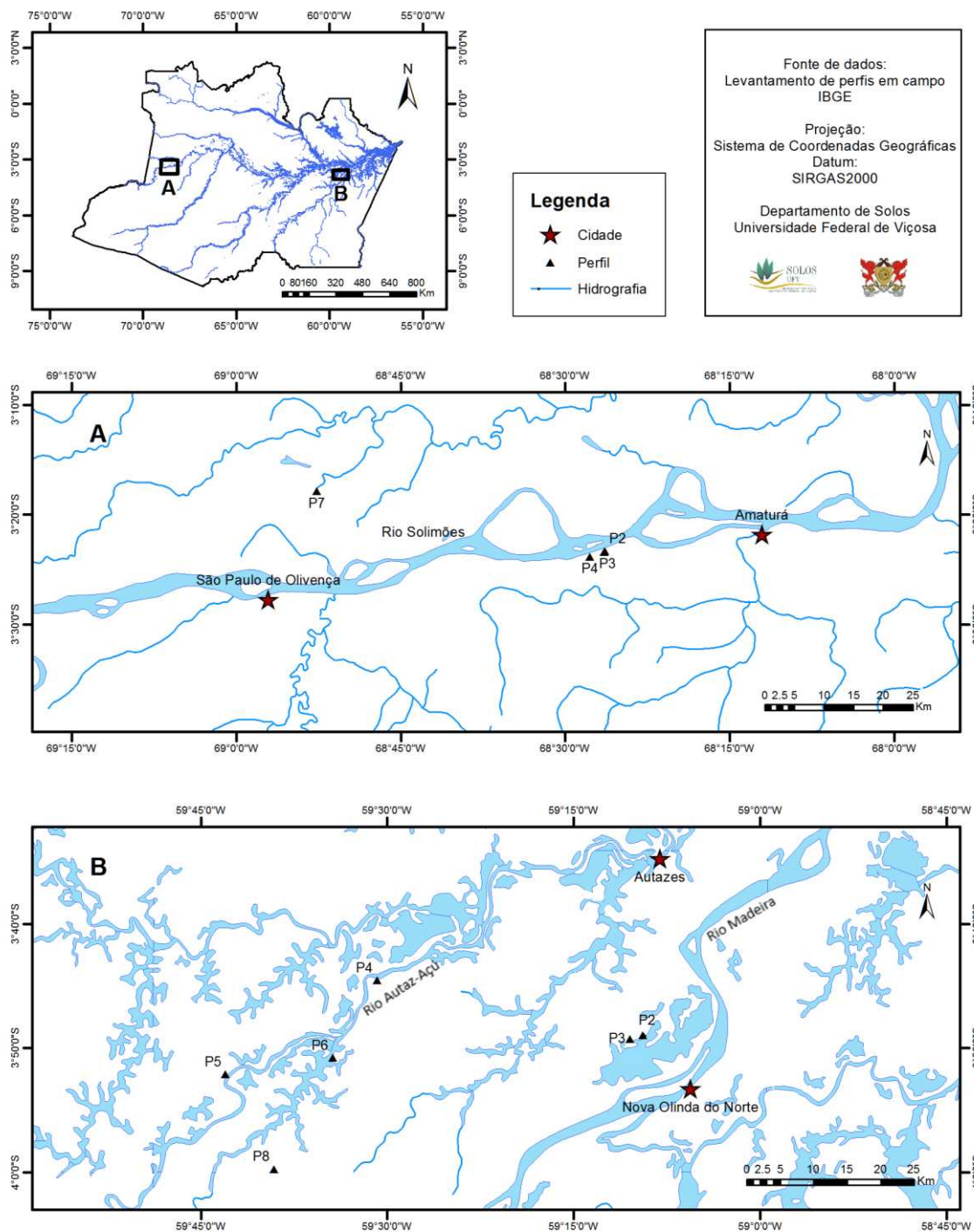
Assim, o objetivo deste estudo foi identificar e caracterizar as principais organizações micropedológicas e microquímicas de TPAs do Alto e Médio Curso da bacia do rio Solimões/Amazonas, na Amazônia brasileira, comparando-as e compreendendo seu significado para a gênese destes solos. Trata-se de um estudo que busca discutir a gênese regional das TPAs a partir de indicadores micromorfológicos, utilizando, para tal, técnicas microscópicas e microquímicas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A área de estudo possui ordem de grandeza regional, incluindo Alto e Médio Cursos do rio Solimões. No segundo caso, após o encontro com o rio Negro, passa a ser chamado de rio Amazonas e, por esse motivo, será referenciado neste estudo como rio Solimões/Amazonas, Alto e Médio Curso.

No Alto Curso, os solos foram coletados próximos ao rio principal, e no Médio Curso próximo a afluentes deste, principalmente o rio Autaz-Açú, rio Preto, Lagos do Sampaio e do Acará Grande. No total foram estudados 10 perfis, sendo 4 no Alto Curso, Área A (Figura 1) e 6 no Médio Curso, Área B (Figura 1). A área A está localizada entre os municípios de São Paulo de Olivença e Amaturá e a área B no município de Autazes, no estado do Amazonas.



**Figura 1** – Localização dos pontos de coleta no Alto (Área A) e Médio (Área B) Cursos do Rio Solimões/Amazonas, estado do Amazonas, Brasil. Os perfis de solos da área A foram identificados como P2A, P3A, P4A e P7A. Os perfis de solos da área B foram identificados como P2B, P3B, P4B, P5B, P6B e P8B.

A área A pertence ao domínio geológico da Bacia Sedimentar do Solimões (Wanderley Filho et al., 2007) e a área B pertence ao domínio da Bacia Sedimentar do Amazonas (Cunha et al., 2007), separadas pelo Arco de Purus. O contexto geológico regional de ambas é o Grupo Javari, subdividido nas Formações

Solimões e Alter do Chão na Bacia do Solimões, e Solimões, Alter do Chão e Marajó na Bacia do Amazonas. A Formação Solimões é constituída por pelitos com níveis de restos vegetais e conchas de moluscos, sendo associada à formação de lagos rasos de água doce gerados pelo bloqueio das drenagens que desaguavam no Oceano Pacífico por ocasião do soerguimento andino Cunha et al. (2007).

Na área A as coletas foram realizadas em duas unidades da paisagem. Um perfil (P7A) foi coletado na várzea de um afluente do Rio Solimões, ambiente caracterizado pela acumulação de sedimentos fluviais quaternários, com predomínio de Neossolos Flúvicos e Gleissolos. O material de origem deste solo é constituído por sedimentos quaternários inconsolidados. Outros três perfis (P2A, P3A e P4A) foram coletados no Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental (terra firme), em área de relevo dissecado, alongado e estreito, com interflúvios tabulares e fraco entalhamento de talvegues. Esta última apresenta predomínio de Argissolos e Plintossolos ácidos e pobres em nutrientes (Schaefer et al., 2000). O material de origem dos solos é representado pela Formação Solimões.

Na área B todos os perfis foram coletados em áreas de terras firmes. Trata-se de um relevo pouco dissecado, composto por colinas e vales suavizados (Dino et al., 2012; Gonçalves Junior et al. 2016), com predominância de Argissolos e Latossolos. Os perfis P4B e P6B situam-se em área com restrição moderada de drenagem, ao passo que os demais ocorrem em área de boa drenagem. O material de origem dos solos dos perfis de B é representado pelas rochas seimentares da Formação Alter do Chão e Terraço Superior Quaternário.

O clima da área A é do tipo tropical úmido ou superúmido, sem estação seca, com precipitação média anual de 2230 mm, temperatura média anual de 27 °C (Nimer, 1989). Em B, por sua vez, o clima é tropical úmido, conforme a classificação de Koppen, com temperatura média anual é 25,6 °C e precipitação média de 2750 mm (RADAM, 1977).

## **2.2 Descrição e amostragem dos solos**

Foram abertas trincheiras para o estudo dos perfis de solos e descritos conforme Santos et al. (2015) e sua classificação conforme EMBRAPA (2013).

Nos perfis descritos, horizontes antrópicos superficiais, alguns horizontes subsuperficiais e transições entre horizontes foram selecionados para o estudo

micromorfológico. Dos quatro perfis descritos em A, foram coletadas amostras indeformadas de cinco horizontes antrópicos, dois em transições e um horizonte subsuperficial não antropizado. Dos seis perfis descritos em B, foram coletadas treze amostras indeformadas em horizontes antrópicos, uma transição e duas amostras em horizontes subsuperficiais não antropizados. A composição química, física e mineralógica detalhada destes solos é apresentada nos capítulos I e II deste trabalho.

Adicionalmente, nove horizontes foram selecionados para o estudo do *fabric* de fragmentos cerâmicos presentes no solo. O número de fragmentos em cada lâmina é variável. Foram atribuídos códigos para facilitar a análise e apresentação dos resultados (Tabela 1).

**Tabela 1:** Horizontes selecionadas para análise do fabric de fragmentos cerâmicos.

<b>Horizonte</b>	<b>Fragmento Cerâmico</b>	<b>Código</b>
P5B (Ap)	P5B Ap C1	D
P2A (AB/BA)	P2A AB/BA C1	B
	P2A AB/BA C2	O
P3A (A2)	P3A A2 C1	A
	P3A A2 C2	N
P7A (BA)	P7A BA C1	G
	P7A BA C2	H
P7A (2Ab)	P7A 2Ab C1	E
	P7A 2Ab C2	F
	P7A 2Ab C3	C
P4B (Ap)	P4B Ap C1	M
P4B (A2)	P4B A2 C1	J
	P4B A2 C2	K
P5B (A2)	P5B A2 C1	I
P5B (AB)	P5B AB C1	L

### **2.3 Preparação das amostras e caracterização micromorfológica**

A amostras indeformadas foram impregnadas (Filizola e Gomes, 2004) e submetidas à confecção de lâminas delgadas e polidas na dimensão 1,8 x 30 x 40 mm. A caracterização micromorfológica foi realizada em microscópio petrográfico da marca Zeiss, modelo Axiopot, com câmera fotográfica acoplada. Foi utilizada a terminologia de Stoops (2003) e Stoops et al. (2010). No caso dos fragmentos de cerâmica, além de Stoops (2003), foi também utilizada a terminologia específica para estes materiais apresentada em Quinn (2013). A área ocupada no *fabric* ou abundância dos poros, inclusões e matriz foi estimada de forma qualitativa conforme Bullock et al. (1985).

As descrições micromorfológicas foram acompanhadas por análise granulométrica da TFSA (fração < 2mm) e mineralógicas da fração argila (< 2 $\mu$ m). Tais análises contribuem com o dimensionamento da composição modal e natureza mineralógica dos constituintes do fundo matricial, considerando que seu diminuto tamanho dificulta o reconhecimento de suas propriedades óticas.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa, conforme EMBRAPA (2011). Após agitação lenta (16 horas), utilizando hidróxido de sódio como dispersante, o silte e a argila foram determinados pelo método da pipeta, ao passo que as areias grossa e fina foram separadas por peneiramento. As proporções de cada fração foram plotadas no diagrama triangular para obtenção da classe textural.

A mineralogia da argila foi realizada no Laboratório de Mineralogia do Solo da Universidade Federal de Viçosa, usando difratômetro da marca Panalytical, modelo Empyrean com radiação CoK $\alpha$  e potência 45KV e 40mA. O intervalo de varredura foi de 2 a 70°, com step de 0,02 °2 $\theta$  e contagem de 10"/step. Os difratogramas foram interpretados no software X'Pert HighScore Plus e através de padrões da literatura (Chen, 1977; Brindley e Brown, 1980).

### **2.4 Análises microquímicas**

Amostras representativas dos sítios descritos em microscópio petrográfico foram selecionados para observação no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo QUANTA FEI 3D, acoplado com 4 sensores de espectroscopia EDS, do Centro de Microscopia da Universidade Federal de Minas Gerais. As lâminas foram recobertas com filme condutor de carbono e montadas em suporte

metálico, sendo obtidas imagens de elétrons secundários. Foram realizadas análises químicas pontuais, com obtenção dos espectros composicionais e sua quantificação, e zonais, produzindo mapas microquímicos dos principais elementos presentes (Al, Si, P, Fe, Ca, Mg, K, Na, etc). As porções coloridas nos mapas indicam a presença do elemento químico indicado na legenda.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Caracterização micromorfológica**

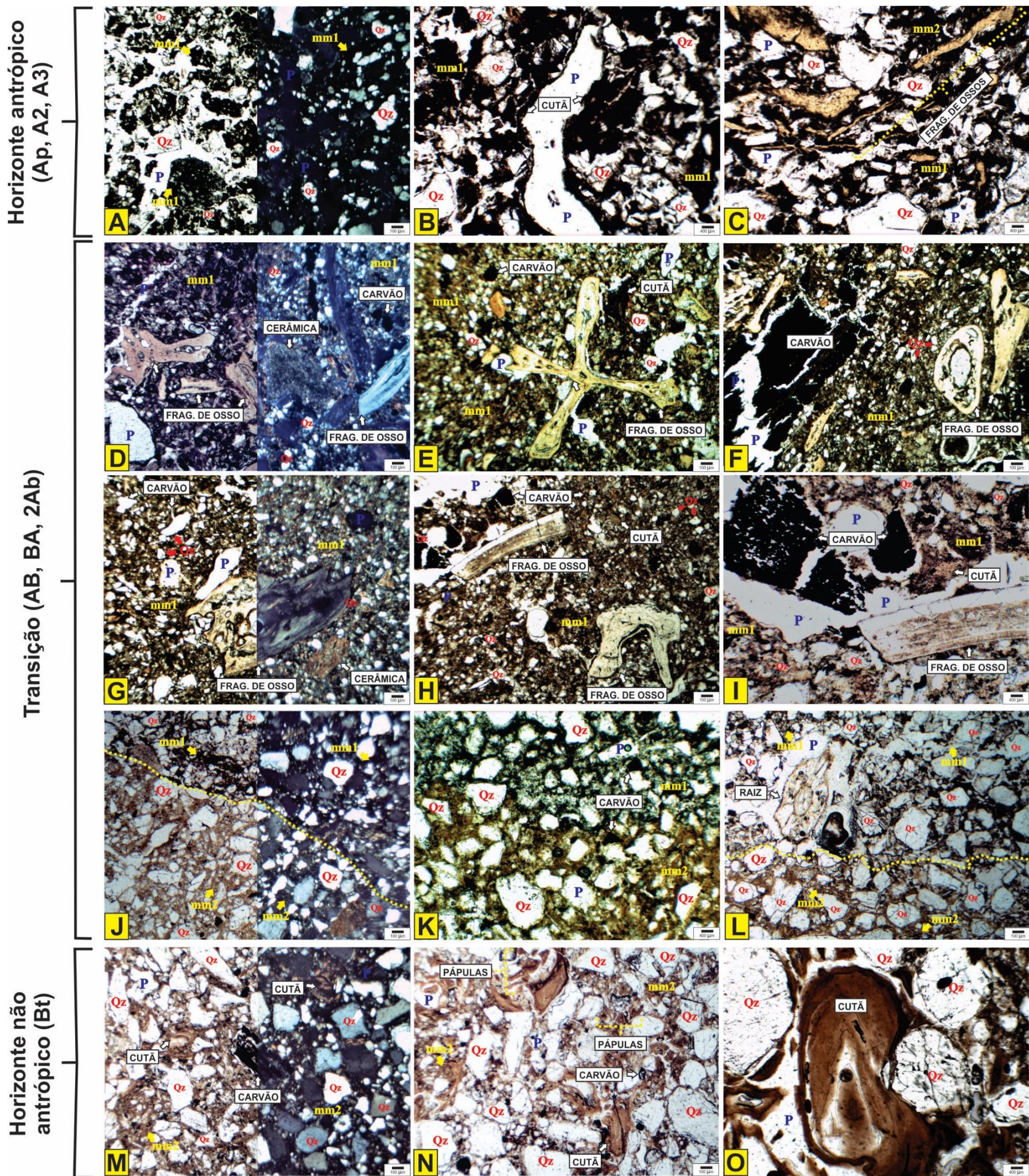
##### **3.1.1 Solos do Alto Curso do Rio Solimões/Amazonas – Área A**

Os resultados das descrições micromorfológicas dos solos do Alto Curso são apresentados na Tabela 2. A Figura 2 apresenta fotomicrografias representativas dos principais constituintes e arranjos identificados.

O horizonte A dos solos do Alto Curso apresentam como microestrutura blocos subangulares, que por vezes são formados pela coalescência de agregados granulares (Figura 2A). Ocorrem também grumos, separados por poros de empacotamento composto. A micromassa mm<sub>1</sub>, de natureza organo-mineral, está presente no fundo matricial, envolvendo completamente os grãos de quartzo, minerais opacos e fragmentos de carvão, numa distribuição relativa do tipo porfírica simples. Alguns grãos de quartzo encontram-se soltos, sem material fino associado, caracterizando zonas de trama mônica. Os fragmentos de carvão são abundantes, bem como ossos, ainda que muito degradados (Figura 2C), com fragmentos menores no interior dos agregados granulares e blocos. Feições de revestimento de cor preta no interior de canais parecem indicar a iluviação proximal de material fino puramente orgânico - orgãs (Figura 2B).

**Tabela 2** – Síntese dos atributos micromorfológicos dos solos da área A – Alto Curso do Rio Solimões/Amazonas

Hor.	Prof.	Cor Úmida	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Classe Textural	Mineralogia da Argila	Microestrutura	Fundo matricial			Material orgânico	Pedofeições	
										Mat. grosso	Mat. fino	Distribuição relativa C/F <sub>2μm</sub>			
Símb.	cm	Munsell	-----g kg <sup>-1</sup> -----												
<b>ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico antrópico (P2A)</b>															
transição	AB	10-40	10YR 2/2	172	358	237	232	Franco argilo arenoso	Caulinita, goethita e gibbsita	Blocos subarredondados a angulares, moderadamente separados, poros planares, canais e cavidades	Quartzo subarredondado a angular, pouco fraturado, areia média a grossa, m. opacos, fragmentos de carvão e ossos	mm1 – micromassa organo-mineral, preto a preto-avermelhada e mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Raízes, resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos típicos, cutãs crescentes e hipocutãs
	BA	40-45	10YR 3/2	179	414	194	213	Franco argilo arenoso							
<b>ARGISSOLO VERMELHO Ta Distrófico típico antrópico (P3A)</b>															
	A2	10-28	2,5YR 2,5/1	136	345	278	241	Franco argilo arenoso	Caulinita, goethita e gibbsita	Blocos subarredondados, com e sem agregados granulares, poucos grãos de quartzo soltos e grumos, poros de empacotamento complexo e cavitários	Quartzo subarredondado a angular, areia fina a média, m. opacos, fragmentos de carvão e de ossos bastante degradados	mm1 – micromassa organo-mineral, preto, trama indiferenciada	Porfírica simples e raramente mônica	Resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Preenchimento solto contínuo, nódulos orgânicos típicos
transição	BA	36-48	2,5YR 4/4	55	390	254	301	Franco argiloso	Caulinita, goethita e gibbsita	Blocos subarredondados, bem a moderadamente separados, maciça, poros planares, alguns canais e cavidades	Quartzo subarredondado, areia fina a média, fragmentos de carvão	mm1 – micromassa organo-mineral, preto a preto-avermelhada e mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos típicos, cutãs crescentes e típicos
	Bt1	48-80	2,5YR 4/6	20	287	217	475	Argila							
<b>ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico antrópico (P4A)</b>															
	BA	52/62-100	7,5YR 4/6 e 3/2	356	251	117	276	Franco argilo arenoso	Caulinita, goethita e vermiculita	Blocos subarredondados a angulares, moderadamente separados, poros planares e canais	Quartzo subarredondado a angular, fraturados, areia fina a grossa, m. opacos, fragmentos de carvão	mm1 – micromassa organo-mineral, preto a preto-avermelhada e mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos típicos, hipocutãs, cutãs crescentes e pápulas
	Bt	100-140	7,5YR 5/6 e 3/2	349	248	126	277	Franco argilo arenoso	Caulinita, goethita e vermiculita	Blocos subarredondados a angulares, moderadamente a mal separados, maciça, poros planares e canais	Quartzo subarredondado a angular, fraturados, areia fina a grossa, fragmentos de carvão	mm1 – micromassa organo-mineral, preto-avermelhada, trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos típicos, cutãs crescentes, e pápulas
<b>GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico antópico (P7A)</b>															
	BA	25-35	10YR 3/2	7	146	582	265	Franco argilo siltoso	Caulinita, ilita, goethita e vermiculita	Blocos subarredondados mal separados, poros planares, cavitários e canais	Quartzo subarredondado, areia fina, m. opacos, fragmentos de carvão, cerâmica e osso abundante	mm1 – micromassa organo-mineral, preto e preto-amarelada, trama indiferenciada	Porfírica simples	Resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos e hipocutãs
	2Ab	60-100	10YR 3/2	17	113	544	326	Franco argilo siltoso	Caulinita, ilita, goethita e vermiculita	Cavitária e fissural	Quartzo subarredondado, areia fina, m. opacos, fragmentos de carvão, cerâmica e osso abundante	mm1 – micromassa organo-mineral, preto e preto-amarelada, trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos, hipocutãs e ocasionais feições de depleção
	2AB	100-125	10YR 4/2	14	140	584	262	Franco argilo siltoso	Caulinita, ilita, goethita e vermiculita	Cavitária e fissural	Quartzo subarredondado, areia fina, m. opacos, fragmentos de carvão, cerâmica e osso abundante	mm1 – micromassa organo-mineral, preto e preto-amarelada, trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos, hipocutãs e ocasionais feições de depleção



**Figura 2** - Fotomicrografias representativas dos constituintes e arranjos dos solos da área A, Alto Curso do Rio Solimões/Amazonas, destacando: A) microestrutura granular ou em blocos formados por grânulos coalescidos com sistema poroso de empacotamento composto; B) microestrutura granular com poros parcialmente revestidos por material fino orgânico; C) horizonte de transição com fundo matricial contendo fragmentos de ossos bastante degradados, impregnados por material fino orgânico; D, E, F, G, H e I) horizonte de transição em perfil de várzea com fundo matricial contendo abundantes fragmentos de ossos, com morfologia bem definida, carvão fragmentado, minerais opacos e quartzo, associados à micromassa mm1, de natureza organo-mineral; J) transição horizonte antrópico e não antrópico marcado (linha tracejada amarela) pela diferença de cores entre as micromassas mm1 e mm2; K) dispersão de fragmentos de carvão e nódulos orgânicos no contato das micromassas mm1 e mm2, indicando espessamento dos horizontes antrópicos; L) crescimento de raízes no contato entre os horizontes A e Bt, sugerindo influência da redução da porosidade pelo concentração de feições de revestimento; M) microestrutura maciça e em blocos subangulares mal separados típica dos horizontes não antrópicos, com fragmentos de carvão e poros revestidos por cutãs; N) feições cutânicas desagregadas, tipo pápulas, sugerindo atuação da pedobioturbação nos horizontes não antrópicos; O) feição de revestimento de composição organo-mineral do tipo crescente. Nas imagens A, D, G, J e M, a porção direita da fotomicrografia está em nicois cruzados e a porção esquerda em nicois paralelos. Qz = quartzo; P = poro; mm1, mm2 e mm3 – micromassas.

Os horizontes de transição AB/BA e BA apresentam um contato abrupto, marcado, principalmente, pela diferença de cor das micromassas mm1 e mm2 (Figuras 2J, 2K e 2L). A microestrutura em blocos subangulares com agregados granulares e grumos é típica do horizonte A, ao passo que no horizonte B os blocos tornam-se mais frequentes, com tendência de angular para subarredondado. São moderadamente a mal separados, apresentando tanto poros planares quanto cavitários, alguns em formato estrelar. Fragmentos de ossos são abundantes no material grosso, acompanhados por cristais de quartzo, minerais opacos e fragmentos de cerâmica. O carvão também está presente, bastante fragmentado. É comum a presença de raízes no contato A/B (Figura 2L), bem como nódulos orgânicos em toda a seção delgada, com maior concentração e tamanho no horizonte A. Os cutãs estão presentes no interior de poros, na forma de cutãs crescentes, sobretudo no domínio do horizonte B, bem como a presença de pápulas. Hipocutãs ocorrem com maior expressão nas zonas em que há o predomínio da micromassa mm1, isto é, horizonte A.

O horizonte Bt é caracterizado por blocos subangulares mal separados e pela microestrutura maciça (Figura 2M). A micromassa mm2 é predominante, ainda que esteja bastante impregnada por material orgânico amorfo (Figuras 2M e 2N). De fato, os cutãs são abundantes (Figuras 2N e 2O) e reiteram a presença do gradiente textural, ocorrendo revestimentos microlaminados crescentes. A grande quantidade de pápulas (Figura 2N) (Eswaran et al., 1980), que podem resultar da destruição parcial dos organo-argilãs pelo rearranjo da matriz em processos ulteriores de pedoturbação, conforme discutido por Brewer (1964).

O perfil P7A, coletado na várzea, apresenta algumas distinções micromorfológicas dos demais. A primeira diz respeito à presença mais marcante de fragmentos de ossos no material grosso do fundo matricial, principalmente nos horizontes 2Ab e 2AB (Figuras 2D a 2I). O carvão também está presente em maior tamanho (Figuras 2F e 2I) e, mesmo que fragmentado, ocupa maior porcentagem da composição modal que nos demais perfis do Alto Curso. Além disso, a microestrutura não apresenta agregados bem definidos, sendo, por isso, classificada como fissural, já que as superfícies dos *peds* são pouco ou não interconectadas (Figuras 2D e 2E), e como cavitária, a julgar pela presença marcante de poros isolados (STOOPS, 2003). As feições pedológicas neste perfil, principalmente nos horizontes de transição, não marcam a presença de cutãs

crescentes, mas apenas de hipocutãs, sugerindo a dispersão proximal das argilas, que revestem a borda de agregados. Por fim, trata-se do único solo que apresentou feições de depleção, com zonas do fundo matricial indicando hidromorfia ocasional.

### **3.1.2 Solos do Médio Curso do Rio Solimões/Amazonas – Área B**

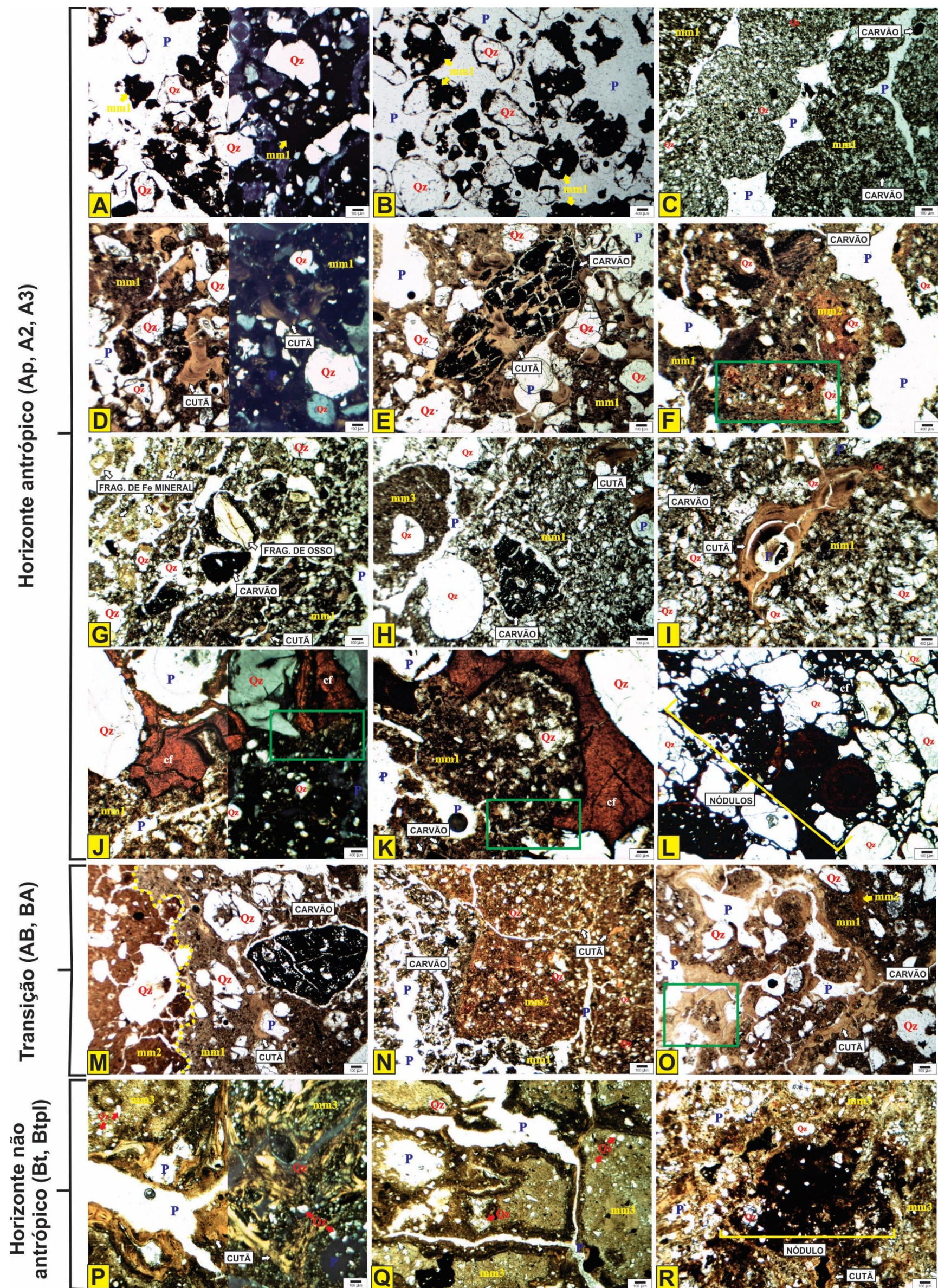
Os resultados das descrições micromorfológicas dos solos do Médio Curso são apresentados na Tabela 3. A Figura 3 apresenta fotomicrografias representativas dos principais constituintes e arranjos nos agrupamentos: horizonte antrópico, transição e horizonte não antrópico.

O horizonte superficial antrópico Ap (P2B, P3B, P4B, P6B e P8B) possui como microestrutura predominante agregados granulares que, muitas vezes, encontram-se coalescidos na forma de blocos subangulares (Figuras 3A e 3B). Ocorrem também grumos (Figura 3C) e cristais de quartzo tamanho areia média a grossa revestidos por material fino (trama quitônica). Os poros predominantes são do tipo empacotamento complexo, ocorrendo também canais e câmaras. Em todos os casos, o fundo matricial é constituído por quartzo, quase sempre fraturado, e minerais opacos, como magnetita e titanita, imersos numa micromassa organomineral escura (mm1), de composição caulinito-goethítica e fortemente afetada por pigmentos orgânicos. Nas áreas mais escuras, a concentração de matéria orgânica faz com que a micromassa apresente um comportamento isotrópico (Figura 3A). Ocorrem também como material grosso fragmentos de carvão, de menor tamanho (< 100 µm) no interior dos agregados, e maiores (>100 µm e < 600 µm) entre esses. Algumas fraturas dos cristais de quartzo e do carvão encontram-se preenchidas pela micromassa mm1. Ossos não são abundantes, tendo sido reconhecidos apenas alguns poucos fragmentos no perfil P4B (ANEXO 2). Uma segunda micromassa, vermelho-amarelada, também está presente (mm2). Ela se caracteriza pela orientação indiferenciada dos cristais de argila (caulinita e goethita), e ocorre na porção interior de blocos subarredondados (Figura 3F), cujas bordas apresentam a micromassa mm1.

**Tabela 3** – Síntese dos atributos micromorfológicos dos solos da área B – Médio Curso do Rio Solimões/Amazonas

Hor.	Prof.	Cor Úmida	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Classe Textural	Mineralogia da Argila	Microestrutura	Fundo matricial			Material orgânico	Pedofeições	
										Mat. grosso	Mat. fino	Distribuição relativa C/F <sub>2μm</sub>			
Simb.	cm	Munsell	-----g kg <sup>-1</sup> -----												
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico antrópico (P2B)</b>															
transição	Ap	0-12	10YR 3/1	463	117	110	310	Franco argilo arenoso		Blocos subarredondados com agregados granulares, poros empacotamento complexo	Quartzo subarredondado, fraturado, areia média a grossa, m. opacos, fragmentos de carvão e cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto a preto-avermelhada e Mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Quito-porfírica	Resíduos de raiz, oxidada, pontuações e pigmentos orgânicos	Preenchimento solto contínuo, nódulos orgânicos típicos
	A2	12-60	10YR 2/1	255	112	89	544	Argila	Caulinita, goethita e anatásio						
	AB	90-110	10YR 3/4	330	96	100	473	Argila	Caulinita, goethita e anatásio	Blocos angulares fracamente a moderadamente separados, poros planares	Quartzo subarredondado, fraturado, areia fina a grossa, m. opacos, fragmentos de carvão fraturado, ocasionalmente preenchido por material fino e cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-avermelhada e Mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Cutãs crescentes, hipocutãs, nódulos orgânicos típicos
<b>LATOSSOLO AMARELO Distrófico antrópico (P3B)</b>															
	Ap	12-50	10YR 2/2	339	91	82	489	Argila	Caulinita, goethita e anatásio	Blocos subarredondados com agregados granulares, poros empacotamento composto e alguns canais	Quartzo subarredondado, areia fina a grossa, com fraturas preenchidas por material orgânico, m. opacos, fragmentos de carvão e de cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto e Mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Preenchimento solto contínuo, nódulos orgânicos típicos e cutãs crescentes
	A2	50-70	10YR 3/2	323	93	91	494	Argila	Caulinita, goethita e anatásio	Blocos subarredondados a angulares, fracamente a moderadamente separados, poros planares e alguns canais	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a média, m. opacos, fragmentos de carvão preenchido por material fino e de cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-avermelhada e Mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	nódulos orgânicos típicos, hipocutãs e cutãs crescentes
<b>PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Alítico típico antrópico (P4B)</b>															
	Ap	0-5	7,5YR 2,5/1	202	97	278	423	Argila	Caulinita, goethita	Blocos subarredondados com agregados granulares e blocos angulares moderadamente separados, poros empacotamento composto, canais e poros planares	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a média, m. opacos, fragmentos de carvão, de ossos e de cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto a preto-avermelhada, trama indiferenciada com zonas isotrópicas onde há maior acúmulo de matéria orgânica	Porfírica simples	Resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Preenchimento solto contínuo, nódulos orgânicos típicos, hipocutãs e cutãs crescentes
	A2	5-25	7,5YR 2,5/1	148	76	353	423	Argila	Caulinita e, goethita	Blocos subarredondados a angulares, moderadamente separados, poros planares e canais	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a média, m. opacos fragmentos de carvão, de ossos, de cerâmica e de cimento ferruginoso de couraça	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-avermelhada e Mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Preenchimento solto contínuo, nódulos orgânicos típicos
	A3	25-35	5YR 2,5/1	149	73	315	464	Argila	Caulinita, goethita, hematita, anatásio	No solo: blocos subarredondados e planar fracamente separada, poros planares e canais de raízes; Na couraça: cimento ferruginoso microlaminado, septos de goethita, poros cavitários	No solo: quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a média, m. opacos, fragmentos de carvão, de cerâmica e de cimento ferruginoso de couraça; Na couraça: quartzo angular a subangular,	No solo: Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-avermelhada, com trama indiferenciada. Na couraça: cristaliplasma, com cristais aciculares, e microlaminações preto-avermelhadas	No solo: Porfírica simples	Raízes, resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos e ferruginosos típicos

										areia grossa a média, fraturados											
<b>ARGISSOLO AMARELO Alumínico plintossólico antrópico (P5B)</b>																					
A2	5-15	10YR 5/2	140	205	491	164	Franco	Caulinita, goethita	Blocos subarredondados com agregados granulares e blocos angulares, moderadamente separados, poros planares e canais	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a grossa, m. opacos, fragmentos de carvão e de cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-amarelada e Mm3 – micromassa amarelo-acinzentada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos e cutãs crescentes e típicos							
AB	15-25	10YR 4/1	139	203	485	173	Franco	Caulinita, goethita	Blocos subarredondados com agregados granulares e blocos angulares, moderadamente separados, poros planares e canais	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a grossa, m. opacos, fragmentos de carvão com poros preenchidos por argila e de cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-amarelada e Mm3 – micromassa amarelo-acinzentada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Resíduos de raiz, pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos e cutãs crescentes e típicos							
Btpl	40/50-90+	10YR 6/8	28	69	313	590	Argila	Caulinita, goethita, ilita, vermiculita e anatásio	Blocos subarredondados, poros planares, poucas zonas com agregados granulares, poros de empacotamento composto	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a grossa,	Mm3 – micromassa amarelo-acinzentada, trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Preenchimento solto contínuo, nódulos orgânicos e ferruginosos (plintitas), hipocutãs e cutãs crescentes							
<b>ARGISSOLO AMARELO Alumínico plintossólico antrópico (P6B)</b>																					
Ap	0-8	7,5YR 3/2	17	70	516	396	Franco argilo siltoso	Caulinita, goethita	Grumosa e blocos subarredondados, poros de empacotamento composto	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina, m. opacos, fragmentos de carvão e de cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto a preto-avermelhada, trama indiferenciada	Porfírica simples	Raízes, restos de raízes e pigmentos orgânicos	Preenchimento solto contínuo, nódulos orgânicos							
A3	20-45	7,5YR 2,5/1	30	54	468	447	Argila siltosa	Caulinita, goethita	No solo: blocos subarredondados, com agregados granulares, poros de empacotamento composto; Na couraça: septos de goethita entre nódulos e cristais monominerálicos, poros cavitários	No solo: quartzo subarredondado a arredondado, areia fina, m. opacos, fragmentos de carvão; Na couraça: quartzo arredondado, fraturado, areia grossa a fina, com fraturas parcialmente preenchidas	No solo: Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-avermelhada, com trama indiferenciada. Na couraça: cristaliplasma, com cristais aciculares, e microlaminações preto-avermelhadas	No solo: Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos ferruginosos típicos e concêntricos, cutãs crescentes e típicos							
AB	45-55	7,5YR 3/2	30	40	458	472	Argila siltosa	Caulinita, goethita	Blocos subangulares a angulares, poros planares e de empacotamento composto e planares	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a média, m. opacos, fragmentos de carvão	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto-avermelhada e Mm2 – micromassa vermelho-amarelada, ambos com trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos, cutãs crescentes e típicos							
Bt	65-90	5YR 5/6 e 7,5YR 4/1	6	20	249	724	Muito argilosa	Caulinita, goethita, ilita, e anatásio	Blocos angulares bem separados, poros planares	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a média	Mm3 – micromassa amarelo-acinzentada, trama indiferenciada a monoestriada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Hipocutãs, cutãs crescentes							
<b>ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico antrópico (P8B)</b>																					
Ap	0-5	10YR 3/2	552	116	82	250	Franco argilo arenoso	Caulinita e goethita	Agregados granulares, blocos com agregados granulares e grãos revestidos por material fino, poros de empacotamento complexo	Quartzo subarredondado a angular, areia fina a grossa, fraturados, m. opacos, fragmentos de carvão	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto, trama indiferenciada e anisotrópica nas zonas de maior acúmulo de matéria orgânica	Quito-enáulica	Fragmentos de raízes, pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos							
AB	20-40	10YR 4/3	354	58	40	548	Argila arenosa	Caulinita, goethita e anatásio	Agregados granulares e blocos angulares bem separados, poros de empacotamento composto e planares	Quartzo subarredondado a arredondado, areia fina a média, m. opacos, fragmentos de carvão e de cerâmica	Mm1 – micromassa organo-mineral, preto a preto-amarelada, e Mm3 – micromassa amarelo-acinzentada, ambas com trama indiferenciada	Porfírica simples	Pontuações e pigmentos orgânicos	Nódulos orgânicos, cutãs crescentes e pápulas							



**Figura 3** – Fotomicrografias representativas dos constituintes e arranjos dos solos da área B, Médio Curso do Rio Solimões/Amazonas, destacando: A) microestrutura granular e em blocos formados por grânulos coalescidos com sistema poroso de empacotamento composto; B) microestrutura granular e microestrutura quitônica, com poros de empacotamento complexo; C) microestrutura grumosa, com poros em cavidades estelares; D) micromassa mm1, de natureza organo-mineral, fortemente associada a revestimentos cutânicos do tipo crescente e hipocutãs; E) fragmento de carvão preenchido por material fino iluviado; F) zonas residuais da micromassa mm2 no interior de blocos subarredondados, indicando sua transformação na micromassa mm1; G) blocos subarredondados entre poros planares, com material grosso contendo fragmento de osso e fragmentos de cimento ferruginoso (Fe mineral) de petroplintita desagregada; H) zonas residuais da micromassa mm3, em domínio de micromassa mm1, com cutãs de composição organo-mineral; I) cutã crescente preenchendo poro e com fissuramento interno; J) contato petroplintita – solo, destacando (retângulo verde) zonas de degradação da couraça ferruginosa; K) idem ao anterior, com destaque para a interpenetração do solo na couraça, reiterando sua degradação física e química; L) fundo matricial do interior da petroplintita, com diferentes tipos de nódulos (concêntricos e típicos); M) transição horizonte antrópico e não antrópico, marcando (linha amarela tracejada) a diferença de cores entre as micromassas; N) distinção entre o domínio de microestrutura em blocos angulares a subangulares no horizonte B e microestrutura granular no horizonte A; O) horizonte de transição com poros fortemente revestidos por cutãs crescentes, além de hipocutãs (retângulo verde em destaque); P) poros revestidos por cutãs no horizonte textural, com brilho forte crescente em nicos cruzados; Q) microestrutura em blocos angulares no horizonte não antropizado, Bt, porém com impregnação de material orgânico nas bordas dos agregados; R) nódulo típico formado pela oscilação de condições oxi-redutoras no horizonte textural com caráter plíntico. Nas imagens A, D, J e P, a porção direita da fotomicrografia está em nicos cruzados e a porção esquerda em nicos paralelos. Qz = quartzo; P = poro; mm1, mm2 e mm3 – micromassas.

As feições pedológicas predominantes no horizonte Ap são nódulos orgânicos, alguns cutãs crescentes revestindo poros e feições de preenchimento solto contínuo, com excrementos esferoidais que denunciam elevada bioturbação.

O horizonte superficial A2 (P2B, P3B, P4B e P5B) é semelhante ao horizonte Ap, sobretudo em relação aos constituintes. Diferencia-se pela presença um pouco mais marcante de blocos subangulares a angulares, separados entre si por poros planares (Figura 3F). O material grosso do fundo matricial permanece sendo quartzo, minerais opacos, carvão e cerâmica, com maior participação de fragmentos de ossos (Figura 3G). Esse material se encontra associado às micromassas mm1 e mm2 numa trama porfírica. A transição difusa entre ambas reitera sua relação genética, sugerindo que mm1 provém da transformação de mm2, sobretudo a partir da incorporação de pigmentos orgânicos. Chama atenção o aumento do revestimento dos poros e agregados pelos cutãs, quase sempre de coloração preto-amarelada ou preto-avermelhada (Figura 3D). Por vezes, encontram-se preenchendo as fraturas dos fragmentos de carvão (Figura 3E). O hábito crescente e o comportamento da luz em nícois cruzados sugere sua natureza iluvial, bem como sua coloração indica forte participação orgânica na sua composição.

O horizonte A3 foi descrito apenas nos perfis P4 e P6. Ainda que seja muito semelhante aos horizontes Ap e, principalmente A2, ele se destaca pela presença de fragmentos de couraça ferruginosa na forma de petroplintitas (Figura 3J). Em P4B, a composição das couraças envolve grãos de quartzo subarredondados, tamanho areia média a grossa, envolvidos por septos de goethita e zonas microlaminadas. Em P6B, além do quartzo ser mais arredondado e maior, ocorrem também nódulos típicos (com quartzo angular fino envolvido por um cimento ferro-aluminoso) e concêntricos (com cimento ferruginoso radial a partir de um núcleo central) no interior da couraça (Figura 3L), sugerindo uma origem policíclica (Chauvel et al., 1978; Nahon, 1991; Tardy, 1993; Beauvais, 2009). A comparação entre os constituintes e arranjos na couraça e solo em ambos perfis sugere que essa se encontra em transformação. Fisicamente, as petroplintitas têm sido desagregadas, com fragmentos do cimento ferruginoso presentes no horizonte superior (Figura 3G) e no contato abrupto com a matriz do solo (Figuras 3J e 3K). Quimicamente, alvéolos e feições de interpenetração da micromassa mm1 indicam a decomposição do cimento ferruginoso da couraça em ambiente ácido, com

incorporação do quartzo aos constituintes grossos do solo. A formação da petroplintita não deve ter se dado no horizonte organo-mineral em que se encontra, mas os atributos desses após as intervenções antropogênicas geram as condições favoráveis à degradação delas.

O horizonte transicional AB reitera, em nível microscópico, o contato abrupto observado macroscopicamente (Figuras 3M e 3N). A microestrutura predominante nesta zona de contato são os blocos subangulares com agregados granulares separados entre si por poros de empacotamento composto no domínio do horizonte A e os blocos subangulares a angulares, moderadamente separados e com poros planares no domínio do horizonte B. O fundo matricial se assemelha em termos dos materiais grossos, com quartzo, minerais opacos e carvão predominante, mas as micromassas são muito distintas, sendo mm1 predominante no horizonte A e mm2 ou mm3 no horizonte B. Há uma expressiva presença de cutãs nessa zona de contato, ocorrendo de duas maneiras. Os cutãs que revestem os poros são do tipo crescentes, com natureza iluvial, apresentam laminação típica com coloração preto-amarelada a preto-avermelhada. As cores denotam a presença de organo-argilãs (Castro, 2008). Os cutãs que revestem os agregados são hipocutãs, sugerindo a reorganização da argila a partir da sua desestabilização no interior das unidades pedológicas. Em alguns horizontes foram identificadas pápulas, sugerindo forte bioturbação.

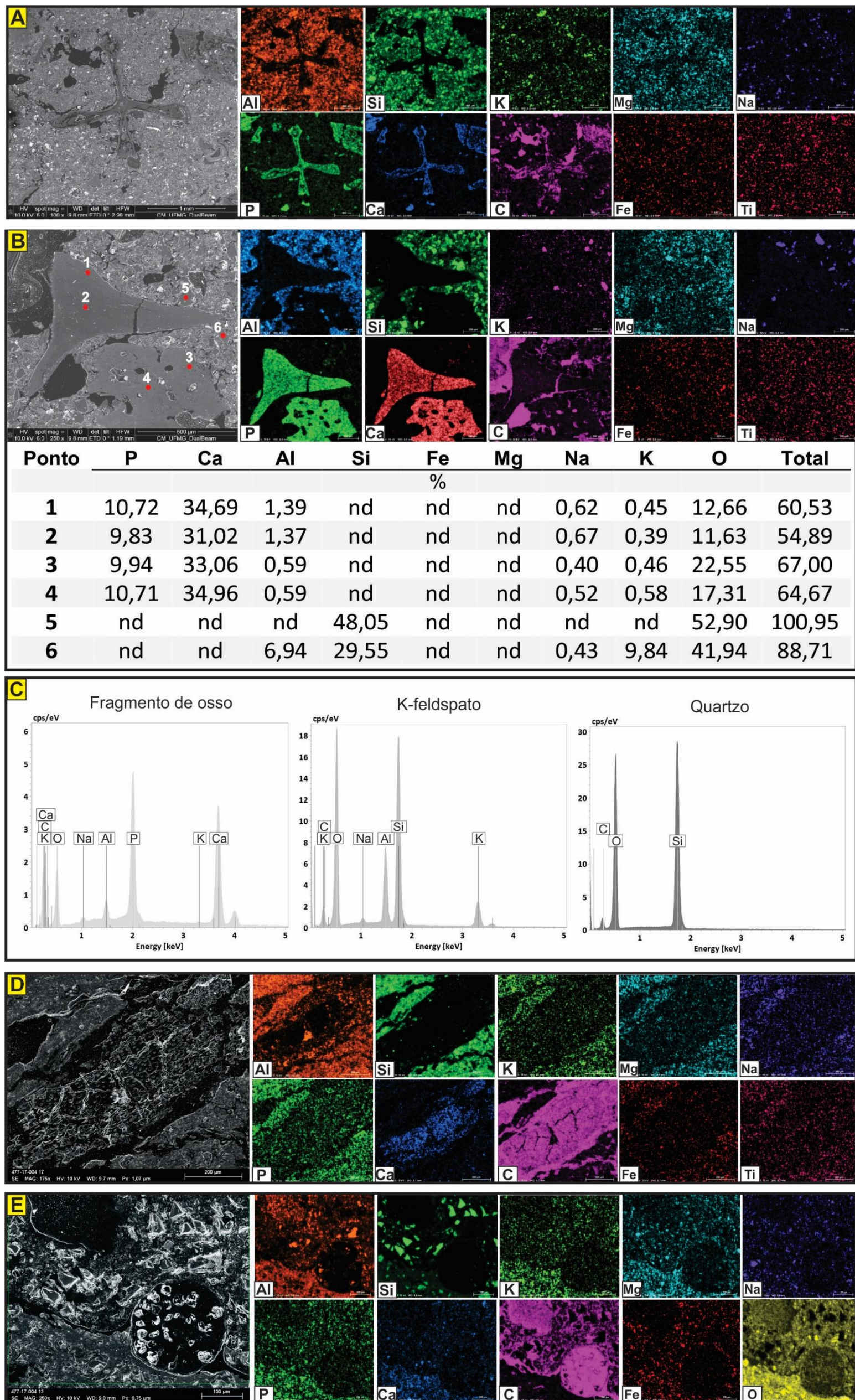
O horizonte B foi descrito nos perfis P5B e P6B, ambos possuindo gradiente textural. A microestrutura predominante são blocos angulares moderadamente separados, com poros planares. O fundo matricial é constituído por quartzo tamanho areia fina como material grosso, associados à micromassa mm3, com trama indiferenciada e monoestriada. As bordas dos agregados apresentam um revestimento de coloração brunada, que sugere pigmentação orgânica conforme observado nos horizontes sobrepostos, ainda que o horizonte B seja, neste estudo, representativo dos horizontes não antropizados. Os cutãs crescentes são abundantes, e no caso do P4B, zonas mosqueadas ferruginosas (plintitas) e com preenchimento solto contínuo com microagregados são observadas. Fragmentos de carvão são raros, e não foram identificados ossos ou cerâmica.

### 3.2 Microscopia de varredura e caracterização microquímica

Foram selecionados para caracterização microquímica alguns constituintes, arranjos e feições que se destacaram na descrição micromorfológica. São eles: fragmentos de ossos (Figuras 4A, 4B e 4C), carvão (Figura 4D), o papel da bioturbação (Figuras 4E, 5C, 5D e 5E), o contato couraça ferruginosa / solo (Figuras 5A e 5B) e os cutãs dos horizontes não antropizados (Figura 5F).

Os fragmentos de ossos apresentam morfologia variada, incluindo desde formatos arredondados até porções da cabeça e espinha de peixes (Figuras 4A e 4B). Os menores tamanhos observados estão entre 100 e 200  $\mu\text{m}$  e os maiores entre 1 e 1,2 mm. Os perfis do Alto Curso, com destaque para P7A, apresentam fragmentos com morfologia mais preservada e de maior tamanho. Todos os demais, principalmente no Médio Curso, possuem fragmentos diminutos e muito degradados. Quimicamente, os fragmentos apresentam composição modal de apatitas biogênicas, com teores elementares (em média) de Ca próximos de 33% e de P em torno de 10%. Valores semelhantes foram observados por Lima (2001), sendo reportados por óxidos no estudo desse autor. Os elementos Al, K e Na também estão presentes na composição dos ossos, porém com conteúdo elementar muito baixo, sempre inferior a 1,5% (Figura 4B).

Quimicamente, além da confirmação da existência abundante do quartzo como fase mineral residual (Figura 4C), foram identificados no MEV alguns minerais constituintes do fundo matricial não reportados na descrição por microscópio petrográfico. Trata-se de cristais com tamanho inferior a 50  $\mu\text{m}$  cuja composição química denota a presença de aluminossilicatos ricos em K (Figuras 4B e 4C) e Na (Figura 4B). O hábito dos cristais nas imagens de elétrons secundários sugere serem, respectivamente, cristais K-feldspato (ortoclásio) e Na-feldspato (albita). A ocorrência destes não é generalizada, tendo sido identificados apenas nos perfis coletados em áreas de várzea e/ou próximos às lagoas.



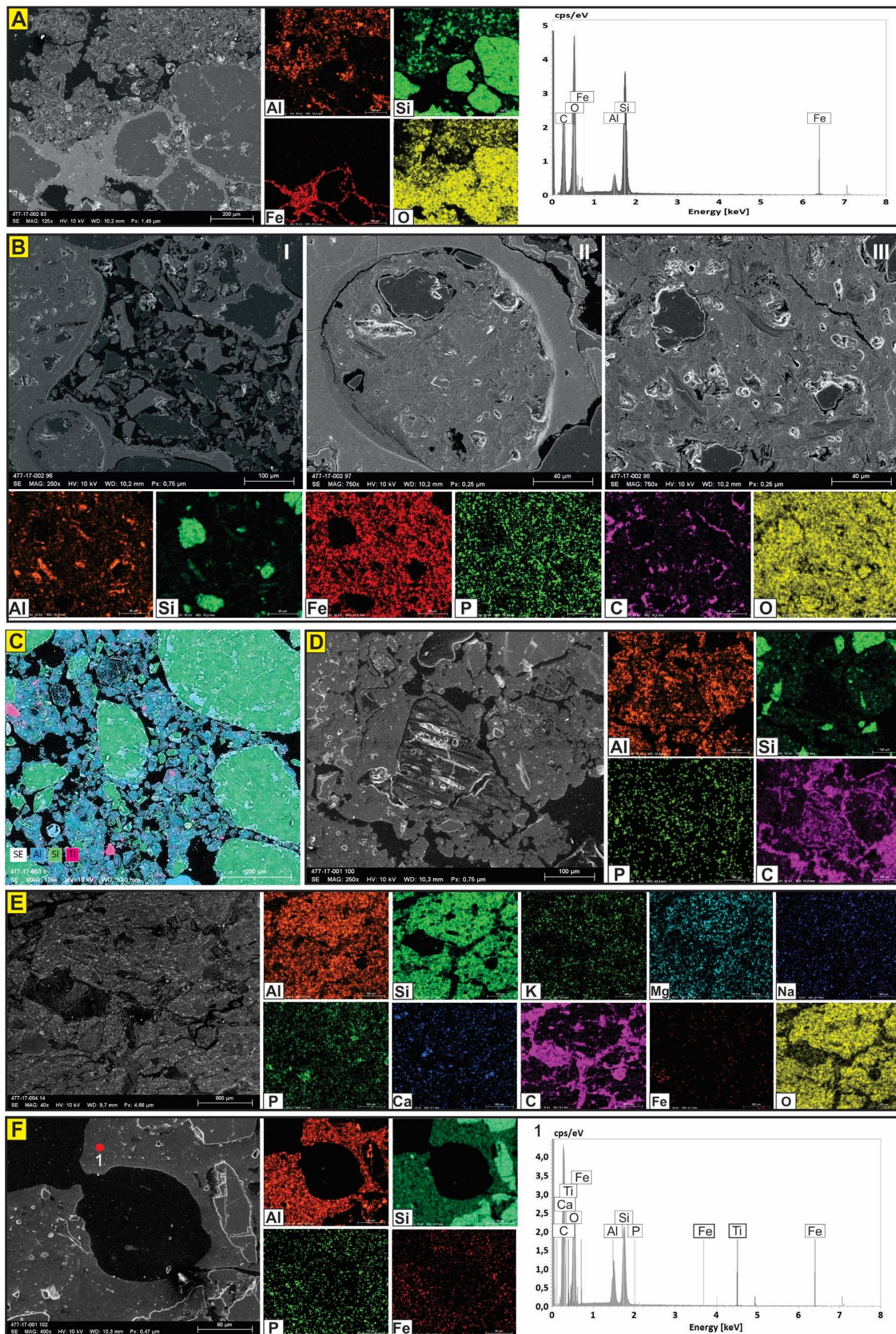
**Figura 4** – A e B) Mapas microquímicos dos elementos Al, Si, K, Mg, Na, P, Ca, C, Fe e Ti, com respectiva imagem de elétrons secundários de fragmentos de osso imersos na micromassa mm1. Em B é apresentado também a quantificação pontual a partir da sonda EDS; C) Espectros representativos dos elementos químicos presentes nos fragmentos de ossos, grãos de k-feldspato e quartzo; D e E) mapas microquímicos dos elementos Al, Si, K, Mg, Na, P, Ca, C, Fe e Ti, com respectiva imagem de elétrons secundários de fragmentos de osso imersos na micromassa mm1. Os mapas microquímicos foram obtidos através da sonda EDS, acoplada em MEV (microscópio eletrônico de varredura). As porções coloridas nas imagens indicam a presença do elemento químico indicado na legenda.

Os fragmentos de carvão são abundantes em todos os horizontes antrópicos estudados e ocorrem de maneira específica nos horizontes sotopostos a estes. O formato destes fragmentos é muito variado, incluindo desde unidades alongadas onde é possível discernir o tecido vegetal carbonizado (Figura 4D), até pequenas pontuações escurecidas, subarredondadas, com tamanho inferior a 30  $\mu\text{m}$ . A presença de fragmentos maiores com as bordas desintegradas indica que o intemperismo físico é atuante na transformação destes materiais. A composição química evidencia a participação principal do carbono, como esperado, e de uma substituição do Ca pelo Al na medida em que tais fragmentos são incorporados à matriz do solo. Nos mapas microquímicos é possível reconhecer que o Ca está presente nas porções mais preservadas, no centro dos fragmentos, ao passo que o Al se concentra nas bordas e fraturas (Figura 4D). Nos horizontes antrópicos, a micromassa que os envolve possui composição diversificada, com a presença de Al, Si, P, K, Mg e Na, corroborando com a diversidade mineralógica observada (Tabelas 1 e 2).

A bioturbação é frequente em todos os solos estudados e se manifesta tanto nos horizontes antrópicos quanto não antropizados. A microscopia por varredura corrobora com as descrições micromorfológicas e permite acrescentar que a transformação das microestruturas e porosidade pelo efeito da bioturbação tem sido acompanhada pela transformação do arranjo e composição do fundo matricial. A Figura 4E destaca que a transformação da distribuição relativa porfírica em quitonáulica é acompanhada pela dispersão da micromassa rica em Al, Si, P, K, Mg e Na, típica dos horizontes antrópicos, bem como pelo preenchimento de canais biológicos por excrementos esferoidais. A seletividade de transporte parece contribuir para a concentração de cristais de quartzo de maior tamanho nestas zonas de transição (Figura 4E). Essa transformação também ocorre no sentido inverso, onde fragmentos de carvão e a própria micromassa dos horizontes superficiais são transportados para os horizontes subsuperficiais. Cooperam para essa constatação o fato de que os fragmentos de carvão identificados nos horizontes Bt são inferiores a 100  $\mu\text{m}$  e estão majoritariamente inseridos nos poucos domínios de microagregados granulares presentes nestes horizontes (Figuras 5C e 5D). Da mesma maneira, feições discretas de P ocorrem nas zonas de preenchimento denso completo do horizonte Bt, sugerindo transporte da micromassa dos horizontes superficiais para subsuperficiais (Figura 5E).

As petroplintitas e o contato com a matriz do solo foram retratados pelos mapas microquímicos (Figura 5A). Tal como em nível petrográfico, há um contato abrupto em termos composicionais, onde um domínio ferruginoso, no âmbito da couraça, contrasta com um domínio silico-aluminoso, no âmbito do solo. Ainda assim, as feições de interpenetração na couraça reiteram sua degradação. As imagens de elétrons secundários corroboram com a natureza anórtica destas couraças ferruginosas (Figura 5B), já que sua composição química e mineral em muito se difere do entorno. Internamente, a presença de nódulos de composição diversificada, incluindo alguns em que o cimento ferruginoso envolve filossilicatos aluminosos (paletas de muscovita) e quartzo (Figura 5DIII e mapas microquímicos relacionados), demonstra que com a progressiva degradação das petroplintitas, existe uma tendência de enriquecimento mineral e geoquímico dos horizontes nos quais elas ocorrem.

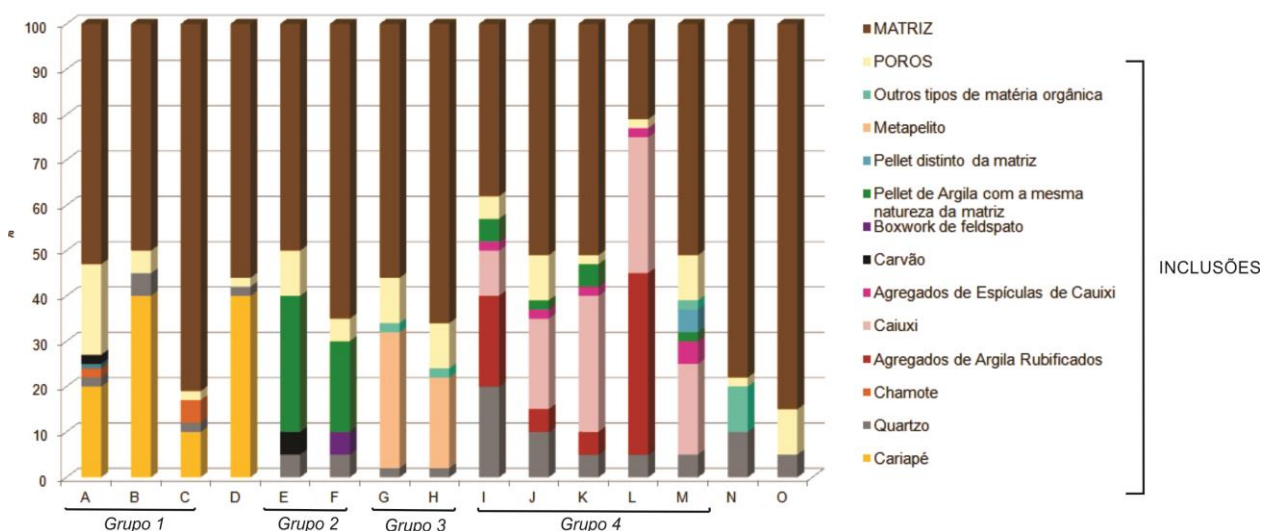
Por fim, os cutãs presentes nos horizontes texturais não antropizados (Bt) foram analisados e apresentaram uma composição eminentemente caulínica (Figura 5F), com um pouco de Fe, justificando sua cor amarelo-avermelhada. O conteúdo de C nestes cutãs é alto, pois mesmo que a metalização das seções delgadas tenha sido feita com esse elemento, os altos picos apresentados pelos espectros (Figura 5F) indicam que sua presença não se deve apenas pela preparação da lâmina.



**Figura 5** -A) mapas microquímicos dos elementos Al, Si, Fe e O, e espectro representativo, com respectiva imagem de elétrons secundários do contato entre crosta ferruginosa (petroplintita) e fundo matricial do horizonte antrópico; B) imagens de elétrons secundários em diferentes magnificações (I, II e III) de nódulos típicos da couraça ferruginosa e seu respectivo fundo matricial, sendo apresentados os mapas microquímicos dos elementos Al, Si, Fe, P, C e O da imagem III; C) mapas microquímicos dos elementos Al, Si e Ti, sobrepostos na imagem de elétrons secundários, de porção microagregada em horizonte não antropizado, Bt, indicando a bioturbação deste; D) mapas microquímicos dos elementos Al, Si, P e C, de porção microagregada e com fragmento de carvão em horizonte não antropizado, Bt; E) mapas microquímicos dos elementos Al, Si, K, Mg, Na, P, Ca, C, Fe e Ti, de blocos subarredondados em horizonte não antropizado, Bt, com feições de preenchimento associadas à bioturbação; F) mapas microquímicos dos elementos Al, Si, P e Fe, e espectro representativo, com respectiva imagem de elétrons secundários de feição de revestimento (cutã) em poro de horizonte não antropizado, Bt. Os mapas microquímicos foram obtidos através da sonda EDS, acoplada em MEV (microscópio eletrônico de varredura). As porções coloridas nas imagens indicam a presença do elemento químico indicado na legenda.

### 3.3 Caracterização dos fragmentos de cerâmica

A abundância dos constituintes que compõem as organizações micromorfológicas (*fabric*) e tipos de inclusões identificados nas cerâmicas são apresentados na Figura 6. Dentre o conjunto de amostras analisadas, os fragmentos I e L se destacam no que se refere à proporção poros - matriz - inclusões. Os valores de abundância para inclusões alcançam 57 e 77% nessas amostras, respectivamente. De acordo com Quinn (2013), as inclusões tendem a ocupar menos de 40% dos materiais cerâmicos, enquanto a matriz abrange mais de 50%. Trata-se, portanto, de uma anomalia não somente ao que se refere ao conjunto de fragmentos estudados, mas à composição de cerâmicas do tipo terracota de uma forma geral.



**Figura 6:** Abundância dos elementos que compõe as organizações micromorfológicas (*fabric*) e tipos de inclusões identificados nos fragmentos cerâmicos estudados.

Uma análise geral entre os elementos e suas organizações, nos quais estão contidas as inclusões identificadas, permitiram a classificação de 4 grupos de pastas cerâmicas. Três amostras - D, N e O - não apresentaram nenhum elemento ou indicador de pertencimento a esses grupos (Figura 6).

O Grupo 1 - amostras A, B e C (Figura 6 e Figuras 7A, 7B e 7C) - é composto por fragmentos de cerâmicas com inclusões de cariapé em avançado estágio de calcinação. Enquanto A e C apresentam cores associadas a uma atmosfera de queima reduzida, o fragmento B provavelmente foi submetido a queima do tipo oxidante. Embora a amostra D (Figura 7D) apresente cariapé em sua composição, observa-se um menor grau de calcinação dessa inclusão quando comparada às

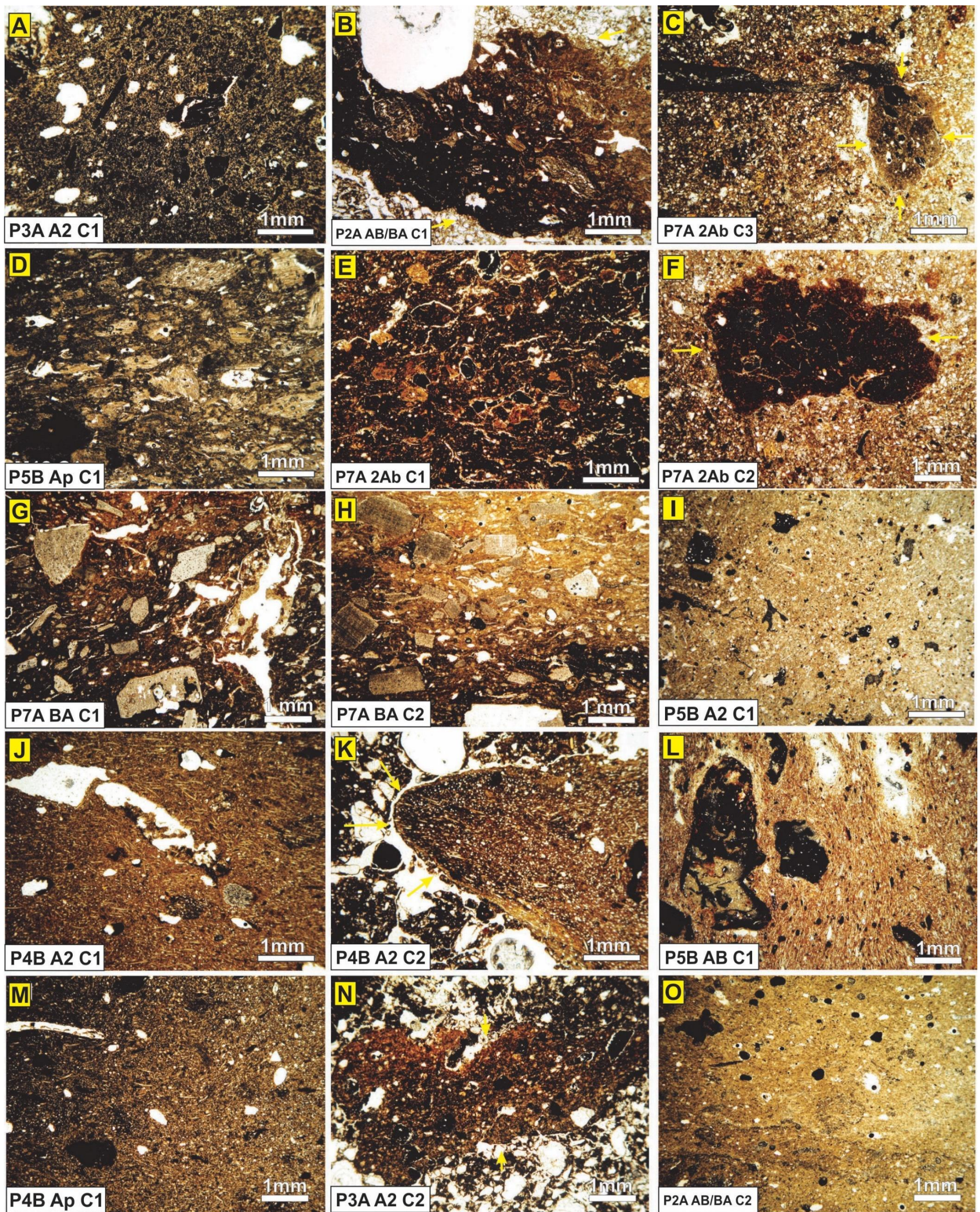
demais amostras. Além disso, nota-se uma relativa orientação das inclusões e dos poros de secagem. Tal orientação não é encontrada nas amostras A, B e C, o que indica uma outra *chaîne opératoire* associada à D.

O Grupo 2 (Figura 6) é formado pelas amostras E e F. Tais fragmentos apresentam de forma significativa *pellets* de argila com a mesma natureza da matriz em sua composição; poros do tipo halos de expansão/contração em torno desses pellets, o que indica que provavelmente eles foram inseridos com uma relativa plasticidade em meio à matriz (Quinn, 2013); e poros de secagem sem uma orientação preferencial (Figura 7E e 7F).

As amostras G e H (Figura 7G e 7H) compõem o Grupo 3 (Figura 6) e apresentam fragmentos angulares de rocha metapelítica imersos na matriz. Ambos os fragmentos apresentam poros de secagem. Porém, a amostra H apresenta tais poros orientados diagonalmente pelo método de formação, enquanto a amostra G não exibe uma orientação preferencial para seus poros de secagem e apresenta poros herdados dos grumos mal misturados durante o processo de cunhagem da pasta cerâmica.

Os fragmentos I, J, K, L e M (Figuras 7I a 7M) compõem o Grupo 4 (Figura 6). Todos apresentam o Cauixí e agregados de argila rubificados em sua composição, em diferentes proporções. Enquadram-se nesse grupo as amostras I e L, cuja abundância das inclusões se destacam em relação ao conjunto analisado. Possivelmente, tratam-se de peças cuja maior inclusão de partículas grosseiras está associada a uma função utilitária diferente das demais inseridas nesse grupo. Há uma multiplicidade de poros e orientações nas tramas birrefringentes dessas peças, evidenciando um domínio de técnicas de confecção variadas para uma mesma matéria prima.

A amostra N (Figura 6 e Figura 7N) apresenta inclusões de cor escura não identificadas, possivelmente matéria orgânica. Seu *fabric* não apresenta relação com os demais fragmentos. A amostra O (Figura 6 e Figura 7O) é a única cujas inclusões são unimodais, essencialmente quartzosas. As manchas pretas presentes na fotomicrografia são constituídas de pó abrasivo utilizado durante o processo de confecção da lâmina.



**Figura 7:** Fotomicrografias representativas do *fabric* para os fragmentos cerâmicos em nove distintos horizontes. As setas amarelas indicam o limite entre o fragmento cerâmico e o solo.

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo reiteram os aspectos micromorfológicos apresentados por trabalhos que o precederam (Lima et al., 2002; Ruivo et al., 2003; Schaefer et al., 2004; Souza, 2011; Arroyo Kalim, 2017; Macedo et al., 2017). Ainda que as microestruturas possam refletir em parte arranjos típicos dos constituintes naturais dos solos, elas são, majoritariamente, produto dos processos que se seguem ao incremento de materiais pelas atividades antrópicas. O contraste micromorfológico entre os horizontes antrópicos e não antrópicos, expresso de maneira clara nas zonas de transição, é rompido apenas pela bioturbação, que contribui não só para ampliar o efeito da interferência antrópica, mas também para conduzir a novas organizações a partir dessas. Um conjunto de indicadores micromorfológicos relativo à gênese e evolução destes solos é apresentado a seguir. Esses indicadores foram organizados a partir das categorias i) microestruturas e porosidade, ii) fundo matricial e iii) pedofeições e serão discutidos comparando os solos do alto e Médio Curso.

A microestrutura típica dos horizontes antrópicos em todos os perfis estudados são os agregados granulares, cuja coalescência na forma de blocos e cor escura dificulta a sua visualização. Com uma origem associada à atividade biológica (Benayas e Pinto Ricardo, 1973; Verheye e Stoops, 1975; Garnier-Sillan et al., 1985; Eschenbrenner, 1986; Trapnell e Webster, 1986; Kooyman e Onk, 1987; Stoops, 1991; Jungerius et al., 1999; Nunes et al., 2000; Schaefer, 2001; Schaefer et al., 2004; Reatto et al., 2009), esses agregados apresentam diminutos fragmentos de carvão, minerais opacos e quartzo no seu interior, embebidos por uma micromassa fortemente afetada pela matéria orgânica. Esse fundo matricial é preexistente aos microagregados, pois também ocorre na forma de blocos subarredondados sem os grânulos internamente. O papel da atividade biológica está, neste caso, associado ao rearranjo dos constituintes, sendo indicado pela transição da trama porfírica para quito-enáulica. A porosidade acompanha essa transformação, sobretudo pela abertura dos sistemas planares para os de empacotamento, tanto composto quanto complexo. A coalescência dos grânulos, gerando uma segunda hierarquia de *peds*, pode estar associada ao efeito aglutinador da matéria orgânica, já amplamente debatido na literatura (Stolt e Lindbo, 2010).

Os indicadores relacionados ao fundo matricial se expressam pelos constituintes grossos e finos. De maneira muito íntima, a composição química e mineralógica da micromassa possui forte relação com os constituintes grossos. Os materiais acrescidos pelo uso destes solos, de natureza animal e vegetal, associados às técnicas empregadas, como o fogo, e a maneira como evoluíram pedogeneticamente explicam a atual composição do fundo matricial dos horizontes antrópicos. Dos constituintes grossos, os fragmentos de carvão, ossos e cerâmicas destacam-se como materiais antropogênicos, ao passo que os grãos de quartzo, e em alguns poucos perfis cristais de feldspatos e micas, representam a herança do material de natureza geológica.

A concentração de carvão nos horizontes antrópicos, seu elevado grau de fragmentação e associação com outros compostos resultantes do uso frequente do fogo, justificam o elevado escurecimento destes horizontes. Seu revolvimento pela atividade biológica contribui para a homogeneização deste horizonte, bem como seu transporte para níveis inferiores contribui para sua expansão. A presença do carvão evidencia que o fogo foi uma técnica importante na transformação destes solos (Neves et al., 2003; Cunha et al., 2010). Conforme Macedo et al. (2017), a proporção de micro-partículas de carvão no interior dos agregados está intimamente relacionada ao processo de melanização dos solos arqueológicos. A estabilidade da matéria orgânica também foi associada ao fato de que grande parte da fração húmica destes solos está associada à presença de *black carbon*, fortemente recalcitrante (Archanjo, et al., 2014).

Não foram reconhecidas distinções entre o conteúdo ou forma dos fragmentos de carvão entre os solos do alto e Médio Curso, mas apenas no interior dos perfis. De maneira sucinta, os fragmentos de carvão são menores nos horizontes mais escuros (Ap, A2, A3), cujas cores variam de preto, cinza muito escuro, marrom muito escuro a preto avermelhado ou amarelado (ex. 10YR 2/2; 10YR 4/2; 2,5YR 2,5/1). Consequentemente, os maiores fragmentos ocorrem em horizontes com cores mais avermelhadas a amareladas (ex. 10YR 6/8; 7,5YR 5/6; 7,5YR 3/2; 2,5YR 4/6; 2,5YR 4/4), principalmente horizontes de transição e subsuperficiais não antropizados.

As apatitas biogênicas, expressas pelos fragmentos de ossos, representam a principal fonte de enriquecimento absoluto de P nos solos arqueológicos. Nos perfis do Médio Curso, situados em terra firme, os fragmentos são ausentes ou

ocorrem esparsamente e muito degradados, com feições de dissolução e fortemente impregnados por material orgânico. Apenas o perfil P4, situado numa condição de drenagem mais deficiente, apresentou maior concentração de fragmentos. No Alto Curso, sobretudo nos solos da várzea (P7B), a situação é contrária. Além de mais abundantes, os ossos são facilmente discerníveis. Quando comparados com os resultados da composição da micromassa nos mapas microquímicos, nos solos em que os fragmentos não são abundantes, há maior associação do fósforo com o alumínio, P-Al, embebido na forma de impregnações amorfas na matriz argilosa. Nos solos com maior presença de ossos, o fosforo está intimamente associado ao cálcio, P-Ca, justificando a presença das apatitas biogênicas. Essas observações corroboram com os resultados do fracionamento de P apresentados nos capítulos I e II deste trabalho.

A transformação P-Ca em P-Al e P-Fe já foi demonstrada em diversos ambientes (Myrcha e Tatur, 1991; Schaefer et al., 2010; Oliveira et al., 2014). Trata-se dos mecanismos pelos quais, sob condições ácidas, o fósforo deixa a forma biogênica e se associa ao ferro e alumínio, constituindo formas mais estáveis. Na Antártica, essa transformação e os minerais neoformados por ela são utilizados como indicadores do grau de fosfatização, estabelecendo se a interação do substrato com os ninhais de aves atual ou pretérita (Tatur e Myrcha, 1984; Myrcha et al., 1985; Tatur e Barczuk, 1985; Tatur, 1989; Myrcha e Tatur, 1991; Schaefer et al., 2004; Simas et al., 2007; Pereira et al., 2013). Os ambientes de terra firme, onde estão presentes a maioria dos perfis em que os ossos são escassos, são rotineiramente muito ácidos e muito intemperizados, o que impossibilita a permanência das apatitas biogênicas. Do contrário, as condições hidromórficas em que as várzeas se encontram, favorecem a manutenção de maiores valores de pH, preservando os ossos mesmo que esses solos sejam tão ou mais antigos que das terras firmes.

Através de datações pelo método radiocarbono, (Capítulo I e II), observaram que na área B, os solos mais jovens possuem idades entre 960 – 470 anos AP e os mais velhos entre 1990 - 1957 anos AP, estando todos em terra firme. Na área A, os solos de terra firme mais jovens possuem idades entre 1190 – 1410 anos AP e os mais velhos entre 2500 - 2870 anos AP. Na várzea, a idade dos solos está entre 920 e 1270 anos AP. Considerando a abundância, tamanho e grau de preservação dos fragmentos de ossos, solos do Médio Curso mais jovens são

semelhantes aos solos mais velhos. Da mesma maneira, solos mais velhos da várzea no Alto Curso apresentam ossos mais preservados que os solos mais jovens do próprio Alto Curso e do Médio Curso. Isso demonstra claramente que, a despeito da idade e do grau de antropização, a posição na paisagem é fundamental para a evolução pedogenética dos solos antropogênicos.

A variedade (composicional e de cor) da micromassa e as relações entre elas também são indicadores micromorfológicos da gênese dos solos arqueológicos. Em primeiro lugar, a micromassa mm1 é representativa dos horizontes antrópicos e as demais (mm2 e mm3) dos horizontes não antropizados. Ainda que existam zonas de transição entre elas (horizontes AB e BA), uma está presente no domínio da outra, com significados distintos conforme os arranjos apresentados. Quando, nos horizontes antrópicos (A2 e A3), mm2 ou mm3 ocorrem no interior dos agregados blocos angulares e mm1 nas bordas, com distribuição relativa porfírica simples em ambas, o arranjo sugere uma relação genética, a partir da qual, por incremento de material orgânico e fragmentos de carvão, mm2 ou mm3 se transformam em mm1. De outra maneira, a existência de mm2 ou mm3 nos horizontes antrópicos na forma de preenchimentos densos completos e incompletos ou solto contínuo sugere transporte biológico dos horizontes subjacentes, seja por minhocas e/ou cupins. O mesmo ocorre no sentido inverso, onde a micromassa mm1 é observada preenchendo canais nos horizontes não antropizados. Assim, as distinções de cores podem significar tanto feições relictuais como produto da bioturbação. Esses arranjos não se diferenciam quando comparados os solos do alto e Médio Curso, mas apresentam intensidades distintas entre os solos situados na terra firme e várzea, sendo mais comuns nos primeiros.

A feição pedológica de maior destaque em todos os solos são os cutãs. Na descrição micromorfológica, eles foram separados em três tipos: crescentes, com microlaminação bem marcada, típicos (mais raros) e hipocutãs. No último caso, trata-se do revestimento na porção interna do agregado produzido pela impregnação no fundo matricial adjacente à superfície à qual estão associados (Castro, 2008). Dois aspectos relacionados aos cutãs se destacam como indicadores pedogenéticos: sua composição e distribuição nos perfis.

Em primeiro lugar, tanto as cores quanto a composição química sugerem que, além de argilominerais, os cutãs possuem coloides orgânicos em sua composição. A cor preta em feições de revestimento e preenchimento tem sido

comumente atribuída à dispersão de matéria orgânica fina (Kuhn et al., 2010), podendo estar relacionada a intervenções antropogênicas (Slager e Van de Wetering, 1977; Macphail, 1986). Conforme Castro (2008), alguns cutãs são ricos em matéria orgânica, podendo ser também chamados de orgãs, caso ocorra o predomínio de pigmentos orgânicos ou material orgânico amorfo, ou argilorgãs, com a mistura de argilominerais e materiais orgânicos.

Em segundo lugar, os hipocutãs ocorrem principalmente nas seções delgadas dos horizontes A3 e AB, ao passo que os cutãs crescentes e típicos ocorrem nos horizontes A3, AB, BA e Bt, inclusive no interior de fragmentos de carvão e cerâmica. Essa distribuição sugere que a desestabilização da argila tem ocorrido nos horizontes antropogênicos e que a iluviação tem revestido a superfície de poros e agregados nos horizontes subjacentes.

Conforme Macedo et al (2017), a iluviação é um processo pedogenético importante na gênese dos solos antropogênicos. Para os autores, a presença de radicais carboxílicos e de uma alta relação O/H nos ácidos húmicos, tal como reportado por Madari et al. (2010), introduz eletronegatividade aos horizontes antrópicos, gerando as condições para a desestabilização dos agregados e das argilas. Os altos valores de argila dispersa (ADA) nos horizontes antrópicos encontrados por esses autores reiteram o exposto (Macedo et al., 2017).

As relações micromorfológicas demonstram que há uma maior concentração de cutãs nos solos em que os fragmentos de ossos se encontram mais degradados. Comparativamente, os solos do Médio Curso possuem mais cutãs que os solos do Alto Curso. Essa relação sugere que a transformação de P-Ca em P-Al pode também estar relacionado à desestabilização das argilas. Tal como ocorre em áreas fosfatizadas da Antártica e ilhas oceânicas brasileiras, o processo de degradação das apatitas biogênicas se dá a partir de reações produtoras de acidez. O processo se inicia com a deposição dos fragmentos orgânicos pela atividade antropogênica, facilitando sua degradação pela natureza ácida dos solos. Como os solos são naturalmente ácidos, a decomposição desses fragmentos é facilitada. Essa decomposição leva à produção de ácidos, como nítrico, pela fauna microbiana, diminuindo o pH do meio e acelerando o intemperismo do substrato. Na medida em que o solo é acidificado, a dissolução dos fosfatos de cálcio se intensifica, e favorece ainda a precipitação de formas amorfas e cristalinas de P-Fe e P-Al (Myrcha e Tatur, 1991; Schaefer et al., 2010; Oliveira et al., 2014). Esse

processo pode levar à formação de material iluvial, já que as condições de boa percolação das terras firmes se mantêm e são intensificadas pela abertura de galerias pelo trabalho da fauna endopedônica. Em outras palavras, a antropogênese pode conduzir à argiluviação, formando o gradiente textural dos solos estudados.

Por fim, os nódulos orgânicos são feições micromorfológicas muito comuns nos horizontes antrópicos. Blazejewski et al. (2005) sugeriu que a formação dessas feições está ligada à transformação progressiva de raízes, a partir da qual haveria a decomposição do material fibroso até que esse assumisse a morfologia de nódulos orgânicos impregnativos. É provável que nos solos estudados, a degradação de fragmentos vegetais inseridos pelas atividades antrópicas e raízes desenvolvidas *in situ* explique a presença destes nódulos. Além disso, a bioturbação parece ter um papel importante na sua dispersão, considerando que são encontrados no interior de estruturas biológicas, como os microagregados, e nas feições de preenchimento solto contínuo. O papel da pedoturbação na origem e distribuição de nódulos orgânicos foi corroborado por Johnson et al., (1987).

Em se tratando dos fragmentos de cerâmica contidos no material grosso dos horizontes antrópicos, foi observada uma variedade de organizações micromorfológicas - muitas vezes coexistindo em uma mesma lâmina, mas pertencentes a diferentes grupos cerâmicos. Isso evidencia uma diversidade de pastas cerâmicas, reforçando uma lógica de intensa bioturbação típica das Terras Pretas (Arroyo Kalim, 2017). A atividade biológica reorganiza e redistribui os materiais cerâmicos dos depósitos arqueológicos não só durante o processo de formação do solo antrópico, mas também em relação a uma dinâmica presente.

## 5. CONCLUSÕES

O contraste micromorfológico nas Terras Pretas Arqueológicas pode ser observado nos horizontes transicionais, que demonstram haver o predomínio de microestruturas primárias do tipo granular e grumosa nos horizontes antrópicos, e em blocos nos horizontes subjacentes, neste caso, horizonte B textural. O fundo matricial mostra uma presença constante de quartzo, minerais opacos, fragmentos de carvão e cerâmica como materiais grossos, e de micromassas variadas, com destaque para uma micromassa escura, de natureza organo-mineral, nos horizontes superiores, e micromassas mais avermelhadas e amareladas nos horizontes não antropizados.

O conjunto de materiais adicionados pelas atividades antrópicas (restos vegetais, animais, cerâmica, etc) e a prática do fogo para diversas finalidades, são responsáveis pela atual composição e organização micromorfológica dos solos arqueológicos. Além da presença direta desses como constituintes do fundo matricial, com destaque para o carvão e cerâmicas, sua fragmentação, decomposição química e reação com os constituintes preexistentes (sedimentos e rochas areno-argilosas), explica os atuais atributos observados, como, por exemplo, cor e estruturas.

A bioturbação tem um papel fundamental na evolução dos solos arqueológicos e seus efeitos podem ser amplamente avaliados pela análise micromorfológica. Intensificada pela fertilização dos solos a partir das intervenções antrópicas, ela responde pela neoformação de estruturas, homogeneização de horizontes (mecanismos de pedoplasmação), e redistribuição de constituintes para níveis inferiores e superiores. A própria decomposição dos fragmentos vegetais e animais adicionados pode estar sendo influenciada, na medida em que a bioturbação interfere na aeração do solo, circulação de soluções e fragmentação de materiais, aumento sua reatividade.

Os solos do alto e Médio Cursos são micromorfológicamente semelhantes, sugerindo padrões similares de ocupação em ambos os setores da bacia. Existe uma diferença importante entre os solos situados nas posições de várzea e terra firme, indicando que o ambiente ocupado, as condições de drenagem e de intemperismo são tão relevantes quanto o tempo e grau de ocupação. Os solos situados na terra firme encontraram condições de maior intemperismo e, por isso,

podem ser considerados pedogeneticamente mais evoluídos. Nas várzeas, as condições hidromórficas preservaram grande parte dos constituintes inicialmente adicionados, conduzindo a uma organização micromorfológica mais próxima daquela relacionada aos estágios iniciais das intervenções antrópicas. Pelo exposto, a micromorfologia reitera o caráter poligenético das Terras Pretas Arqueológicas, em que processos pedogenéticos diversificados, atuando sob condições ambientais igualmente ricas, dão origem a um dos mais interessantes e notórios solos do planeta.

Em cada microestrutura, cada agregado, cada pedofeição, cada grupo de cerâmico estão condensados diferentes lógicas de apropriação de matéria prima e distintos modos de se fazer dos povos pré-históricos amazônicos. O estudo micromorfológico aqui empreendido representa, portanto, uma contribuição importante para a reconstrução de parte da pré-história amazônica.

## 6. REFERÊNCIAS

- ARCHANJO, B.S.; ARAUJO, J.R.; SILVA, A.M.; CAPAZ, R.B.; FALCAO, N.P.S.; JORIO, A. 2014. Chemical analysis and molecular models for calcium-oxygen-carbon interactions in black carbon found in fertile Amazonian anthrosoils. *Environ Sci Technol*, 48, 7445–7452.
- ARROYO-KALIN, Manuel. Amazonian Dark Earths. In: NICOSIA, Cristiano; STOOPS, George. (Ed.). *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, 2017. Cap. 33. p. 345-358.
- BEAUVAIS, A. 2009. Ferricrete biochemical degradation on the rainforest savannas boundary of Central African Republic. *Geoderma*, 150, 379-388.
- BENAYAS, J.; PINTO RICARDO, R. 1973. Aspectos micromorfológicos de solos de uma topossequência ocorrendo em zona tropical húmida (Superfície da Quibala - Angola). *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 34,181–203.
- BLAZEJEWSKI, G.A., STOLT, M.H., GOLD, A.J. & GROFFMAN, P.M., 2005. Macro- and micromorphology of subsurface carbon in riparian zone soils. *Soil Science Society of America Journal* 69, 1320–1329.
- BRAEKMANS, D.; DEGRYSE, P. 2017. Petrography: Optical Microscopy. In: HUNT, Alice M. W (Ed.). *The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis*. Oxford: Oxford University Press, p. 233-265.
- BREWER, R. 1964. *Fabric and Mineral Analysis of Soils*. John Wiley and Sons, New York, 470 p.
- BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification (Monograph 5)*. Min. Soc., London, 495 p.

- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. TURSINA, T. 1985. Handbook for Soil Thin Section Description. Wolverhampton: Waine Research Publications, 152 p.
- CASTRO, S.S. 2008. Micromorfologia de Solos: bases para descrição de lâminas delgadas. 2ª ed. Goiânia/Campinas: UFG-IESA, UNICAMP-IG-DGEO, 143 p.
- CHAUVEL, A.; BOCQUIER, G.; PÉDRO, G. 1978, La stabilité et la transformation de la microstructure des sols rouges ferrallitiques de Casamance (Sénégal). analyse microscopique et données experimentales. In.: DELGADO, M. (ed.). Soil Micromorphology. Spain: University of Granada, p. 779–813.
- CHEN, P.Y. 1977. Table of key-lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clay and associated rocks, Department of Natural Resources. Bloomington (Geological survey occasional paper, 21).
- COSTA, M. L.; KERN, D. C.; PINTOI, A. H. E.; SOUZA, J. R. T. 2004. The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from lower Amazon region, Brazil: Mineralogy. Acta Amazonica, v. 34, n. 2, p. 165- 178.
- CUNHA, P.R.C.; MELO, J.H.G.; SILVA, O.B. 2007. Bacia do Amazonas. Bol. Geoc. Petrobras, 8(1), 227-251.
- CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; MARTIN-NETO, L.; SANTOS, G.A. 2010. O carvão pirogênico. In.: Teixeira WG, Kern DC, Madari BE, Lima HN, Woods WI, editors. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 264–297.
- EMBRAPA, 2011. Manual de Métodos de Análise de Solo. EMBRAPA, Solos, Rio de Janeiro (Documento 132), 230 p.
- EMBRAPA, 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA, Solos, Brasília, 353 p.

- ESCHENBRENNER, V. 1986. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, 22, 397–408.
- ESWARAN, H.; DAUD, N. 1980. A scanning electron microscopy evaluation of the fabric and mineralogy of some soils from Malaysia. Soil Science Society of America Journal, 44, 855–861.
- FILIZOLA, H.F.; GOMES, M.A. 2004. Coleta e impregnação de solos para análise micromorfológica. Comunicado Técnico EMBRAPA, 20, 4 p.
- GARNIER-SILLAN, E.; VILLEMIN, G.; TOUTAIN, F.; RENOUX, J. 1985. Formation de micro-agrégats oragno-minéraux dans lês feces de termites. Comptes Rendus de l'Académie des Science, 301, 213–218.
- GOLDBERG, P.; MACPHAIL, R. 2006. Practical and Theoretical Geoarchaeology. Malden: Blackwell Publishing, 454 p.
- HILLEL, Daniel et al (Ed.). 2004. Encyclopedia of Soils in the Environment. [S.L]: Academic Press, 548 p.
- JOHNSON, D.L.; WATSON-STEGNER, D.; JOHNSON, D.N.; SCHAETZL, R.J., 1987. Proisotropic and proanisotropic processes of pedoturbation. Soil Science, 143, 278–292.
- JUNGERIUS, A.; VAN DEN ANCKER, J. A. M.; MUCHER, H. J. 1999. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. Catena, 34, 349–363.
- KERN, D.C. Geoquímica e pedoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará). 1996. 124 p. Tese (Doutorado em Petrologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, 1996.
- KERN, D.C., KÄMPF, N., 1989. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná, Pará. R. Bras.

Ciênc. do Solo 3, 219–225.

KERN, D.C., KÄMPF, N., WOODS, W.I., DENEVAN, W.M., COSTA, M.L. DA, FRAZÃO, F.J.L., SOMBROEK, W. 2009. Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio, in: TEIXEIRA, W.G., KERN, D.C., MADARI, B.E., LIMA, H.N., WOODS, W. (Eds.), *As Terras Pretas de Índio Da Amazônia: Sua Caracterização E Uso Deste Conhecimento Na Criação de Novas Áreas*. Embrapa, Amazônia, Ocidental., Manaus, 72–81.

KOOYMAN, C.; ONK, R. F. M. 1987. Distribution of termite (Isoptera) species in southwestern Kenya in relation to land use and themorphology of their galleries. *Biology and Fertility of Soils*, 3, 69–73.

KÜHN, P.; AGUILAR, J.; MIEDEMA, R. 2010. Textural pedofeatures and related horizons. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Elsevier, 217-250.

LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; LIMA, M.N. 2006. Mineralogia e Química de Três Solos de Uma Toposseqüência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Rev. Brasiliense Ciência do Solo* 30, 59–68.

LIMA, H.N., SCHAEFER, C.E.R., MELLO, J.W.V., GILKES, R.J., KER, J.C., 2002. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “ Terra Preta Anthrosols ” (“ Indian black earth ”) of Western Amazonia. *Geoderma*, 110, 1–17.

MACEDO, R.S.; TEIXEIRA, W.G.; CORRÊA, M.M.; MARTINS, G.C.; VIDAL-TORRADO, P. 2017. Pedogenetic processes in anthrosols with pretic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. *PLOS ONE*, 23, 1-19.

MACPHAIL, R., 1986. Paleosols in archaeology: their role in understanding Flandrian pedogenesis. In.: WRIGHT, V.P. (ed.), *Paleosols: Their Recognition and Interpretation*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 263–290.

- MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; NETO, L.M.; BENITES, V.M. 2010. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In.: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W.I. (Eds.). As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 172–188.
- MYRCHA, A., PIETR, S.J., TATUR, A. 1985. The role of Pygoscelid penguin rookeries in nutrient cycles at Admiralty Bay, King George Island. In: SIEGFRIED, W.R., CONDY, P.R., LAWS, R.M. (Eds.), Antarctic nutrient cycles and food webs. Springer-Verlag, Berlin, p. 156-163.
- MYRCHA, A., TATUR, A. 1991. Ecological role of the current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. Polish Polar Research, 12, 1, 3-24.
- NAHON, D. B. 1991. Introduction to the petrology of soils and chemical weathering. New York: John Wiley and Sons, 313 p.
- NEVES, E.G.; PETERSEN, J.B.; BARTONE, R.N.; SILVA, C.A. 2003. Historical and socio-cultural origins of amazonian dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds). Amazonian dark earths: origin, properties, management. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 29–50.
- NUNES, W. A. G. A., SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES FILHO, E. I. 2000. Caracterização micropedológica de alguns solos da Zona da Mata Mineira. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24, 103–115.
- OLIVEIRA, F. S., SCHAEFER, C. E. G. R., ABRAHÃO, W. A. P., CLEMENTE, E. P., SIMAS, F. N. B. 2014. Soil-geomorphology interactions and paleoclimatic implications of an ornithogenic soil toposequence on Rata Island, Fernando de

Noronha Archipelago, South Atlantic. *Journal of South American Earth Sciences*, 52, 119-128.

PEREIRA, T. T. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; ALMEIDA, C. C.; ALMEIDA, I. C. C. 2013. Micromorphological and microchemical indicators of pedogenesis in ornithogenic cryosols (gelisols) of Hope Bay, Antarctic Peninsula. *Geoderma*, 193-194, 311-322.

QUINN, P. S. 2013. *Ceramic Petrography: The Interpretation of Archaeological Pottery & Related Artefacts in Thin Section*. Oxford: Archaeopress, 253 p.

RADAM, 1977. Projeto RADAMBRASIL: levantamento de recursos naturais. Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro, v14. (Folha SA.19-Içá), 446 p.

REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E. M.; GUÉGAN, R.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; MARTINS, E. S. 2009. Shrinkage of microaggregates in Brazilian Latosols during drying: significance of the clay content, mineralogy and hydric stress history. *European Journal of Soil Science*, 60, 6, 1106–1116.

RICE, P. M. 2005. *Pottery Analysis: a sourcebook*. Chicago: The University of Chicago Press, 487 p.

RUIVO, M.L.P.; ARROYO-KALIN, M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTI, H.T.; ARCANJO, S.H.S., LIMA, H.N. 2003. The use of micromorphology for the study of the formation and soil properties of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds). *Amazonian dark earths: origin, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 243–254.

SANTOS, R.D., LEMOS, R.C., SANTOS, H.G., KER, J.C., ANJOS, L.H.C., SHIMIZU, S.H., 2015. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*, 6 ed. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa. 68 p.

- SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; GILKES, R.J.; MELLO, J.W.V. 2004. Micromorphology and electron microprobe analysis of phosphorus and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) Anthrosol from Western Amazonia. *Aust J Soil Res.*, 42, 401–409.
- SCHAEFER, C. E. G. R. 2001. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 909–926.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE, M. A.; SOUZA, E.; DELPUPO, K. K. 2010. Fosfatização de solos e evolução da paisagem no arquipélago de Abrolhos, BA. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 63, 4, 727-734.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; GILKES, R. J.; FERNANDES, R. B. A. 2004. EDS/SEM study of microaggregates of Brazilian Latosols in relation to P adsorption and clay fraction attributes. *Geoderma*, 123, 69–81.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; VALE JUNIOR, J.F.; MELLO, J.W.V. 2000. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. *B. Museu Paraense Emílio Goeldi, Ser. Ci. Terra*, 12, 63–104.
- SCHAEFER, C.E.G.R., SIMAS, F.N.B., ALBUQUERQUE-FILHO, M.R., MICHEL, R.F.M., VIANA, J.H.M., TATUR, A. 2004. Fosfatização: processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, R., SIMAS, F.N.B., ALBUQUERQUE FILHO, R. (eds.), *Ecosistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima, Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. NEPUT e Departamento de Solos, Viçosa, p.47-59.
- SIMAS, F. N. B., SCHAEFER, C. E. G. R., MELO, V. F., ALBUQUERQUE-FILHO, M. R., MICHEL, R. F. M., PEREIRA, V. V., GOMES, M. R. M., COSTA, L. M. 2007. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: phosphatization as a soil forming process. *Geoderma*, 138, 191-203.

- SLAGER, S.; VAN DE WETERING, H.T.J. 1977. Soil formation in archaeological pits and adjacent soils in southern Germany. *Journal of Archaeological Science*, 4, 259–267.
- SMITH, N.J.H. 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 70, 553–566.
- SOMBROEK, W., RUIVO, M.L., FEANSIDE, P.M., GLASER, B., LEHMANN, J., 2003. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds). *Amazonian dark earths: origin, properties, management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 125–139.
- SOUZA, K.W. 2011. Gênese, mineralogia, micromorfologia e formas de fósforo em Arqueo-antropossolos da várzea do Rio Amazonas. Doctoral dissertation, Universidade de Viçosa. 2011.
- STOLT, M.; LINDBO, D.L. Soil Organic Matter. In.: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam, 2010. p.369–396.
- STOOPS, G. 2003. Guidelines for the analysis and description of soil and regolith thin sections. Madison: SSSA, 184 p.
- STOOPS, G. 1991. The influence of the fauna on soil formation in the tropics. Micropedological aspects. *Bulletin des Séances de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer*, 36, 461–469.
- TARDY, Y. 1993. *Pédrologie des latérites et des sols tropicaux*. Paris: Masson, 535 p.
- TATUR A., MYRCHA A. 1984. Ornithogenic soils on King George Island (Maritime Antarctic Zone). *Polish Polar Research*, 5, 31-60.

- TATUR, A. 1989. Ornithogenic soils of the Maritime Antarctic. *Polish Polar Research*, 4, 481–532.
- TATUR, A., BARCZUK, A. 1985. Ornithogenic phosphates on King George Island, Maritime Antarctic. In: SIEGFRIED, W.R., CONDY, P.R., LAWS, R.M. (Eds.), *Antarctic nutrient cycles and food webs*. Springer-Verlag, Berlin, p. 163-169.
- TRAPNELL, C. G.; WEBSTER, R. 1986. Microaggregates in red earths and related soils in East and Central Africa: their classification and occurrence. *Journal of Soil Science*, 37, 109–123.
- VERHEYE, W.; STOOPS, G. 1975. Nature and evolution of soils developed on the granite complex in the subhumid tropics (Ivory Coast). *Pedologie*, 25, 40–55.
- WANDERLEY FILHO J.R., EIRAS J.F., VAZ P.T. 2007. Bacia do Solimões. *Bol. Geoc. Petrobras*, 15, 2, 217-225.

## CONCLUSÃO GERAL

As TPAs do rio Autaz-Açú, mas afastadas da Várzea do rio Solimões/Amazonas possuem natureza química inferior às TPAs, do rio Solimões/Amazonas. Contudo, ocorrem fragmentos de carvão pirogênico, abundantes fragmentos de cerâmicas, valores mais elevados de P disponível,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Mn, Zn e MO, como em todas as TPAs já estudadas. São mais recentes que as TPAs do Alto rio Madeira, indicando ser um caminho de povoamento do Médio e Baixo rio Madeira, transitado pela sub-bacia do rio Autaz-Açú, pelo descimento pelo rio Madeira até a foz do rio Amazonas.

As TPAs do rio Solimões/Amazonas são mais ricas quimicamente que as TPAs dos Afluentes, o que evidencia que os povos indígenas que habitaram as Várzeas do rio Solimões/Amazonas desfrutaram de maior acesso à recursos naturais das Várzeas ricas, o que favoreceu a sedentarização (permanência), e em conjunto veio a evolução das culturas complexas, absorvendo a expansão populacional que favoreceu a retroalimentação no sistema de formação das TPAs.

A ocorrência de formas de P-Ca em conjunto aos fragmentos de ossos comprovados pela análise microquímica, confirma que apatita biogênica é a fonte primária de P em todas as TPAs estudadas, semelhante as pesquisas já desenvolvidas.

Em todas as TPAs estudadas a composição mineralógica dos horizontes antrópico e não antrópico é semelhante, o que evidencia a mesma natureza pedológica. A posição topográfica das TPAs no Alto Solimões em terra firme, contribui com o avanço do intemperismo.

O Alto Solimões tem Terras Pretas Arqueológicas no Igapó Estacional com elevação de aterros (mounds), com idade de 950 anos AP, em Várzea com riqueza química muito elevada, e em Terra Firme, com idades muito antigas (2500 a 2870) anos AP, que revelam uma ocupação inicial dos ambientes de Terra Firme, por um período aproximado de 1590 anos, e da expansão da ocupação na Várzea, indicando que o modelo de ocupação de Várzea não foi diferente ao longo do sistema Amazonas-Solimões. O sistema pedológico é bem evoluído nas TPAs de Terra Firme, e relativamente pouco transformado nas TPAs de Várzea, pela natureza aluvionar da última e pela ausência de cultivo.