



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CONTRASTES QUÍMICOS, MINERALÓGICOS E DE FERTILIDADE  
ENTRE SOLOS TIPO TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA: SÍTIO DA  
MATA, NO LIMITE ORIENTAL DA AMAZÔNIA, E SÍTIO PORTO DE  
SANTARÉM, NO BAIXO AMAZONAS**

**Dissertação apresentada por:**

**UIBIRÁ SENA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)**

**Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Dirse Clara Kern (MPEG)**

---

**BELÉM  
2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

S586c Silva, Uibirá Sena

Contrastes químicos, mineralógicos e de fertilidade entre solos tipo terra preta arqueológica: sítio da Mata, no limite Oriental da Amazônia, e sítio Porto de Santarém, no Baixo Amazonas / Uibirá Sena Silva; Orientador: Marcondes Lima da Costa; Coorientadora: Dirse Clara Kern– 2012

xv, 60 f.: il.

Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2012.

1.Cerâmica. 2.Terra Preta Arqueológica. 3. Fragmentos Cerâmicos. 4. Mineralogia. 5. Fertilidade. 6. Fracionamento de Fósforo. I. Costa, Marcondes Lima da, *orient.* II.Kern, Dirse Clara, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22º ed.:738.098115

---



**Universidade Federal Do Pará**  
**Instituto De Geociências**  
**Programa De Pós Graduação Em Geologia E Geoquímica**

**CONTRASTES QUÍMICOS, MINERALÓGICOS E DE  
FERTILIDADE ENTRE SOLOS TIPO TERRA PRETA  
ARQUEOLÓGICA: SÍTIO DA MATA, NO LIMITE  
ORIENTAL DA AMAZÔNIA, E SÍTIO PORTO DE  
SANTARÉM, NO BAIXO AMAZONAS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**  
**UIBIRÁ SENA SILVA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

**Data de aprovação: 18 / 06 / 2012**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Marcondes Lima da Costa**  
**(Orientador – UFPA)**

**Prof. Renato Kipnis**  
**(Membro – Scientia Consultoria)**

**Prof.ª Vanda Porpino Lemos**  
**(Membro – UFPA)**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Marcondes Lima da Costa, pela oportunidade concedida e pela orientação no decorrer desta pesquisa;

À minha co-orientadora, Dra. Dirse Clara Kern, por todo apoio e ajuda, tanto material quanto intelectual, na realização deste trabalho;

À minha família, por todo o incentivo, paciência e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho;

Ao CNPq, pela bolsa de estudo concedida;

Ao Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada da UFPA, sob coordenação do Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, que proporcionou todas as condições para a realização deste trabalho;

Ao M. Sc. Henrique Diniz, pela companhia e pelas conversas em diversos momentos, que muito ajudaram nesta pesquisa;

Aos colegas da UFPA por todo o auxílio na execução desta pesquisa, seja na parte teórica, seja nos trabalhos laboratoriais, ou mesmo nos momentos de descontração;

Aos pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, Dr. José Francisco Berrêdo, Dra. Jucilene Amorim Costa, M. Sc. Francisco Juvenal Lima Frazão (*in memoriam*), sempre solícitos, e que muito contribuíram no desenvolvimento desta pesquisa;

Por fim, aos colegas de Laboratório do Museu Paraense Emílio Goeldi, Michelle, José Renato, Antônio, Daniel e tantos outros que contribuíram de qualquer forma para o desenvolvimento deste trabalho;

## RESUMO

Sítios TPA são comuns na região amazônica. Destacam-se pelo grande conteúdo de fragmentos de vasilhas cerâmicas, urnas funerárias e artefatos líticos. Como solos, se apresentam com elevada fertilidade em relação aos solos circunvizinhos. A origem dos solos tipo TPA é relacionada às atividades cotidianas de populações pré-históricas que viveram em assentamentos antigos por longos períodos nos últimos milhares de anos na Amazônia. Pesquisas recentes mostram que os fragmentos cerâmicos destes sítios apresentam fertilidade tão alta ou superior à do próprio solo que os envolve, podendo se constituir em uma potencial fonte de nutrientes para estes solos. O presente trabalho investigou os solos e os fragmentos cerâmicos de dois sítios TPA localizados em regiões distintas da Amazônia: o Sítio da Mata, localizado na região metropolitana de São Luís do Maranhão, área de transição floresta-savana; e o Sítio Porto de Santarém, localizado na foz do rio Tapajós, área originalmente de floresta, mas atualmente urbanizada. A pesquisa objetivou caracterizar e diferenciar o material dos dois sítios, buscando relacioná-los aos diferentes contextos geomorfológicos nos quais estão inseridos. No Sítio da Mata foram coletadas amostras no perfil de TPA e de solo adjacente, e no Sítio Porto de Santarém apenas no perfil de TPA. As amostras compreendem tanto a matriz solo como fragmentos cerâmicos. Esse material foi submetido a análises granulométricas (apenas amostras de solo), análises mineralógicas por Difração de Raios-X (DRX), química total por ICP-MS/OES, e análise dos parâmetros de fertilidade. Foram também quantificadas as espécies de fósforo (apatítico, Fe-Al e orgânico) presentes nos solos e nos fragmentos cerâmicos. Os solos TPA do Maranhão e de Santarém apresentam elevados conteúdos de fração areia, com textura variando de franco-siltosa a areia franca no Sítio da Mata e textura franco-arenosa em todo o perfil do Sítio Porto de Santarém. A composição mineralógica dos solos não apresentou diferenças significativas entre os sítios estudados: constituem-se basicamente de quartzo e caulinita como minerais principais, e anatásio e muscovita como minerais acessórios nos dois sítios. As análises químicas revelam solos dominados por  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , corroborando a mineralogia, tendo  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  em menores proporções.  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  estão em concentrações inferiores a 0,5%, porém, mais elevados na TPA do Porto de Santarém. Entre os elementos traço analisados, apenas V, Cu, Zn, Sr e Ba se destacam, da mesma forma mais elevados no Sítio Porto de Santarém. As concentrações e os padrões de distribuição dos elementos terras raras, quando normalizados aos condritos, são semelhantes nos dois sítios, com enriquecimento dos ETRL e forte anomalia positiva de Ce, e negativa de Eu. As diferenças apenas nos conteúdos de P

disponível,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , mesmo que em valores relativamente baixos, sugerem influência antrópica diferenciada sobre os solos pré-TPA. Os solos TPA do Sítio Porto de Santarém apresentam fertilidade mais elevada, dada pelos maiores teores de P disponível, variando de 72,9 a 305,7  $\text{mg Kg}^{-1}$ , e  $\text{Ca}^{2+}$ , variando de 3,52 a 5,16  $\text{mg Kg}^{-1}$ , contra 5,4 a 12,7  $\text{mg Kg}^{-1}$  de P e 0,96 a 2,31  $\text{mg Kg}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  no Sítio da Mata. CTC, soma e saturação por bases e teor de matéria orgânica também são superiores na TPA do Sítio Porto de Santarém. Os fragmentos cerâmicos dos dois sítios são constituídos por quartzo e metacaulinita, além de illita e anatásio. Albita e microclínio foram identificados somente nos FC do Sítio Porto de Santarém. São, desta forma, formados principalmente por  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  em menores proporções. Em Santarém, entretanto, os fragmentos contêm ainda teores elevados de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , de 3,49 a 5,37%, e os valores de CaO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Cu, Zn, Sr e Ba suplantam aqueles do Sítio da Mata. As concentrações e os padrões de distribuição dos ETR são semelhantes nos FC dos dois sítios, com enriquecimento de ETRL, anomalia positiva de Ce e anomalias negativas de Eu e Ho. Portanto os fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém são mineralogicamente distintos daqueles do Sítio da Mata, embora estejam em uma matriz de solo idêntica nos dois sítios. A presença de fósforo é compatível com os demais fragmentos encontrados em outros sítios TPA na Amazônia. A fertilidade dos FC do Sítio Porto de Santarém apresentou melhores parâmetros, com pH levemente superior aos dos FC do Sítio da Mata, maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e principalmente de P disponível, além de maiores CTC e soma e saturação por bases, corroborando a fertilidade mais elevada no Sítio Porto de Santarém. O fracionamento de fósforo revelou que na matriz dos solos das TPAs estudadas o fósforo está ligado principalmente a compostos orgânicos, enquanto nos fragmentos cerâmicos aparece principalmente como inorgânico não apatítico. Fosfato apatítico aparece em pequenas concentrações na matriz dos solos e nos fragmentos cerâmicos dos dois sítios. É provável, portanto, que o fósforo que estava presente em materiais orgânicos descartados pelos povos antigos, como ossos diversos, entre outros materiais, ao serem submetidos à pedogênese tropical, foram gradualmente dissolvidos, liberando o fósforo, que foi parcialmente fixado como fosfatos de Fe e/ou Al, fases minerais comuns em solos tropicais, bem como na matéria orgânica, abundante nas TPAs, representando as frações de fósforo inorgânico não apatítico e de fósforo orgânico respectivamente.

**Palavras-chave:** Cerâmica. Terra Preta Arqueológica. Fragmentos Cerâmicos. Mineralogia. Fertilidade. Fracionamento de Fósforo.

## ABSTRACT

Dark Earth sites are usually found in Amazonian Region. They stand out for their great content of ceramic fragments, urns, and lithic artifacts. Their soils present higher fertility if compared with the neighboring soils. Amazonian Dark Earths origins are related to pre-historic human activity of people who lived in ancient settlements in Amazonian Region for long periods of time. Recent researches reveal that the ceramic fragments from those sites present fertility as high as the soils, and even higher; and for that reason, when the ceramics fragments are exposed to weathering conditions, they could constitute in a potential source of nutrients for the soils that surround them. This study investigated the properties of soils and ceramic fragments from two ABE sites in distinct regions within the Amazon: Sítio da Mata, in São Luís City, Estate of Maranhão, region of forest-savanna transition; and Sítio Porto de Santarém, at the Tapajós River's outfall, a former rain forest area that is currently intensively urbanized. This research aimed to characterize and compare the material from both sites, and correlate them to de different geomorphologic contexts in which they're inserted. In the Sítio da Mata was sampled material from the ABE soil profile and from adjacent soil profile, and in Sítio Porto de Santarém, was sampled material only in the ABE soil profile. The samples comprised both soil and ceramic fragments matrices. The material was subjected to particle size analysis (soil samples only), X-Ray Diffraction (XRD) analysis, total chemical analysis by ICP-MS/OES, and fertility parameters analysis. Phosphorus fractionation was also performed in aim to determine the phosphorus species (P-Ca, P-Fe-Al, and organic P) present in soils and ceramic fragments samples. This study investigated the properties of soils and ceramic fragments from two ABE sites in distinct regions within the Amazon: Sítio da Mata, in São Luís City, Estate of Maranhão, region of forest-savanna transition; and Sítio Porto de Santarém, at the Tapajós River's outfall, a former rain forest area that is currently intensively urbanized. This research aimed to characterize and compare the material from both sites, and correlate them to de different geomorphologic contexts in which they're inserted. In the Sítio da Mata was sampled material from the ABE soil profile and from adjacent soil profile, and in Sítio Porto de Santarém, was sampled material only in the ABE soil profile. The samples comprised both soil and ceramic fragments matrices. The material was submitted to particle size analysis (soil samples only), X-Ray Diffraction (XRD) analysis, total chemical analysis by ICP-MS/OES, and fertility parameters analysis. Phosphorus fractionation was also performed in aim to determine the phosphorus species (P-Ca, P-Fe-Al, and organic P) present

in soils and ceramic fragments samples. ABE from both sites showed high contents of the sand fraction, and soil texture varied from silty-loam to loam sand in Sítio da Mata and sandy-loam in the entire ABE profile in Sítio Porto de Santarém. Mineralogical composition in both soils showed no significant differences: they consist most of quartz and kaolinite as primary mineral phases, and anatase and muscovite as accessory mineral phases. Chemical analysis reveal that the soils are composed most for  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , confirming the mineralogical results, and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$  in minor quantities.  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{MgO}$  are present in amounts below 0,5%, however, they show higher values in the soils from Sítio Porto de Santarém if compared to Sítio da Mata. Among the trace elements analyzed, only V, Cu, Zn, Sr and Ba stand out, and also show higher values in Sítio Porto de Santarém's soils. Amounts and distribution patterns for Rare Earth Elements (REE), when normalized by condrits, are similar in both sites, showing enrichment of Light REE, strong positive anomaly for Ce, and negative anomaly for Eu. Differences only in the available P,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  contents, although in relatively low values, suggest different anthropic influence over the pre-ABE soils. ABE soils from Sítio Porto de Santarém show higher fertility given for the higher contents of available P, ranging from 72,9 to 305,7  $\text{mg Kg}^{-1}$ , and  $\text{Ca}^{2+}$ , ranging from 3,52 to 5,16  $\text{mg Kg}^{-1}$ , compared to 5,4 to 12,7  $\text{mg Kg}^{-1}$  of P content and 0,96 to 2,31  $\text{mg Kg}^{-1}$  of  $\text{Ca}^{2+}$  content in Sítio da Mata's soils. Cation Exchange Capacity (CEC), sum of bases, base saturation and soil organic matter (SOM) were also higher in ABE from Sítio Porto de Santarém. Ceramic fragments from both sites are composed by quartz and metakaolinite, and also illite and anatase. Albite and microcline were detected only in ceramic fragments from Sítio Porto de Santarém. Therefore, they are composed mainly by  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and in smaller amounts, by  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{TiO}_2$ . At Santarém, however, ceramic fragments contain also high amounts of  $\text{P}_2\text{O}_5$ , ranging from 3,49% to 5,37%, and the values for  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Cu, Zn, Sr and Ba exceed those from Sítio da Mata. The contents and distribution pattern for REE are similar in ceramic fragments from both sites, with enrichment of LREE, positive anomaly for Ce and negative anomalies for Eu and Ho. Therefore, the ceramic fragments from both sites are mineralogically distinct, although they're immersed in a similar soil matrix. The presence of phosphorus is compatible with others ceramic fragments found in different ABE sites. The fertility of ceramic fragments from Sítio Porto de Santarém showed better rates, with slightly higher pH if compared to ceramic fragments from Sítio da Mata, higher amounts of available  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  and mainly available P, besides higher CEC, sum of bases and base saturation, corroborating the higher fertility of the soils from Sítio Porto de Santarém. Phosphorus fractionation shows that in soil matrix from the studied sites, phosphorus is

mainly related to organic compounds, while in ceramic fragments matrix, it is mainly related to nonapatite inorganic compounds. Apatite phosphorus is present in small amounts in both soil and ceramic fragments matrices. Therefore, it is likely that phosphorus present in organic material discarded by ancient people, as various kind of bones, among others, when submitted to tropical pedogenesis, were gradually dissolved, releasing phosphorus, which was partially fixed as Fe-Al phosphates, common mineral phases in tropical soils, as well as organic matter, abundant in ABE, respectively representing the nonapatite inorganic phosphorus and the organic phosphorus fractions.

**Keywords:** Ceramics. Amazonian Black Earth. Ceramic Fragments. Mineralogy. Fertility. Phosphorus Fractionation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização dos Sítios da Mata e Porto de Santarém .....	9
Figura 2 – Delimitação do Sítio da Mata, na Ilha de São Luís - MA .....	10
Figura 3 – Delimitação do Sítio Porto de Santarém e do Setor 4A .....	11
Figura 4 – Mapa de amostragem do Sítio da Mata.....	12
Figura 5 - Coleta de superfície ampliada (SA2) em forma de tabuleiro de Xadrez no Sítio da Mata - MA.....	13
Figura 6 - Perfis de solo no Sítio da Mata .....	13
Figura 7 – Mapa de amostragem do Sítio Porto de Santarém com indicações da área de coleta setorizada, área de escavação e perfis de amostragem .....	14
Figura 8 – Perfil de solo P2 do Setor 4A do Sítio Porto de Santarém.....	15
Figura 9 - Fluxograma das etapas de preparação das amostras para análises .....	16
Figura 10 – Analisador de Partículas por Difração a Laser Analysette MicroTec Plus – LaMiGA/UFPA .....	17
Figura 11 - Microscópio eletrônico de varredura modelo TM3000 Tabletop Microscope - LaMiGA/UFPA .....	18
Figura 12 – Fluxograma de procedimentos para extração de P <sub>tot</sub> .....	20
Figura 13 – Fluxograma de procedimentos para extração das frações de PINA e PA.....	20
Figura 14 - Distribuição granulométrica ao longo do perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata.....	22
Figura 15 - Distribuição granulométrica ao longo do perfil de solo TPA do Sítio da Mata.....	22
Figura 16 - Distribuição granulométrica ao longo do perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém.....	23
Figura 17 – Difrátogramas de raios x do perfil de solo AD do Sítio da Mata.....	25
Figura 18 - Difrátogramas de raios x do perfil de solo TPA do Sítio da Mata.....	25
Figura 19 - Difrátogramas de raios x do perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém.....	26
Figura 20 - Distribuição dos teores de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> e PF ao longo do perfil adjacente (A) e do perfil TPA do Sítio da Mata (B).....	28
Figura 21 – Distribuições dos teores de MgO, CaO, K <sub>2</sub> O e P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ao longo do perfil de solo adjacente (A) e no perfil TPA do Sítio da Mata (B) .....	28

Figura 22 - Distribuição dos teores de elementos maiores ao longo do perfil TPA do Sítio Porto de Santarém .....	30
Figura 23 - Distribuição das concentrações de Cu, Zn, Sr e Ba ao longo dos perfis de solo adjacente e TPA do Sítio da Mata e perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém .....	33
Figura 24 – Distribuição dos Elementos Terras Raras normalizados aos condritos ao longo dos perfis AD e TPA do Sítio da Mata e do perfil TPA do Sítio Porto de Santarém .....	35
Figura 25 - Difratogramas de raios x dos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata .....	38
Figura 26 – Difratogramas de raios x dos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém .....	39
Figura 27 - Concentração de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> e PF nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém .....	41
Figura 28 - Cariapé em fragmento cerâmico do Sítio da Mata .....	41
Figura 29 - Espículas de cauxi em fragmento cerâmico do Sítio Porto de Santarém .....	41
Figura 30 - Concentrações de Na <sub>2</sub> O, MgO, K <sub>2</sub> O, CaO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e TiO <sub>2</sub> nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém .....	42
Figura 31 – Distribuição de Elementos Terras Raras normalizados aos condritos nos FC do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém .....	44
Figura 32 – Concentrações das diferentes frações de fósforo (em mg Kg <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) em amostras de solo TPA investigados nos sítios da Mata e Porto de Santarém .....	46
Figura 33 – Concentrações das diferentes frações de fósforo (em mg Kg <sup>-1</sup> ) em amostras de fragmentos cerâmicos contidos nos solos tipo Terra Preta Arqueológica dos sítios da Mata e Porto de Santarém .....	47
Figura 34 - Diagramas de dispersão entre as diferentes frações de fósforo em solos TPA e em FC .....	48
Figura 35 - Fragmento de osso no solo do Sítio Porto de Santarém interpretado a partir de imagem de elétrons retroespalhados (a) combinado com mapa químico para os teores de P (b) e Ca (c), destacados nas áreas mais claras dos mapas obtidos por MEV/EDS .....	49
Figura 36 – Fragmento de osso em FC contido no solo Terra Preta Arqueológica do Sítio da Mata, interpretado a partir de imagem de elétrons retroespalhados (a), combinado com mapa químico para os teores de P (b) e Ca (c) destacados nas áreas mais claras dos mapas obtidos por MEV/EDS .....	49
Figura 37 – Diagrama de dispersão CaO vs. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> nas amostras de solo e de fragmentos cerâmicos estudadas .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de avaliação da fertilidade de solos e fragmentos cerâmicos.....	19
Tabela 2 – Valores médios da distribuição granulométrica no perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata.....	21
Tabela 3 – Valores médios da distribuição granulométrica no perfil de solo TPA do Sítio da Mata.....	22
Tabela 4 – Média da distribuição granulométrica no perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém.....	22
Tabela 5 - Concentração de elementos maiores e valores de perda ao fogo (PF) no perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata.....	27
Tabela 6 - Concentração de elementos maiores e valores de perda ao fogo (PF) no perfil de solo TPA do Sítio da Mata.....	27
Tabela 7 - Concentração de elementos maiores e valores de PF no perfil TPA do Sítio Porto de Santarém.....	29
Tabela 8 - Concentração dos elementos traço nos perfis de solo do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém.....	31
Tabela 9 - Concentração de elementos terras raras no perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata.....	34
Tabela 10 - Concentrações de elementos terras raras no perfil de solo TPA do Sítio da Mata.....	34
Tabela 11 - Concentração dos elementos terras raras no perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém.....	35
Tabela 12 - Parâmetros de fertilidade dos perfis de solo adjacente e TPA do Sítio da Mata e perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém.....	36
Tabela 13 - Concentração de elementos maiores nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata.....	39
Tabela 14 - Concentração de elementos maiores nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém.....	40
Tabela 15 - Concentração dos elementos traço nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém.....	43
Tabela 16 - Concentração dos elementos terras raras nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém.....	44
Tabela 17 - Parâmetros de fertilidade dos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém.....	45

Tabela 18 - Concentrações das diferentes frações de fósforo (em $P_2O_5$ ) nas amostras de solo (Terra Preta Arqueológica) e nos fragmentos cerâmicos contidos nas mesmas dos dois sítios estudados .....	46
Tabela 19 - Concentrações das diferentes frações de fósforo nas amostras de solo (Terra Preta Arqueológica) e nos fragmentos cerâmicos contidos nas mesmas dos dois sítios estudados .....	47
Tabela 20 - Concentrações de CaO e $P_2O_5$ (% em peso) nas amostras de solo e de fragmentos cerâmicos analisadas.....	51

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1 TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA (TPA) .....	4
3.2 ESTUDOS DE CERÂMICA ARQUEOLÓGICA .....	6
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
4.1 ÁREAS DE ESTUDO .....	9
4.1.1 <b>Sítio da Mata – MA</b> .....	9
4.1.2 <b>Sítio Porto de Santarém – PA – Setor 4A</b> .....	11
4.2 TRABALHO DE CAMPO .....	12
4.2.1 <b>Sítio da Mata</b> .....	12
4.2.2 <b>Sítio Porto de Santarém – Setor 4A</b> .....	14
4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	15
4.3.1 <b>Solo</b> .....	15
4.3.2 <b>Fragmentos Cerâmicos</b> .....	15
4.4 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS .....	16
4.5 ANÁLISES MINERALÓGICAS .....	17
4.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA .....	18
4.7 ANÁLISE QUÍMICA TOTAL .....	18
4.8 ANÁLISES DE FERTILIDADE .....	19
4.9 FRACIONAMENTO DO FÓSFORO .....	19
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>21</b>
5.1 SOLOS .....	21
5.1.1 <b>Granulometria</b> .....	21
5.1.2 <b>Mineralogia</b> .....	24
5.1.3 <b>Composição Química</b> .....	26
5.1.3.1 Elementos Maiores .....	26
5.1.3.2 Elementos Traço .....	30
5.1.4 <b>Fertilidade</b> .....	36
5.2 FRAGMENTOS CERÂMICOS .....	37
5.2.1 <b>Mineralogia</b> .....	37

5.2.2	<b>Composição Química</b> .....	39
5.2.2.1	Elementos Maiores .....	39
5.2.2.2	Elementos traço .....	42
5.2.3	<b>Fertilidade</b> .....	44
<b>6</b>	<b>FRACIONAMENTO DE FÓSFORO</b> .....	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diversos sítios arqueológicos têm sido registrados por pesquisadores e naturalistas em toda a região amazônica desde o final do século XIX. Seus solos geralmente distinguem-se dos solos circundantes por apresentarem coloração escura, maiores valores de pH e elevados teores de nutrientes, além de material arqueológico, como fragmentos cerâmicos e artefatos lítico, recebendo o nome de Terras Pretas Arqueológicas (TPA). As Terras Pretas Arqueológicas são encontradas em manchas espalhadas pela Amazônia, e abrangem áreas que variam de 1 a 500 ha (Smith 1980, Kern *et al.* 2009). A presença de material arqueológico nos solos TPA levou diversos pesquisadores a associar a origem desses solos à atividade antrópica em tempos pretéritos (Sombroek 1966, Smith 1980, Woods & McCann 1999, Costa & Kernt 1999, Costa *et al.* 2003, Kernt *et al.* 2009).

Muito já foi discutido sobre a origem das Terras Pretas. Alguns autores atribuem a gênese destes solos à deposição de cinzas vulcânicas provenientes dos Andes, ou ao acúmulo de material orgânico em fundos de lagos antigos, que teriam secado posteriormente, atraindo populações ameríndias devido à sua elevada fertilidade (Cunha Franco 1962, Falesi 1972). Entretanto, a teoria mais aceita pela comunidade científica atribui a origem das Terras Pretas à deposição de resíduos da atividade humana em áreas de habitação e no seu entorno em tempos pretéritos, sendo a Terra Preta um produto da atividade antrópica (Sombroek 1966, Smith 1980, Woods 1995, Woods & McCann 1999, Neves *et al.* 2003).

Devido à elevada fertilidade dos seus solos, sítios arqueológicos com Terra Preta despertam o interesse das populações locais, que buscam áreas produtivas para prática de agricultura de subsistência, muito embora sítios arqueológicos sejam considerados patrimônios culturais de preservação permanente pela Lei Federal nº 3.924, de 26 de julho de 1961 (Kern *et al.* 2003, Silva *et al.* 2011). Áreas de Terra Preta na Amazônia são amplamente conhecidas e utilizadas por comunidades da região, tanto para roçado como para locais de moradia (J. A. Costa *et al.* 2009), sendo estas comunidades de grande ajuda na localização de sítios arqueológicos, e ao mesmo tempo, uma ameaça à sua preservação.

Na região do Sítio da Mata, bem como em todo o litoral Norte do Brasil, foram realizadas poucas pesquisas arqueológicas, com destaque para os sambaquis Porto de Mina e Ponta de Pedras na região do salgado paraense, e os sambaquis Maiobinha, Pindaí e Iguaíba, no Maranhão, com idades variando de 4.500 a 5.115 anos AP (Gaspar & Silveira 1999). Os

sítios arqueológicos conhecidos no Estado do Maranhão se caracterizam por apresentar um acervo diversificado de material cultural, porém, ainda pouco estudado. Parte deste patrimônio está sujeita à ação de intempéries e à exploração ilícita de Terra Preta, retirada e vendida como adubo. Além disso, ocorre a exploração ilegal de carapaças e conchas, retiradas dos sambaquis e utilizadas na fabricação de cal (Leite Filho & Leite 2005).

A cidade de Santarém se desenvolveu sobre um grande sítio arqueológico que até o século XVII era habitado por grupos indígenas conhecidos como “Tapajós”, sendo o Sítio Porto de Santarém, parte integrante deste grande sítio. Datações em torno de 7.500 e 6.600 anos AP feitas a partir de amostras de carvão, conchas e fragmentos cerâmicos provenientes da região de Santarém indicam o seu pioneirismo na atividade ceramista (Gaspar & Silveira 1999). Estudos realizados no sítio Pedra Pintada no Município de Monte Alegre, próximo à região de Santarém (Costa *et al.* 2009a), obtiveram datações em torno de 11.200 anos AP relativa aos níveis mais profundos (e sem material cerâmico) do sítio, confirmando a antiguidade da ocupação na região oeste do Pará (Oliveira 2008). Costa *et al.* (2009a) apontam dois estágios principais de ocupação da região: ocupação por grupos caçador-coletores, datados entre 11.400 e 10.000 anos AP; e ocupação por grupos ceramistas entre 4.500 e 2.000 anos AP, tendo este último desenvolvido a indústria cerâmica, a horticultura e a pesca.

As áreas de estudo localizam-se em contextos morfológicos e geográficos distintos dentro da Amazônia. O Sítio da Mata localiza-se na borda leste da Amazônia, sobre a formação geológica Pirabas. Apresenta vegetação de transição floresta-savana e sofre forte influência marinha. O Sítio Porto de Santarém está localizado no oeste do Estado do Pará, na foz do rio Tapajós, região central da Amazônia brasileira, sendo influenciado pela sazonalidade do rio. Assentado sobre a formação geológica Alter-do-Chão, sua vegetação compreende gramíneas e diversas espécies arbóreas de grande porte, como mangueiras, seringueiras, ingás, palmeiras e taperebazeiros. Neste contexto, o estudo das características geoquímicas e mineralógicas dos dois sítios é de grande importância para identificar os diferentes aspectos culturais e a organização espacial do assentamento dos povos pré-históricos que habitavam essas regiões, e as modificações que infligiram aos solos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar os contrastes entre o Sítio Arqueológico da Mata, no limite oriental da Amazônia em área de transição floresta-savana, e o Sítio Porto de Santarém, no Baixo Amazonas em área originalmente de floresta, quanto à composição química e mineralógica, quanto à fertilidade e quanto aos depósitos de fósforo presentes nos seus respectivos solos e fragmentos cerâmicos, buscando relacionar tais características às especificidades de cada região.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização mineralógica do solo e dos os fragmentos cerâmicos dos sítios estudados, relacionando ao seu material de origem;
- Determinação da composição química das Terras Pretas e dos fragmentos cerâmicos dos sítios estudados e correlacionada à atividade humana pré-histórica;
- Caracterização dos parâmetros de fertilidade das Terras Pretas e dos fragmentos cerâmicos estudados;
- Fracionamento de fósforo predominantes no solo e nos fragmentos cerâmicos dos sítios estudados, e suas possíveis fontes.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA (TPA)

As Terras Pretas são solos de sítios arqueológicos que apresentam coloração escura e possuem vestígios de material cerâmico e lítico. Apresentam ainda altos teores de nutrientes, como Ca, Mg, Zn, Mn, P e carbono orgânico (Kern *et al.* 2009), em contraposição às características dos solos amazônicos, em geral de baixa fertilidade e elevada acidez (J. A. Costa *et al.* 2009, Falcão *et al.* 2009).

Os sítios de Terra Preta podem ainda estar circundados por solos de cores bruno - acinzentadas, também com alto teor de C orgânico, porém com menores teores de P e Ca, e com pouca ou nenhuma incidência de artefatos culturais (cerâmicos e líticos). As características desses solos também diferem das apresentadas pelos solos adjacentes não alterados pela atividade humana, sendo interpretadas como resultado de atividade agrícola pré-histórica, permanente ou semi-permanente. Estes solos são identificados como Terra Mulata (TM) (Sombroek 1966).

As áreas de sítios com Terra Preta possuem grande importância em nível local e regional para a população cabocla, visto que essas áreas são até hoje cultivadas por essas comunidades, fazendo parte da dinâmica social e ecológica da paisagem amazônica (Souza *et al.* 2009)

Pesquisas em sítios de Terra Preta na Amazônia remontam às últimas décadas do século XIX. Em seus estudos pela região do baixo Amazonas, o naturalista Hebert H. Smith e o geólogo Friedrich Katzer fizeram observações semelhantes acerca das propriedades e da possível origem das Terras Pretas, salientando as diferenças marcantes entre estes solos e os solos adjacentes e associando suas características a rejeitos da atividade humana (Woods 2003).

A ocorrência de inúmeras áreas de Terra Preta associadas a fragmentos cerâmicos na Amazônia gerou controvérsias a respeito da origem deste tipo de solo. Após diversos estudos, as teorias sobre a origem das Terras Pretas foram revistas e atualmente é consenso que as Terras Pretas são produto da ação humana, seja de forma intencional ou não (Woods & McCann 1999, Smith 1980). A ação humana e os processos intempéricos provocaram profundas alterações em várias características dos solos originais, dando origem às Terras

Pretas (Smith 1980; Woods & McCann 1999, Kern *et al.* 2009, Lima *et al.* 2009). A abundância e a profundidade dos sítios de Terra Preta indicam que as populações indígenas eram densas e, em muitos casos, de hábitos sedentários, antes da chegada dos europeus (Smith 1980). Análises das propriedades físicas e químicas destes solos realizadas por Smith (*op. cit.*), baseadas em amostragens de ampla escala na região amazônica, sustentam sua origem antropogênica.

Dentre as características que dão suporte ao modelo antropogênico de formação do solo, destacam-se a similaridade na textura entre Terra Preta e os solos adjacentes aos sítios; similaridade entre os solos abaixo da camada de Terra Preta e os solos ao redor dos sítios; a ocorrência de Terra Preta em uma variedade de grupos paisagísticos; a ocorrência de fragmentos cerâmicos e líticos em áreas de Terra Preta, e; a assinatura geoquímica comumente associada à habitação humana (Sombroek 1966, Smith 1980, Woods 1995, Woods & McCann 1999).

Em solos de Terra Preta, elementos como Mn, Cu e Zn destacam-se com teores elevados nos horizontes antrópicos quando comparados ao horizonte A das áreas adjacentes, não alteradas por atividade humana. Entretanto, no horizonte B, esses elementos não apresentam diferenças significativas entre o solo abaixo da camada de Terra Preta e os solos adjacentes, o que reforça a relação destes nutrientes com material adicionado ao solo por atividade humana (J. A. Costa *et al.* 2009).

Os solos antrópicos caracterizam-se, quando confrontados com os demais solos amazônicos, por possuírem elevados teores de Ca, Mg, P, Zn, Mn, Cu e C orgânico, bem como valores mais altos de pH. Por isso, estes têm sido os componentes mais comumente investigados nesses solos. Análises multielementares demonstraram que elementos como aqueles acima e outros elementos em associação como  $P_2O_5$ , MgO, CaO, Ba, Cl, Sr,  $Fe_2O_3$ ,  $Na_2O$ , As, Cd, Co, Cr, F, Ga, Pb e V, podem ser de grande importância para avaliar a distribuição espacial dos assentamentos estabelecidos pelo homem pré-histórico (J. A. Costa *et al.* 2009).

Estudos geoquímicos associados a análises mineralógicas permitem chegar a conclusões acerca dos tipos e da distribuição de fontes de elementos químicos nas Terras Pretas. Assinaturas geoquímicas podem ser comparadas à composição elementar de

alimentos, restos de plantas e animais, ou outros materiais que possam ter sido depositados nas Terras Pretas (M. L. Costa *et al.* 2003)

De acordo com M. L. Costa *et al.* (2003) e J. A. Costa *et al.* (2009), identificar as características geoquímicas das Terras Pretas Arqueológicas é fundamental para compreender o processo de formação destes solos, bem como o seu material de origem. Kern *et al.* (1999), por exemplo, afirmam que as folhas de palmeiras, utilizadas como cobertura das moradias e periodicamente descartadas quando da sua substituição, podem ser uma fonte importante de Mn, Zn, K, Ca e Mg para o solo, enquanto J. A. Costa *et al.* (2009) e Smith (1980) apontam que P e Ca podem estar associados a restos de vegetais (mandioca, açaí, bacaba), restos de animais (carapaças, ossos e excrementos) e resíduos de alimentos.

Sítios arqueológicos com Terra Preta estão comumente localizados ao longo de rios e interflúvios, ocupando áreas de várzeas, elevações marginais adjacentes e terra firme. Estes assentamentos eram escolhidos de maneira estratégica, favorecendo o acesso aos recursos de diferentes ambientes, controle das vias de acesso e visibilidade para defesa. A ocorrência desses sítios é ampla por toda a Amazônia, sendo também conhecidas ocorrências na Colômbia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela (Kern *et al.* 2009).

Roosevelt (1991) descreve a seguinte sequência cronológica de ocupação do homem pré-histórico na Amazônia: (a) ocupação paleoíndia há 11.200 anos antes do presente (AP); (b) cultura de pescadores e coletores ao longo do rio Amazonas entre 7.500 e 4.000 anos AP; (c) mudança cultural para grupos horticultores, com produção de cerâmicas com decoração incisa, apêndices zoomorfos e pinturas geométricas vermelhas e brancas, entre 4.000 e 3.000 anos AP; (d) cultura de construtores dos tesos, desde 1.000 AC, e; (e) sociedades complexas e hierarquizadas que foram desarticuladas pela chegada dos europeus.

### 3.2 ESTUDOS DE CERÂMICA ARQUEOLÓGICA

Estudos das propriedades morfológicas, físicas e químicas em solos de Terra Preta Arqueológica tem sido realizados em toda a Amazônia há bastante tempo por Cunha Franco (1962), Sombroek (1966), Silva *et al.* (1970), Smith (1980), Kern & Kämpf (1989), Costa & Kern (1999), Woods & McCann (1999), Cunha *et al.* (2009), Schmidt & Heckenberger (2009), todos atestando a elevada fertilidade das Terras Pretas. Contudo, apenas nas últimas décadas passou a se dar maior atenção à composição química e mineralógica das cerâmicas arqueológicas encontradas em Sítios de Terra Preta na Amazônia, com os trabalhos de Costa

*et al.* (1991, 1993, 2001, 2004a, b, 2009b, 2011), Costa & Kern (1999), Coelho *et al.* (1996), Lima *et al.* (2002), entre outros.

As cerâmicas arqueológicas são objetos de grande valor para estudos de arqueólogos, por serem um registro cultural de populações antigas, e por apresentarem relativa resistência às intempéries, podendo persistir por até milhares de anos sem perder suas características, o que ajuda na identificação dos povos que as confeccionaram. (Latini *et al.* 2001, Nunes *et al.* 2007). Arqueólogos e antropólogos supõem que as cerâmicas eram objetos usados nas várias esferas sociais e para diferentes finalidades em culturas antigas, desde manufatura e estocagem de alimentos a funções ritualísticas, sendo empregados como símbolo de poder e hierarquia, além de utilizados como objeto de troca em comércios (Oliveira 2008).

Embora a região amazônica apresente um regime intempérico rigoroso em função de seu clima quente e úmido, os fragmentos cerâmicos, presentes em sítios arqueológicos da região, tem resistido por longos períodos sofrendo pouca alteração de suas características morfológicas (Costa *et al.* 2009b), permitindo estudos culturais e etnográficos dos povos que habitavam a Amazônia no passado.

Estudos químicos e mineralógicos de fragmentos cerâmicos têm revelado elevada concentração de nutrientes nos mesmo, bem como sua elevada fertilidade potencial, muitas vezes superior à da própria TPA. Um dos aspectos mais importantes das cerâmicas arqueológicas, e apenas recentemente evidenciado, é o seu elevado conteúdo de fósforo, que pode variar de 1% a 9% de  $P_2O_5$ , estando geralmente entre 1% e 2% (M. L. Costa *et al.* 2009b, Rodrigues 2010). Análises da concentração de fósforo são amplamente utilizados para detectar solos modificados por atividade humana (Lima *et al.* 2009, Falcão *et al.* 2009). Porém, ao contrário dos fragmentos cerâmicos e artefatos líticos facilmente identificáveis *in loco*, sem o auxílio de técnicas analíticas, não é possível identificar as fontes primárias de fósforo nos solos, usualmente atribuídos à incorporação de ossos, espinhas de peixes e carapaças de quelônios (Smith 1980, Lima *et al.* 2009, Silva *et al.* 2011).

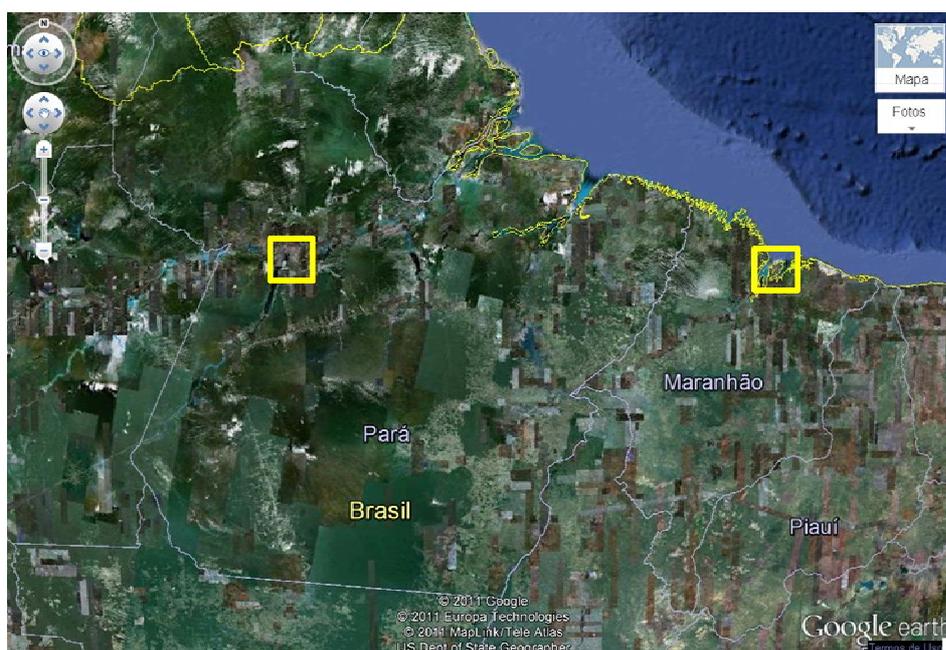
De acordo com Lima *et al.* (2009), por meio de análises químicas, como o fracionamento das formas de P, é possível inferir com razoável segurança sobre a fonte primária de P, desde que o estágio de intemperismo da eventual fonte não seja avançado. Os autores afirmam que a comprovação de algumas indicações químicas pode ser obtida com boa margem de segurança mediante o emprego de determinadas técnicas analíticas, como

microscopia eletrônica de varredura acoplada à microsonda de dispersão de energia de raios-X (EDS), que permite analisar quimicamente os componentes minerais em seções finas (Lima *et al.* 2009).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ÁREAS DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida com material coletado no Sítio Arqueológico da Mata e no Sítio Arqueológico Porto de Santarém. O Sítio da Mata está localizado no Município de São José de Ribamar, Região Metropolitana de São Luís, no Estado do Maranhão. O município de São José de Ribamar localiza-se no limite oeste da região amazônica, em área litorânea, sofrendo forte influência marinha. O Sítio Porto de Santarém, se situa na área urbana do Município de Santarém, no Estado do Pará. O Município de Santarém está localizado no oeste do Estado do Pará, no interior da Amazônia brasileira, onde são encontradas maiores ocorrências de sítios arqueológicos com Terra Preta (Kern *et al.* 2009), fato este possivelmente associado à malha de drenagem mais rica nesta região. Os sítios estudados situam-se aproximadamente à mesma latitude, e distam em torno de 1200 Km entre si, em linha reta (Figura 1).



**Figura 1 – Localização dos Sítios da Mata e Porto de Santarém**

**Fonte: Google ©2011**

#### 4.1.1 Sítio da Mata – MA

Às proximidades do Sítio da Mata se situam os povoados Mata, Quinta, e Matinha, em uma porção mais elevada da paisagem. Ao sul do sítio existe uma fonte de água cristalina, utilizada como fonte de abastecimento para uma empresa distribuidora de água mineral, bem

como para o lazer da população local. Ao sudoeste do sítio, distante aproximadamente 800 metros, existe um canal de mangue que dá acesso ao mar quando a maré está cheia, servindo tanto para o escoamento de produtos, como para o abastecimento de pescado da população (SCIENTIA 2010).

O sítio da Mata é multicomponencial, com a presença de material histórico e pré-histórico, sendo classificado, no período de ocupação pré-colonial, como do tipo cemitério/habitação. A vegetação atual na área do sítio é formada por capoeira alta, com predomínio de palmeiras de babaçu e tucumã, além de alguns focos de árvores frutíferas na porção sudeste do sítio (Figura 2) (SCIENTIA 2010).



**Figura 2 – Delimitação do Sítio da Mata, na Ilha de São Luís - MA**

**Fonte: SCIENTIA (2010)**

A área do sítio da Mata está inserida no grupo geológico Barreiras. Os solos da região são representados predominantemente por Latossolo Amarelo distrófico (IBGE, 2010). O sítio apresenta uma grande área de solo escuro, com cerca de 30x50m, com coloração preta (10YR 2/1). Esta mancha não é contínua, apresentando locais com solo mais claro, podendo ser manchas menores relacionadas aos fundos de pequenas malocas. A espessura do horizonte “A” varia de 30 a 90 cm. Ao redor da mancha escura tem-se uma área de transição, onde o solo apresenta coloração mais clara, variando de bruno acinzentado muito escuro a bruno escuro. Na área adjacente ao sítio, onde não há ocorrência de material arqueológico, o solo torna-se ainda mais claro, e a espessura do horizonte “A” atinge o máximo de 10 cm. A

textura do solo é arenosa, com estrutura fraca a moderada, que se desfaz em blocos subangulares pequenos e médios (SCIENTIA 2010).

#### 4.1.2 Sítio Porto de Santarém – PA – Setor 4A

A área portuária do Município de Santarém, onde se insere o Sítio Porto de Santarém, está sob a administração da Companhia Docas do Pará (CDP) e se localiza na margem direita do rio Tapajós, próximo à confluência com o rio Amazonas (ANTAQ 2010).

Dentro do sítio Porto de Santarém foi estudado especificamente o Setor 4A, localizado na porção leste do sítio, na baixa vertente da planície de inundação do rio Tapajós (Figura 3). Mede em torno de 120 m no sentido N-S x 176 m no sentido L-O, sendo que a metade Leste fica inundada no período chuvoso, enquanto que a metade Oeste está em um pequeno patamar no qual existem duas elevações, uma ao Norte e outra ao Sul, nas quais foram abertos os Perfis 1 e 2, respectivamente, durante os trabalhos de prospecção (Silveira *et al.* 2010).



**Figura 3 – Delimitação do Sítio Porto de Santarém e do Setor 4A**

**Fonte: Google ©2011**

A área do sítio Porto de Santarém se insere na formação geológica Alter-do-Chão. A pedologia da região é representada principalmente por Neossolos Quartzarênicos órticos (IBGE, 2010). A vegetação atual do sítio Porto de Santarém compreende principalmente gramíneas, além de exemplares de árvores de grande porte, como mangueiras, um grupo de seringueiras, ingás, palmeiras, taperebazeiros na porção sudoeste e ameixeiras na porção oeste do sítio (Silveira *et al.* 2010).

## 4.2 TRABALHO DE CAMPO

### 4.2.1 Sítio da Mata

O trabalho de campo no Sítio da Mata foi realizado por equipe técnica coordenada pela Geoarqueóloga Dra. Dirse Clara Kern, pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e pelo Antropólogo João Damasceno Júnior, encarregado de Museologia e Etnologia do Centro de Pesquisa de História Natural e Arqueologia do Maranhão (CPHNAMA).

Para os trabalhos de sondagem foi definida uma malha com espaçamento de 20 metros (Figura 4). A linha principal da malha foi orientada na direção SW-NE (paralela à linha de transmissão de energia implantada pela Eletronorte). Nos pontos de cruzamento destas linhas foram abertas sondagens de 1 x 1m, nas quais o solo foi escavado e coletado, juntamente com material cerâmico, em níveis artificiais de 10 em 10 cm até uma profundidade na qual não se identificasse mais material arqueológico. A figura abaixo apresenta o croqui do Sítio da Mata, indicando os pontos de coleta, bem como a localização dos perfis escavados.

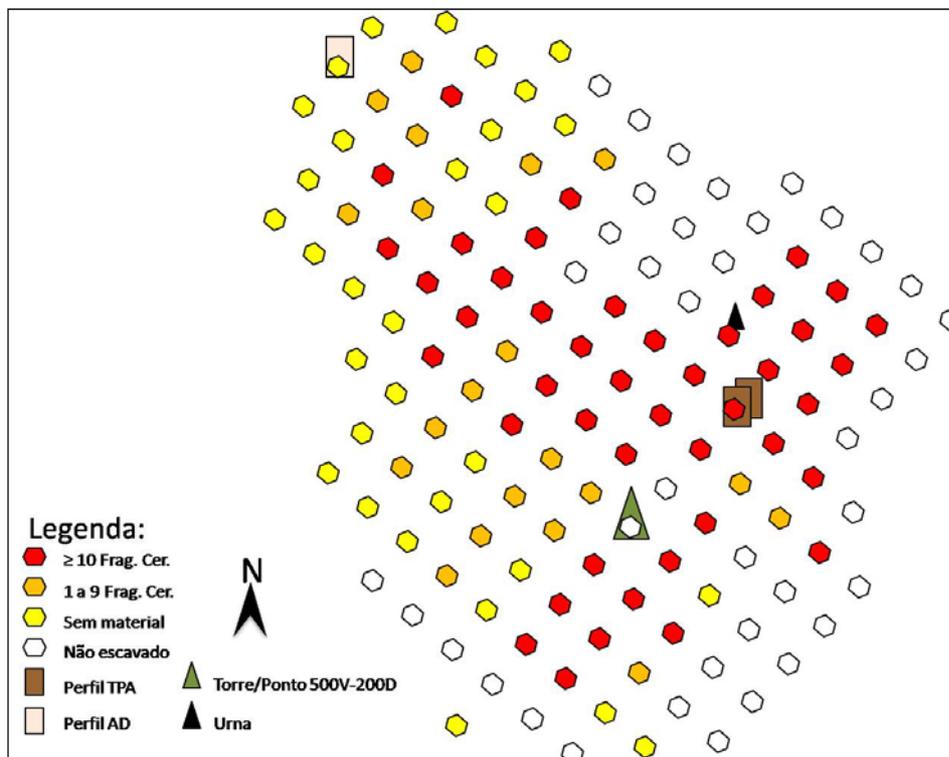


Figura 4 – Mapa de amostragem do Sítio da Mata (adaptado de SCIENTIA, 2010)

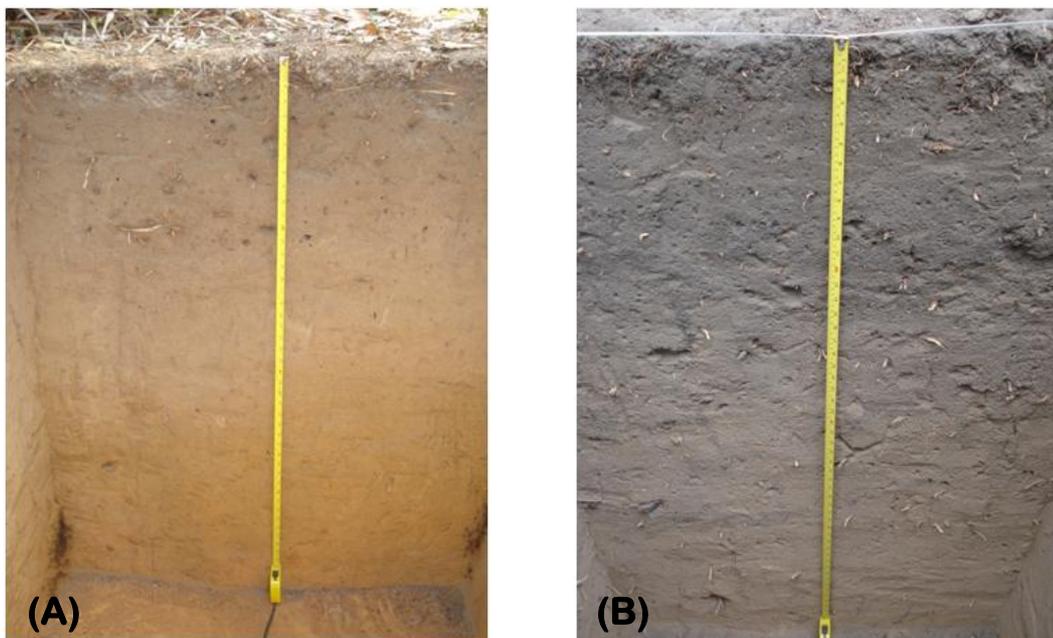
Nas áreas do Sítio da Mata que apresentaram maior quantidade de material cerâmico, solo com coloração mais escura e maior espessura do refugo ocupacional, foram efetuadas coletas em Superfícies Ampliadas (SA), com escavação em forma de tabuleiro de xadrez,

permitindo melhor visualização da área lateralmente (Figura 5). Foram ainda descritos três perfis de solo de acordo com metodologia de Lemos e Santos (2002), sendo dois em áreas de Terra Preta, nas Superfícies Ampliadas 1 e 2, e um em área adjacente ao Sítio Arqueológico. Para esta pesquisa foram estudados o solo coletado no perfil adjacente e o solo e os fragmentos cerâmicos coletados no perfil de terra preta da SA2 (Figura 6).



**Figura 5 - Coleta de superfície ampliada (SA2) em forma de tabuleiro de Xadrez no Sítio da Mata - MA**

**Fonte: SCIENTIA (2010)**



**Figura 6 - Perfis de solo no Sítio da Mata. (A) Perfil de solo adjacente; (B) Perfil de Terra Preta**

**Fonte: SCIENTIA (2010)**

#### 4.2.2 Sítio Porto de Santarém – Setor 4A

No setor 4A do Sítio Porto de Santarém, o trabalho de campo foi desenvolvido por equipe técnica coordenada pela Dra. Maura Imazio da Silveira (MPEG), e composta por uma assistente de campo, M. Sc. Elisangela Oliveira (MPEG), um arqueólogo de Santarém, Márcio Amaral e uma pesquisadora colaboradora, especialista em gearqueologia, M. Sc. Jucilene Amorim Costa.

No trabalho de prospecção foram realizadas aberturas de dois perfis estratigráficos, uma área de escavação (E1) de 5 x 5 metros em forma de tabuleiro de xadrez com 25 unidades de escavação de 1 m<sup>2</sup> cada, uma área de coleta sistemática de superfície, e quatro trincheiras (Silveira *et al.* 2010) (Figura 7). Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizadas amostras de solo do perfil 2 (Figura 8) e fragmentos cerâmicos coletados no perfil 2 e na trincheira 4.

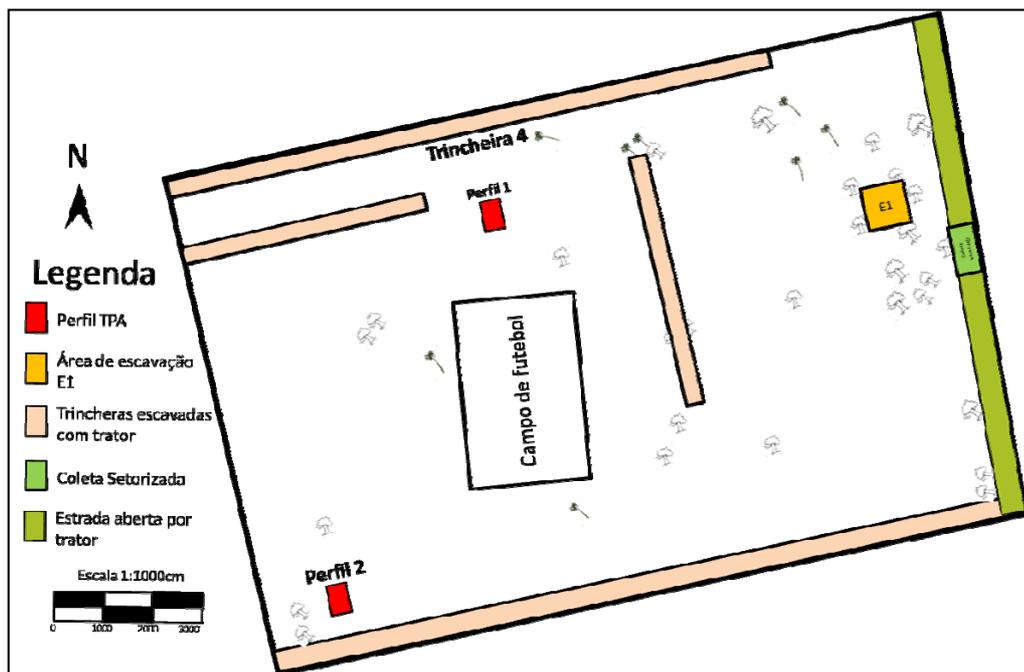


Figura 7 – Mapa de amostragem do Sítio Porto de Santarém com indicações da área de coleta setORIZADA, área de escavação e perfis de amostragem (adaptado de Silveira *et al.* 2010)



**Figura 8 – Perfil de solo P2 do Setor 4A do Sítio Porto de Santarém**

**Fonte: Silveira *et al.* (2010)**

### 4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

#### 4.3.1 Solo

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar livre, sendo posteriormente destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Esta etapa de preparação foi realizada nas instalações físicas do Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi, seguindo o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997). A partir da TFSA foram efetuadas as análises laboratoriais.

Para as análises de textura do solo, bem como para as análises de fertilidade e de MEV, o material de partida foi a TFSA. Para as análises de mineralogia, química total e frações de fósforo, a TFSA foi pulverizada em gral de ágata.

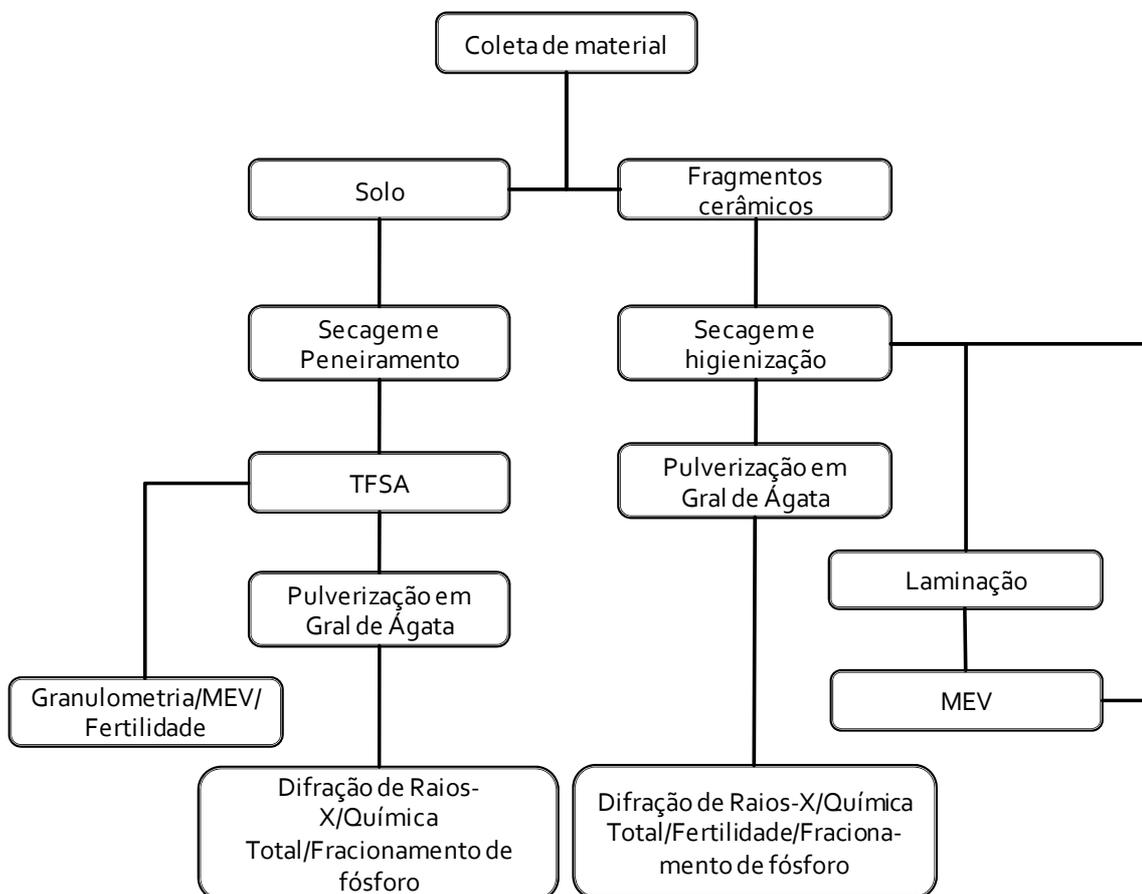
#### 4.3.2 Fragmentos Cerâmicos

As amostras de cerâmica coletadas foram secas em temperatura ambiente e em seguida higienizadas para retirar o material aderido à sua superfície (solo). A preparação das amostras

de fragmentos cerâmicos para as análises foi realizada no Museu de Geociências da Universidade Federal do Pará.

A partir dos fragmentos cerâmicos higienizados foram confeccionadas lâminas delgadas para identificação microscópica por Microscopia Eletrônica de Varredura. Para as análises mineralógicas, bem como para as análises de composição química total, fertilidade e fracionamento do fósforo, os fragmentos cerâmicos foram pulverizados em gral de ágata.

O fluxograma abaixo ilustra as etapas de preparação das amostras de solo e de fragmentos cerâmicos para as respectivas análises.



**Figura 9 - Fluxograma das etapas de preparação das amostras para análises**

#### 4.4 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

A partir da TFSA foram realizadas as análises granulométricas dos solos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém, com o auxílio do Analisador de Partículas por Difração a Laser Analysette 22 MicroTec Plus com Unidade de Dispersão Úmida, da empresa Fritsch GmbH - Milling and Sizing (Figura 10). Para esta análise pesou-se aproximadamente 1 grama de material (solo), adicionando-se 5 mL de água e mais 5 mL de solução dispersante de

pirofosfato de sódio a  $0,09 \text{ g L}^{-1}$  ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$   $0,09 \text{ g L}^{-1}$ ), deixando em repouso por 24 horas. Após esse período, a mistura foi inserida na unidade de dispersão úmida e foi obtida a distribuição granulométrica do material no intervalo de leitura das partículas de  $0,08 \text{ }\mu\text{m}$  a  $2000 \text{ }\mu\text{m}$ .

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (LaMiGA) do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada da Universidade Federal do Pará (GMGA-UFPA).



**Figura 10 – Analisador de Partículas por Difração a Laser Analysette MicroTec Plus – LaMiGA/UFPA**

#### 4.5 ANÁLISES MINERALÓGICAS

O difratômetro utilizado para as análises mineralógicas foi o X'PERT PRO MPD, equipado com goniômetro PW 3040/60 (theta-theta) da PANalytical, com ânodo de cobre ( $\lambda\text{CuK}\alpha 1 = 1,5406 \text{ \AA}$ ), filtro  $\text{K}\beta$ , gerador de tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. O intervalo de varredura foi de  $5^\circ$  a  $75^\circ 2\theta$ , com passo de  $0,02^\circ 2\theta$  e duração do passo de 5 segundos, aproximadamente. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Difração de Raios-X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

A partir dos difratogramas obtidos, foi feita a identificação das fases minerais presentes nas amostras de solo e cerâmica com o auxílio do software X'PERT HIGHSCORE, e por comparação com as fichas PDF (*Powder diffraction files*) através do software PCPDFWIN do ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

#### 4.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Para as análises de microscopia eletrônica de varredura foram confeccionadas lâminas delgadas das amostras de solo e de fragmentos cerâmicos na oficina de laminação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. Foram ainda utilizados fragmentos cerâmicos indeformados para as análises de MEV.

As imagens de MEV, bem como os mapas químicos das imagens, foram obtidos com o Microscópio Eletrônico de Varredura modelo TM3000 Tabletop Microscope e Detector SwiftED3000 da empresa HITACHI (Figura 11), e software de mesmo nome. Esta etapa do trabalho foi realizada Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações do GMGA-UFGA.



**Figura 11 - Microscópio eletrônico de varredura modelo TM3000 Tabletop Microscope - LaMiGA/UFGA**

#### 4.7 ANÁLISE QUÍMICA TOTAL

As amostras de solo e cerâmica pulverizadas foram enviadas para análise química total no laboratório comercial AcmeLabs Ltda. A metodologia de consiste em abertura das amostras por meio de fusão ácida e posterior análise por ICP-MS/OES, identificando as concentrações totais de elementos maiores, menores e traço. Foi quantificada ainda a perda ao fogo (PF) por gravimetria das amostras calcinadas a 1000°C, que mede a perda de massa correspondente à eliminação de matéria orgânica e H<sub>2</sub>O do material.

#### 4.8 ANÁLISES DE FERTILIDADE

As amostras de solo peneiradas (TFSA) e de fragmentos cerâmicos pulverizados foram enviadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa para análise dos parâmetros pH, P-disponível,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e H+Al, Carbono Orgânico e Matéria Orgânica. As análises de fertilidade seguiram os métodos analíticos do Manual de Métodos de Análise de Solos da Embrapa (1997), conforme indicado na tabela abaixo.

**Tabela 1 - Parâmetros de avaliação da fertilidade de solos e fragmentos cerâmicos**

Análises de Fertilidade	
Parâmetro	Metodologia empregada (Embrapa, 1997)
pH (H <sub>2</sub> O)	Potenciômetro (relação material:água = 1:2,5)
P	Extrator Mehlich 1
$\text{Na}^+$	
$\text{K}^+$	
$\text{Ca}^{+2}$	Extrator KCl 1M
$\text{Mg}^{+2}$	
$\text{Al}^{+3}$	
H+Al	Extrator de Acetato de Cálcio 0,5M - pH 7,0
Carbono Orgânico/ Matéria Orgânica	Método Walkley-Black/ Mat. Org. = C.O. x 1,724

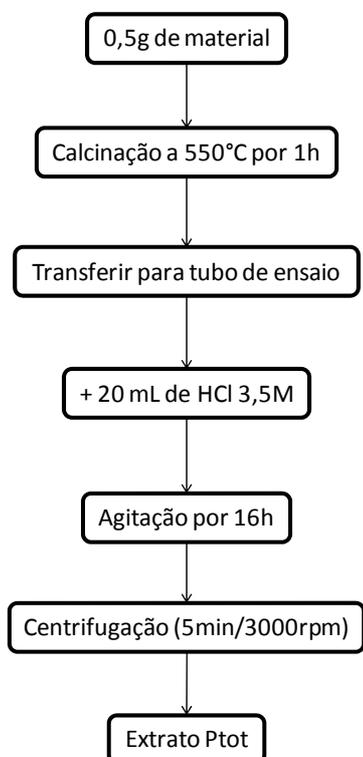
A partir destes valores foram calculados a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), índice de saturação por bases (V), índice de saturação de alumínio (m) e o índice de saturação de Sódio (ISNa).

#### 4.9 FRACIONAMENTO DO FÓSFORO

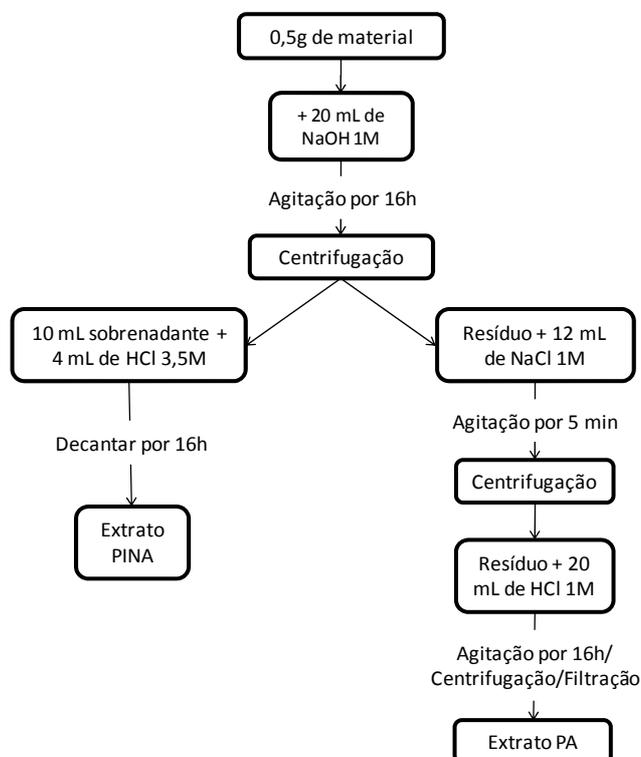
Para as análises das frações de fósforo foram selecionadas duas amostras de solo e duas amostras de fragmentos cerâmicos de cada sítio estudado, levando-se em consideração as amostras com maiores conteúdos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  identificadas pela análise química total. Desta forma foram analisadas quatro amostras de solo e quatro amostras de fragmentos de cerâmica arqueológica.

Foi utilizada a metodologia de fracionamento proposta por Williams (1976) e modificada por Cavalcante (1995, *apud* Protázio *et al.* 2004), que consiste na dissolução de compostos fosfatados com diferentes energias de ligação a partir da reação com soluções de diferentes concentrações. Foram quantificadas a quantidade total de fósforo (P<sub>tot</sub>), a fração de fósforo inorgânico não apatítico (PINa), a fração de fósforo apatítico (PA), e a fração de

fósforo ligado a compostos orgânicos (PO). A fração PINA consiste nos fosfatos inorgânicos ligados a Fe e Al, e a fração PA consiste nos fosfatos de cálcio na forma de apatita. Os fluxogramas abaixo ilustram as etapas das extrações de fósforo total e das frações PINA e PA.



**Figura 12 – Fluxograma de procedimentos para extração de Ptot**



**Figura 13 – Fluxograma de procedimentos para extração das frações de PINA e PA**

A determinação das concentrações de fósforo nos extratos obtidos foi efetuada por espectrofotometria na região do visível, baseada na reação dos ortofosfatos dissolvidos nos extratos, com molibdato de amônio em meio ácido (Carmouze 1994). A fração de fósforo orgânico foi obtida pela diferença entre a concentração de Ptot e a soma das concentrações de PINA e PA. As etapas de extração e determinação das frações de fósforo foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (LAQ-Goeldi).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 SOLOS

#### 5.1.1 Granulometria

O Sítio da Mata apresenta solos muito arenosos, tanto na área adjacente ao sítio quanto na área de Terra Preta. Entretanto, no perfil de solo adjacente observa-se uma tendência de variação na textura do solo em relação à profundidade, com aumento das frações argila e silte e a redução da fração areia, conforme se observa na Tabela 2 e na Figura 11. Entretanto, no perfil de solo TPA do Sítio da Mata não se observa o mesmo comportamento da textura do solo em relação à profundidade (Tabela 3 e Figura 12), mantendo-se a textura bastante arenosa ao longo de todo o perfil. Kern (1996) identificou o mesmo comportamento em solos de sítios arqueológicos da região de Caxiuanã, com maiores teores de areia nos solos TPA em relação aos solos adjacentes. A mesma tendência de diminuição da fração areia e aumento da fração argila dos horizontes superficiais para os horizontes mais profundos na área adjacente e a ausência deste padrão no solo TPA também foram identificadas pela autora.

O perfil de Terra Preta do Sítio Porto de Santarém apresentou comportamento textural semelhante ao perfil TPA do Sítio da Mata, não sendo evidenciada relação entre a textura e a profundidade do perfil. O solo do Sítio Porto de Santarém, entretanto, apresenta maiores teores de areia, estando acima de 50% em todos os níveis escavados (Tabela 4 e Figura 13).

**Tabela 2 – Valores médios da distribuição granulométrica no perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata**

Horizonte	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
A1	4,40	23,89	71,72
A2	8,33	30,60	61,07
AB	9,78	32,17	58,05
BA	9,97	28,58	61,44
B1	11,25	41,69	47,07
B2	15,09	56,21	28,69
B3	18,73	65,15	16,12

Tabela 3 – Valores médios da distribuição granulométrica no perfil de solo TPA do Sítio da Mata

Horizonte	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
A1	10,51	43,39	46,09
A2	9,58	38,85	51,58
A3	11,02	51,84	37,15
AB	5,93	17,69	76,38
BA	11,17	31,03	57,82
B1	13,41	34,14	52,45
B2	12,12	27,57	60,31
B3	20,30	36,86	42,85

Tabela 4 – Média da distribuição granulométrica no perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém

Níveis	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Nível 1	8,26	31,39	60,34
Nível 2	8,40	28,57	63,03
Nível 3	6,83	35,25	57,93
Nível 4	6,07	30,20	63,72
Nível 5	6,28	27,86	65,88
Nível 6	6,78	24,93	68,29
Nível 7	8,60	32,09	59,31
Nível 8	10,53	35,92	53,55
Nível 9	10,42	29,72	59,85

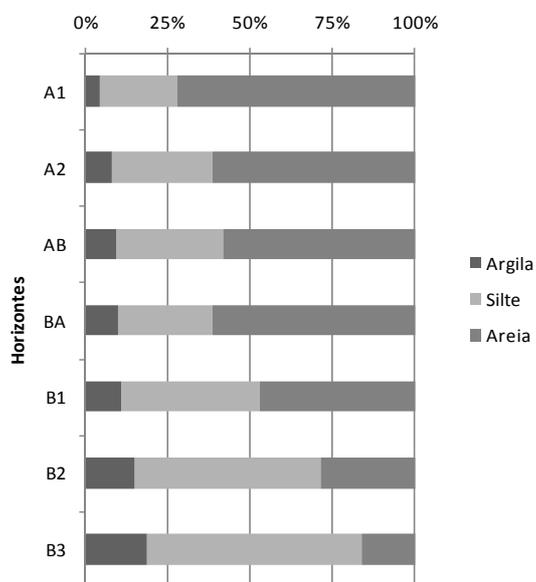


Figura 14 - Distribuição granulométrica ao longo do perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata

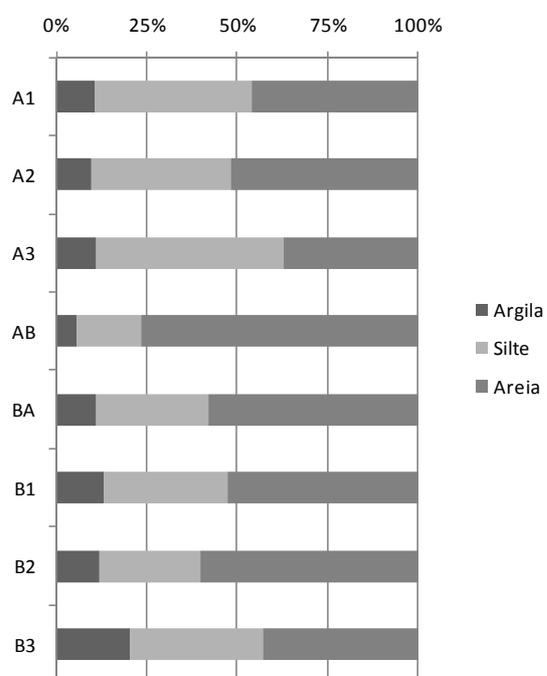
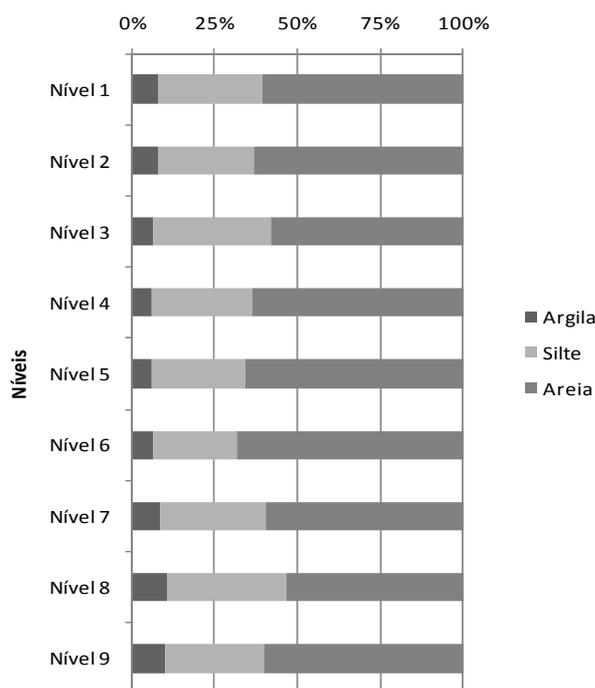


Figura 15 - Distribuição granulométrica ao longo do perfil de solo TPA do Sítio da Mata



**Figura 16 - Distribuição granulométrica ao longo do perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém**

Teixeira & Martins (2003), estudando diversos sítios arqueológicos na Amazônia ocidental, identificaram o mesmo comportamento na distribuição granulométrica nos solos tipo TPA, com a maioria dos sítios estudados apresentando textura franco-arenosa a arenosa. Este comportamento se deve, em parte, à grande quantidade de matéria orgânica particulada presente nas Terras Pretas (Glaser 1999). Entretanto, Teixeira & Martins (2003) afirmam que a matéria orgânica apresenta comportamento diverso quanto à capacidade de agregar ou dispersar as partículas do solo, tornando difícil estabelecer uma correlação entre o conteúdo de matéria orgânica e a distribuição granulométrica do solo, que pode apresentar padrões diversos em diferentes sítios com TPA.

O aumento da fração areia nos horizontes superficiais das Terras Pretas pode estar associado também às práticas agrícolas de corte e queima utilizadas por populações ameríndias, e empregadas ainda nos tempos atuais por populações caboclas. A caulinita, principal argilomineral encontrado em solos amazônicos, tende a modificar sua estrutura quando submetida a altas temperaturas, formando microagregados, juntamente com partículas de matéria orgânica, com tamanhos que podem variar de silte até areia grossa (Teixeira & Martins 2003).

A morfologia dos solos TPA contribui significativamente para o aumento da fertilidade dos solos, uma vez que o aumento no tamanho das partículas de solo tipo TPA, como é observado acima, permite melhor permeabilidade dos mesmos, facilitando a circulação de nutrientes presentes na solução do solo. Teixeira & Martins (2003) afirmam que, embora a granulometria mais arenosa de solos tipo Terra Preta produza alguns efeitos negativos, como maior suscetibilidade à lixiviação de nutrientes, esses efeitos são compensados pelos maiores teores de matéria orgânica, maior estabilidade desta matéria orgânica no solo e maior capacidade de troca de cátions em solos antrópicos.

### 5.1.2 Mineralogia

O quartzo é o mineral dominante nos solos do Sítio da Mata, seguido por caulinita tanto na área adjacente ao sítio quanto na área de Terra Preta (Figuras 14 e 15). Anatásio e muscovita são minerais acessórios. O solo do Sítio Porto de Santarém apresentou composição mineralógica semelhante, com quartzo e caulinita como minerais principais, e anatásio e muscovita como acessórios (Figura 16). Esta mineralogia é compatível com diversos solos antrópicos estudados na Amazônia, como o Sítio Raimundo, estudado por Carmo (2008) em Caxiuanã, Sítio Manduquinha, estudado por Costa & Kern (1999), também em Caxiuanã, solos antrópicos estudados por Lima *et al.* (2002), no Município de Iranduba, próximo a Manaus, dentre outros. A diferença entre estes sítios está nos óxidos e hidróxidos de ferro (Hematita e Goethita), presentes nos referidos sítios, mas que não foram identificados pela difração de raios-X nos Sítios da Mata e Porto de Santarém.

Segundo Horbe & Costa (2005), quartzo e caulinita são os principais minerais de perfis lateríticos na Amazônia, podendo ser tanto minerais remanescentes, como minerais neoformados pela ação intempérica. Óxidos e hidróxidos de Fe são minerais lateríticos e podem estar presentes nos sítios estudados, porém em concentrações muito baixas, estando “camuflados” no background dos difratogramas, ou ainda em fases semi-cristalinas ou amorfas.

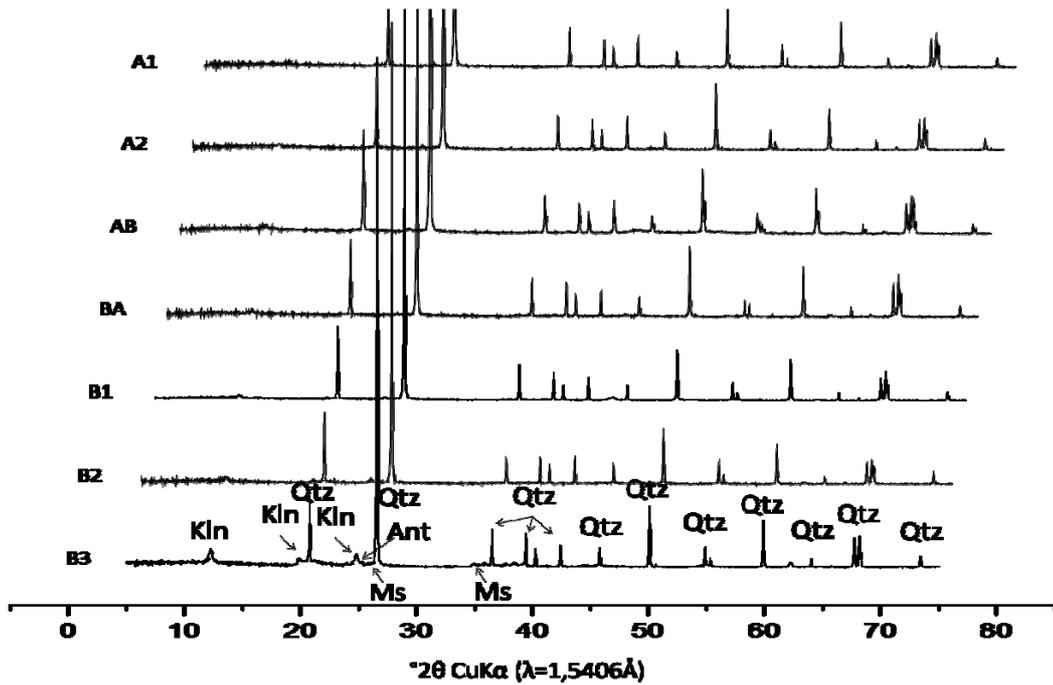


Figura 17 – Difratomogramas de raios x do perfil de solo AD do Sítio da Mata. Qtz-quartzo; Kln-Caulinita; Ant-Anatásio; Ms-Muscovita

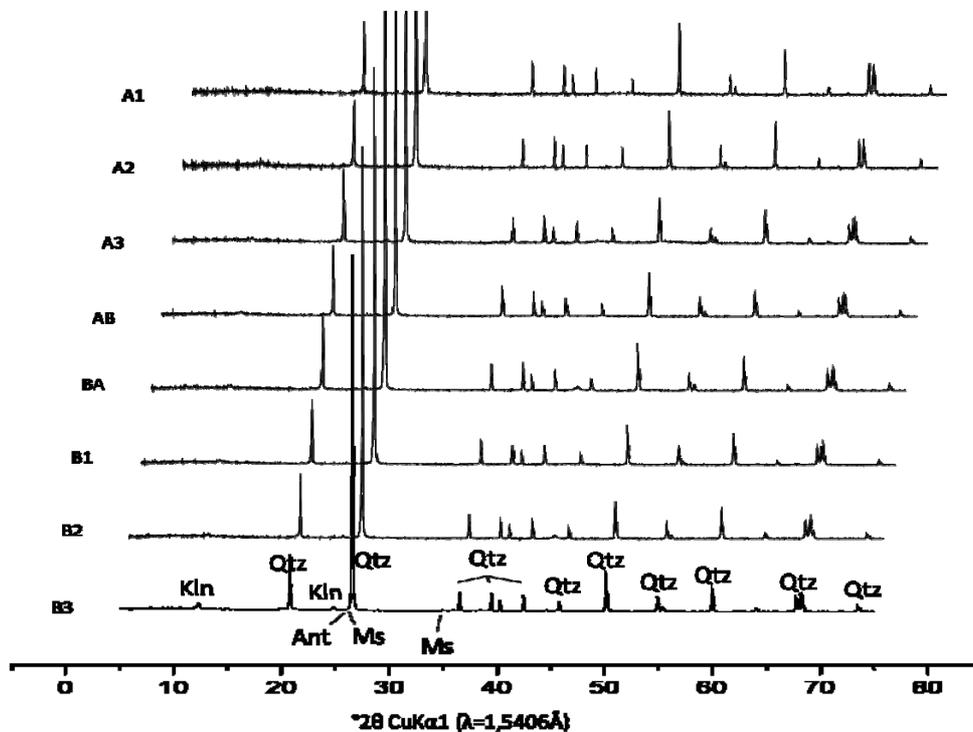


Figura 18 - Difratomogramas de raios x do perfil de solo TPA do Sítio da Mata. Qtz-Quartzo; Kln-Caulinita; Ant-Anatásio; Ms-Muscovita

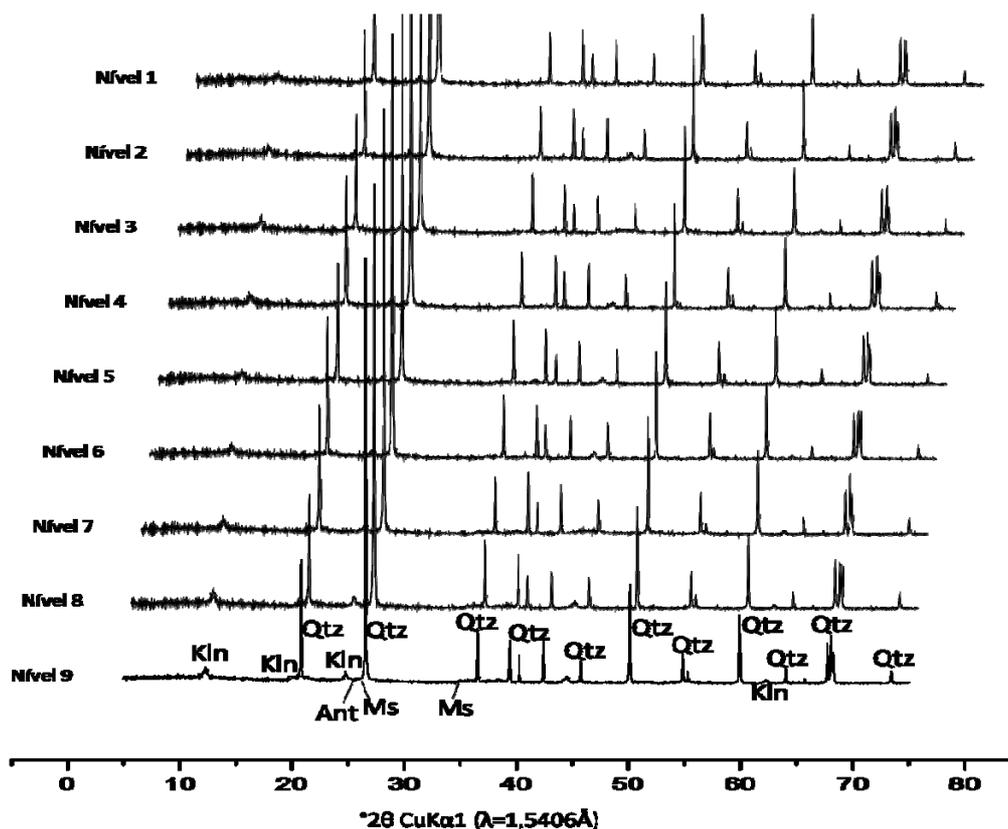


Figura 19 - Difratoformas de raios x do perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém. Qtz-Quartzo; Kln-Caulinita; Ant-Anatásio; Ms-Muscovita

### 5.1.3 Composição Química

#### 5.1.3.1 Elementos Maiores

A Tabela 5 abaixo apresenta as concentrações dos elementos maiores no perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata. Seus principais constituintes são o  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , como ocorre na maioria dos solos amazônicos (Costa & Kern 1999). A grande quantidade de  $\text{SiO}_2$  está relacionada ao elevado percentual da fração areia presente neste solo, representada por grãos de quartzo identificados por difração de raios-X, como mostrado anteriormente. A caulinita presente no solo também contribui para a grande quantidade de  $\text{SiO}_2$  no perfil adjacente, e para é a principal responsável pelos conteúdos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , principalmente nos horizontes mais profundos, onde seu conteúdo aumenta (Figura 17).  $\text{TiO}_2$  também aparece como um dos principais constituintes do solo, sendo encontrado na forma do mineral anatásio, identificado por DRX e por Microscopia Eletrônica de Varredura. Os demais elementos ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) aparecem em concentrações muito baixas, próximas ao limite de detecção.  $\text{Na}_2\text{O}$  não foi detectado pela técnica analítica empregada.

**Tabela 5 - Concentração de elementos maiores e valores de perda ao fogo (PF) no perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata**

Horiz	Prof (cm)	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	PF %	Total %
A1	9	91,09	2,82	0,60	0,03	0,04	n.d.	0,02	0,52	0,02	4,8	99,94
A2	20	92,91	2,83	0,59	0,02	0,01	n.d.	0,01	0,47	0,02	3,1	99,96
AB	31	91,25	3,75	0,75	0,02	0,01	n.d.	0,02	0,65	0,02	3,4	99,87
BA	45	92,24	3,37	0,64	0,02	0,01	n.d.	0,02	0,52	0,02	3,1	99,94
B1	65	89,65	5,10	0,97	0,02	0,01	n.d.	0,02	0,77	0,02	3,3	99,86
B2	88	87,22	6,77	1,21	0,03	0,01	n.d.	0,02	0,75	0,02	3,9	99,93
B3	120	80,42	11,09	1,88	0,03	0,01	n.d.	0,03	0,89	0,02	5,5	99,87
MC		61,50	15,10	6,28	3,70	5,50	3,20	2,40	0,68	0,18	-	-

MC – Média Crustal (Wedepohl 1995); n. d. - não detectado

No perfil de Terra Preta do Sítio da Mata observa-se comportamento semelhante ao do perfil adjacente, com SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub> como os principais constituintes do solo. Entretanto é possível observar uma pequena elevação nas concentrações de CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 18). MgO e K<sub>2</sub>O apresentam pouca variação em relação ao solo adjacente. Assim como no perfil adjacente, Na<sub>2</sub>O não foi detectado no perfil TPA do Sítio da Mata. A Tabela 6 mostra as concentrações dos elementos maiores ao longo do perfil de Terra Preta do Sítio da Mata.

**Tabela 6 - Concentração de elementos maiores e valores de perda ao fogo (PF) no perfil de solo TPA do Sítio da Mata**

Horiz	Prof (cm)	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	PF %	Total %
A1	14	91,84	2,78	0,60	0,03	0,07	n.d.	0,02	0,39	0,04	4,2	99,98
A2	27	89,47	4,42	0,92	0,04	0,07	n.d.	0,04	0,55	0,06	4,4	99,99
A3	40	92,22	3,22	0,77	0,03	0,05	n.d.	0,03	0,40	0,05	3,2	99,98
AB	58	92,86	2,89	0,60	0,02	0,03	n.d.	0,02	0,38	0,03	3,1	99,93
BA	76	93,29	3,14	0,63	0,02	0,03	n.d.	0,02	0,43	0,03	2,4	99,99
B1	93	93,61	2,91	0,59	0,02	0,03	n.d.	0,01	0,40	0,03	2,4	100,00
B2	130	93,72	2,99	0,64	0,02	0,02	n.d.	0,01	0,44	0,03	2,1	99,97
B3	150	88,41	6,06	1,19	0,03	0,02	n.d.	0,02	0,62	0,04	3,5	99,89
MC		61,50	15,10	6,28	3,70	5,50	3,20	2,40	0,68	0,18	-	-

MC – Média Crustal (Wedepohl 1995); n. d. - não detectado

Quando confrontados o perfil adjacente e o perfil TPA do Sítio da Mata (Figuras 17 e 18), observa-se que as concentrações de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e a perda ao fogo (PF) se assemelham nos dois perfis. Nota-se, no entanto, uma acentuada elevação no conteúdo de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em direção à base apenas no perfil adjacente (Figura 17), associada ao aumento da fração argila, representada pela caulinita (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) neste perfil de solo.

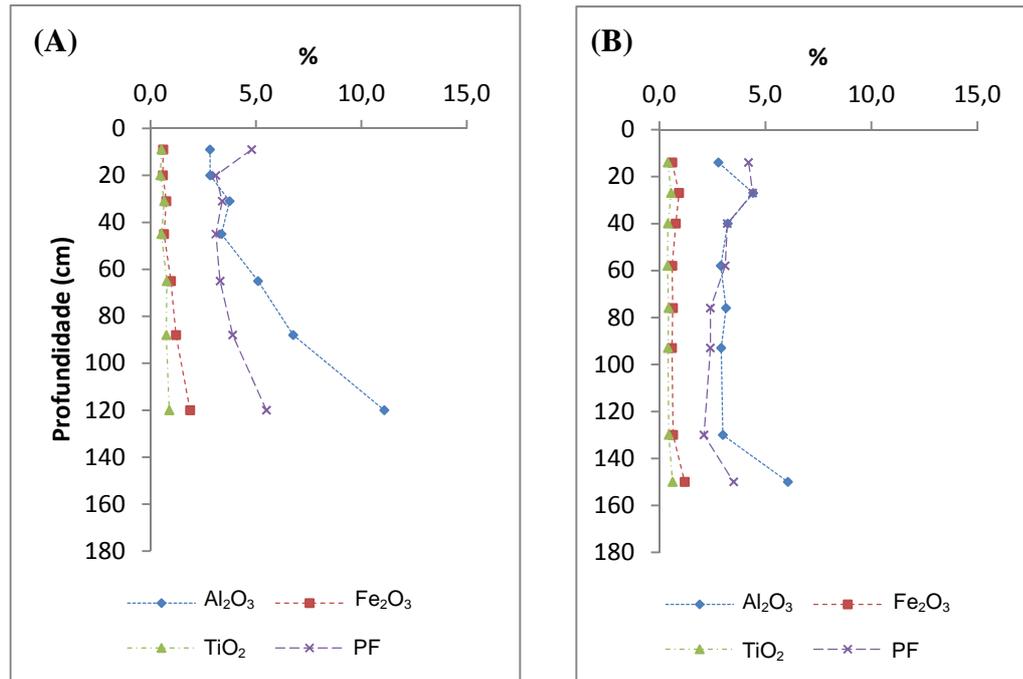


Figura 20 - Distribuição dos teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e PF ao longo do perfil adjacente (A) e do perfil TPA do Sítio da Mata (B)

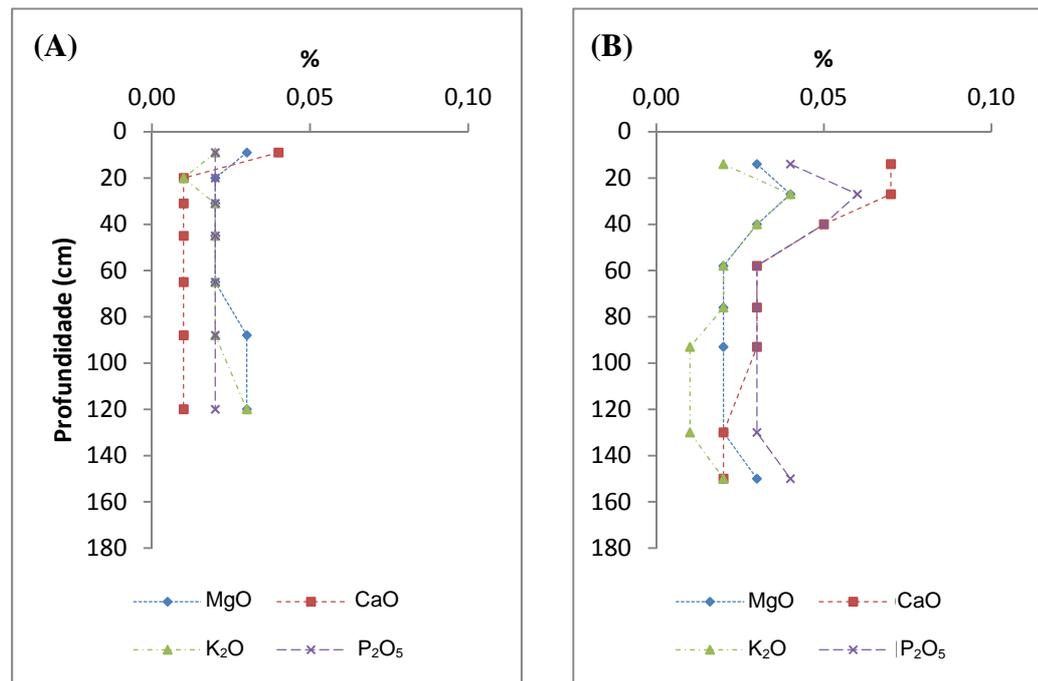


Figura 21 - Distribuições dos teores de MgO, CaO, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ao longo do perfil de solo adjacente (A) e no perfil TPA do Sítio da Mata (B)

Da mesma forma como ocorre nos solos do Sítio da Mata, os solos do Sítio Porto de Santarém são constituídos principalmente por SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub>. Estes elementos foram identificados como os principais constituintes de solos amazônicos, tanto em sítios com Terra Preta, como em solos adjacentes (Carmo 2008, Gurjão 2003, Costa & Kern 1999, Kern

1996). Os solos do Sítio Porto de Santarém apresentam concentrações levemente menores de  $\text{SiO}_2$  e concentrações ligeiramente superiores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em relação aos solos do Sítio da Mata. Contudo, a principal diferença entre os sítios quanto à sua composição química, está nos teores de  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , que são mais enriquecidos no solo do Sítio Porto de Santarém (Tabela 7 e Figura 19).

A maior concentração de  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  no solo do Sítio Porto de Santarém pode estar associada a presença de apatita biogênica nestes solos (espinhas de peixes, ossos de mamíferos e até mesmo humanos), mas não somente a isto, uma vez que seus valores não mostram correlação significativa ( $R^2 < 0,3$ ), indicando fontes diferentes de  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Os elevados teores de  $\text{CaO}$  podem estar relacionados à abundante presença de conchas e carapaças encontradas na região de Santarém (Silveira *et al.* 2009), enquanto o  $\text{P}_2\text{O}_5$  podem ser oriundos do descarte de material vegetal no solo, como mandioca, açaí, bacaba, além da apatita biogênica, contribuindo para o elevado conteúdo deste elemento no solo (Smith 1980, Lima *et al.* 2009). Os conteúdos de  $\text{MgO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  não mostraram diferenças significativas entre os solos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém. Assim como no Sítio da Mata,  $\text{Na}_2\text{O}$  não foi detectado no solo do Sítio Porto de Santarém.

**Tabela 7 - Concentração de elementos maiores e valores de PF no perfil TPA do Sítio Porto de Santarém**

Nível	Prof (cm)	$\text{SiO}_2$ %	$\text{Al}_2\text{O}_3$ %	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ %	$\text{MgO}$ %	$\text{CaO}$ %	$\text{Na}_2\text{O}$ %	$\text{K}_2\text{O}$ %	$\text{TiO}_2$ %	$\text{P}_2\text{O}_5$ %	PF %	Total %
Nível 1	10	84,24	5,42	2,96	0,03	0,21	n.d.	0,02	0,40	0,13	6,6	100,01
Nível 2	30	85,65	5,50	1,74	0,02	0,19	n.d.	0,02	0,42	0,13	6,3	99,97
Nível 3	45	83,81	7,44	1,79	0,03	0,22	n.d.	0,03	0,47	0,22	6,0	100,01
Nível 4	87	86,30	5,88	1,55	0,03	0,18	n.d.	0,03	0,38	0,26	5,4	100,01
Nível 5	105	88,27	4,84	0,91	0,02	0,13	n.d.	0,02	0,35	0,11	5,3	99,95
Nível 6	115	86,57	5,95	1,12	0,02	0,10	n.d.	0,02	0,41	0,13	5,7	100,02
Nível 7	130	85,01	6,97	1,18	0,02	0,11	n.d.	0,01	0,46	0,13	6,1	99,99
Nível 8	160	85,93	7,29	1,16	0,01	0,08	n.d.	0,02	0,46	0,10	4,9	99,95
Nível 9	170	84,74	8,49	1,35	0,01	0,07	n.d.	0,01	0,55	0,14	4,6	99,96
MC		61,50	15,10	6,28	3,70	5,50	3,20	2,40	0,68	0,18	-	-

MC – Média Crustal (Wedepohl 1995); n. d. - não detectado

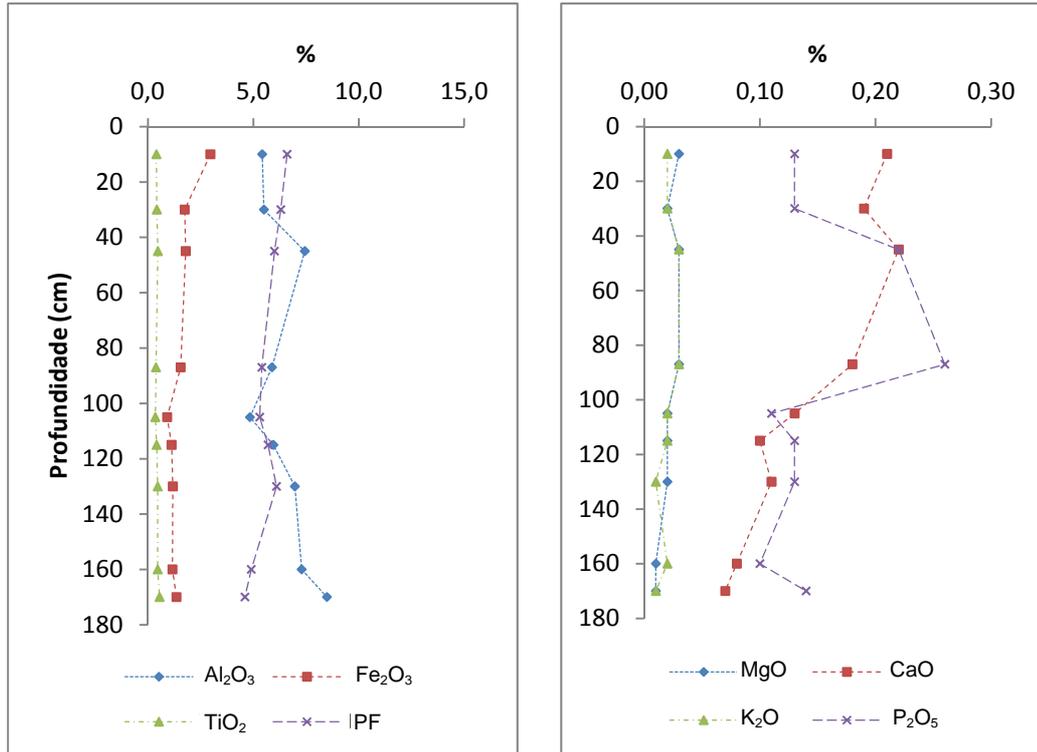


Figura 22 - Distribuição dos teores de elementos maiores ao longo do perfil TPA do Sítio Porto de Santarém

### 5.1.3.2 Elementos Traço

Entre os elementos traço no Sítio da Mata, observa-se um leve empobrecimento de V, Ga, Y, Zr, Nb, e Hf na Terra Preta em relação ao solo adjacente. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa & Kern (1999) em solos antrópicos do Sítio Manduquinha, em Caxiuanã-PA. Por sua vez, Zn, Rb, Sr e Ba apresentam maiores concentrações no solo TPA do que no solo adjacente do Sítio da Mata, semelhante ao observado por Carmo (2008) no Sítio Raimundo, também em Caxiuanã. Arsênio se apresentou abaixo do limite de detecção em quase todos os horizontes do solo adjacente ao Sítio da Mata, estando presente apenas nos horizontes mais profundos (B2 e B3). Entretanto, este elemento foi identificado em todos os horizontes do perfil TPA do mesmo sítio, distribuído de forma aleatória dentro do perfil do solo. Este comportamento difere daquele descrito por Costa & Kern (1999), que identificaram um enriquecimento de As dos horizontes superficiais aos horizontes mais profundos do solo antrópico.

De maneira geral, a TPA do Sítio Porto de Santarém apresenta maiores teores de elementos traço que a TPA do Sítio da Mata. As exceções são As, Rb, Zr, Mo, Cs e Hf, que

apresentam maiores concentrações na TPA do Sítio da Mata, e Cr, Y, U e Hg, que estão em concentrações semelhantes nos solos TPA dos dois sítios (Tabela 8).

**Tabela 8 - Concentração dos elementos traço nos perfis de solo do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém**

	Sc mg Kg <sup>-1</sup>	V mg Kg <sup>-1</sup>	Cr mg Kg <sup>-1</sup>	Co mg Kg <sup>-1</sup>	Ni mg Kg <sup>-1</sup>	Cu mg Kg <sup>-1</sup>	Zn mg Kg <sup>-1</sup>	Ga mg Kg <sup>-1</sup>	As mg Kg <sup>-1</sup>	Rb mg Kg <sup>-1</sup>	Sr mg Kg <sup>-1</sup>	Y mg Kg <sup>-1</sup>	Zr mg Kg <sup>-1</sup>	Nb mg Kg <sup>-1</sup>	Mo mg Kg <sup>-1</sup>
<b>Perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata</b>															
<b>A1</b>	2	22	20,5	0,4	0,4	0,7	1	4,6	n. d.	0,8	7,1	9,6	842,5	9,0	0,3
<b>A2</b>	2	19	20,5	0,5	0,4	0,5	1	3,7	n. d.	0,7	5,9	7,0	587,9	8,4	0,3
<b>AB</b>	3	24	27,4	0,7	0,4	0,5	1	5,0	n. d.	0,8	6,0	11,0	934,1	10,8	0,3
<b>BA</b>	2	20	27,4	0,4	0,4	0,4	n. d.	4,5	n. d.	0,7	5,3	8,6	726,3	8,5	0,3
<b>B1</b>	4	28	34,2	0,7	0,5	0,4	1	5,7	n. d.	0,8	7,2	12,2	1028,1	13,2	0,4
<b>B2</b>	4	34	47,9	0,8	0,6	0,5	2	8,3	0,6	1,0	9,5	10,2	767,6	15,2	0,4
<b>B3</b>	5	53	61,6	0,7	0,7	0,5	3	13,6	1,2	1,5	15,4	11,2	703,7	16,4	0,5
<b>Perfil de solo TPA do Sítio da Mata</b>															
<b>A1</b>	2	18	n. d.	0,4	0,5	1,6	3	3,6	0,6	1,5	8,4	6,9	508,8	6,9	0,3
<b>A2</b>	3	26	20,5	0,6	0,8	2,6	5	5,3	1,1	2,2	12,1	9,7	646,5	10,0	0,5
<b>A3</b>	2	18	13,7	0,5	0,6	2,3	4	4,4	0,8	1,5	9,0	8,0	449,8	6,9	0,7
<b>AB</b>	2	17	n. d.	0,4	0,5	1,5	3	4,1	0,6	1,2	7,8	6,6	431,7	6,6	0,3
<b>BA</b>	2	19	20,5	0,6	0,4	1,1	2	4,0	0,5	1,2	7,8	7,4	486,9	7,7	0,3
<b>B1</b>	2	18	13,7	0,4	0,4	0,9	1	4,4	0,7	1,0	7,3	6,5	415,6	6,9	0,3
<b>B2</b>	2	21	20,5	0,4	0,4	0,7	2	4,0	0,7	1,0	7,5	7,7	552,0	8,1	0,2
<b>B3</b>	3	34	34,2	0,7	0,6	0,7	2	8,0	1,2	1,9	12,5	18,0	597,4	11,7	0,4
<b>Perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém</b>															
<b>Nível 1</b>	4	52	20,5	0,7	1,1	5,9	24	6,6	1,5	1,6	9,5	9,0	389,1	10,2	0,2
<b>Nível 2</b>	4	37	20,5	0,7	0,8	3,9	15	7,0	0,8	1,8	9,8	9,5	440,4	10,3	0,2
<b>Nível 3</b>	4	45	41,1	2,1	0,8	3,6	9	9,6	0,8	2,4	14,6	10,3	361,7	10,9	0,2
<b>Nível 4</b>	3	34	20,5	0,8	1,2	4,9	13	7,4	0,7	2,9	12,9	7,6	298,3	8,8	0,2
<b>Nível 5</b>	3	22	13,7	0,5	0,9	3,5	10	6,5	n. d.	1,5	12,5	7,8	322,7	8,3	0,2
<b>Nível 6</b>	4	30	20,5	0,9	0,5	2,7	6	8,2	n. d.	1,4	9,7	8,4	324,9	10,6	0,2
<b>Nível 7</b>	4	31	20,5	0,6	0,7	2,6	5	9,6	n. d.	1,1	10,0	8,1	363,9	11,4	0,2
<b>Nível 8</b>	4	35	20,5	0,3	0,5	1,9	3	10,4	n. d.	1,1	8,6	8,1	358,5	10,8	0,2
<b>Nível 9</b>	4	38	34,2	0,8	0,8	1,6	2	10,2	n. d.	1,0	79,4	10,0	379,8	11,9	0,2
<b>MC</b>	16	98	126	24	56	25	65	15	2	78	333	24	203	19	1,1

MC – Média Crustal (Wedepohl 1995); n. d. - não detectado

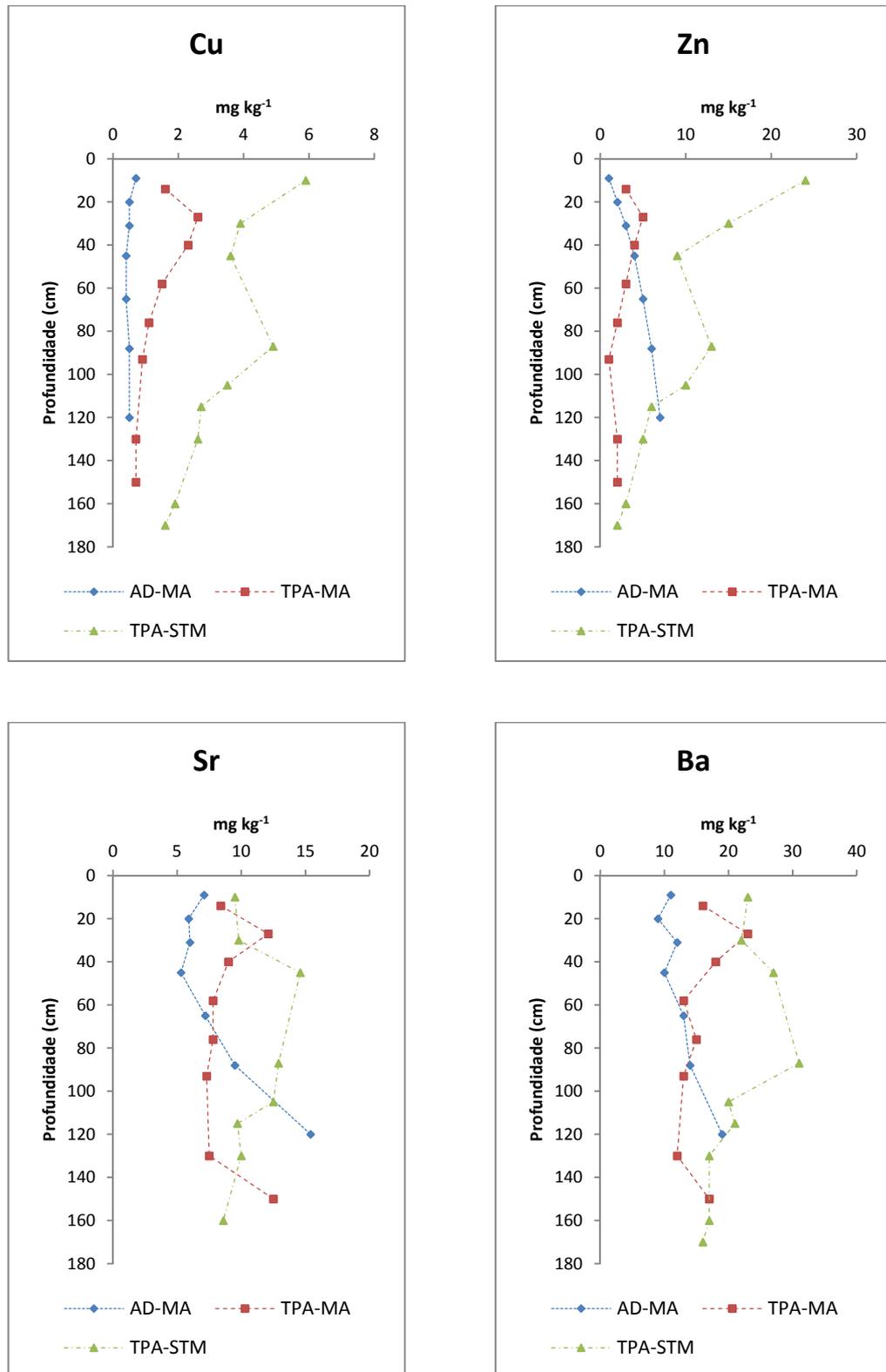
**Tabela 8 - Concentração dos elementos traço nos perfis de solo do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém (cont.)**

	Sn mg Kg <sup>-1</sup>	Cs mg Kg <sup>-1</sup>	Ba mg Kg <sup>-1</sup>	Hf mg Kg <sup>-1</sup>	Ta mg Kg <sup>-1</sup>	W mg Kg <sup>-1</sup>	Pb mg Kg <sup>-1</sup>	Th mg Kg <sup>-1</sup>	U mg Kg <sup>-1</sup>	Au µg.Kg <sup>-1</sup>	Hg mg Kg <sup>-1</sup>
<b>Perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata</b>											
<b>A1</b>	n. d.	0,3	11	22,0	0,6	0,5	1,2	5,6	1,6	2,7	0,03
<b>A2</b>	n. d.	0,2	9	16,2	0,5	0,5	1,1	5,2	1,1	0,6	0,02
<b>AB</b>	1	0,2	12	25,9	0,8	0,7	1,3	6,9	1,7	n. d.	0,02
<b>BA</b>	1	0,1	10	20,0	0,7	0,6	1,2	5,8	1,4	0,8	0,01
<b>B1</b>	1	0,2	13	28,0	0,9	0,9	1,6	9,1	2,0	n. d.	0,02
<b>B2</b>	2	0,3	14	21,6	1,2	0,9	2,1	9,7	1,7	n. d.	0,04
<b>B3</b>	2	0,3	19	19,4	1,2	1,0	3,4	14,9	2,0	n. d.	0,06
<b>Perfil de solo TPA do Sítio da Mata</b>											
<b>A1</b>	n. d.	0,4	16	13,8	0,6	n. d.	2,1	4,6	1,1	0,6	0,03
<b>A2</b>	n. d.	0,5	23	17,3	0,7	0,6	4,0	7,1	1,4	0,7	0,05
<b>A3</b>	n. d.	0,3	18	12,4	0,5	n. d.	2,2	4,5	1,0	n. d.	0,04
<b>AB</b>	n. d.	0,3	13	10,8	0,5	n. d.	1,5	4,1	0,9	n. d.	0,03
<b>BA</b>	n. d.	0,3	15	12,8	0,6	n. d.	1,3	4,7	1,1	n. d.	0,03
<b>B1</b>	n. d.	0,3	13	10,9	0,4	n. d.	1,4	4,5	1,0	n. d.	0,02
<b>B2</b>	n. d.	0,2	12	14,3	0,6	n. d.	1,4	5,6	1,1	n. d.	0,03
<b>B3</b>	1	0,3	17	15,7	0,8	0,8	2,6	9,7	1,8	n. d.	0,06
<b>Perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém</b>											
<b>Nível 1</b>	2	0,2	23	10,0	0,7	1,0	7,2	8,6	1,5	4,8	0,05
<b>Nível 2</b>	2	0,2	22	11,8	0,8	3,5	3,7	9,2	1,4	0,7	0,03
<b>Nível 3</b>	1	0,3	27	10,9	0,7	1,0	2,1	9,8	1,5	n. d.	0,04
<b>Nível 4</b>	n. d.	0,3	31	8,6	0,6	0,9	2,6	8,1	1,3	n. d.	0,03
<b>Nível 5</b>	n. d.	0,2	20	8,8	0,7	0,7	2,3	7,3	1,3	0,7	0,03
<b>Nível 6</b>	1	0,1	21	8,9	0,7	0,9	1,8	8,8	1,4	n. d.	0,03
<b>Nível 7</b>	1	0,2	17	9,6	0,8	1,1	2,0	8,6	1,3	n. d.	0,03
<b>Nível 8</b>	2	0,2	17	9,1	0,8	1,2	1,7	9,7	1,3	n. d.	0,04
<b>Nível 9</b>	1	0,2	16	10,7	0,8	1,1	1,6	10,2	1,4	n. d.	0,04
<b>MC</b>	2,3	3,4	584	4,9	1,1	1	14,8	8,5	1,7	2,5	0,04

MC – Média Crustal (Wedepohl 1995); n. d. - não detectado

Kern (1996) aponta Cu, Zn, Sr e Ba, dentre outros, como elementos diretamente ligados à atividade humana, sendo enriquecidos nos solos antrópicos em relação à área adjacente de sítios arqueológicos. Este comportamento é observado no Sítio da Mata, com maior concentração destes elementos nos horizontes superficiais da TPA, diminuindo nos horizontes mais profundos. Com relação ao Sítio Porto de Santarém, a maior concentração

desses elementos, observada na Tabela 8 e nos gráficos abaixo, indica um maior período de ocupação e/ou maior densidade populacional neste sítio em relação ao Sítio da Mata.



**Figura 23 - Distribuição das concentrações de Cu, Zn, Sr e Ba ao longo dos perfis de solo adjacente e TPA do Sítio da Mata e perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém**

Quanto aos elementos terras raras, estes apresentam concentrações semelhantes tanto nos solos adjacentes como no solo TPA do Sítio da Mata, e apresentam concentrações levemente superiores na TPA do Sítio Porto de Santarém (Tabelas 9, 10 e 11, respectivamente). No perfil adjacente ao Sítio da Mata, as maiores concentrações de ETR são encontradas nos horizontes mais profundos (B1, B2 e B3), enquanto no perfil TPA do mesmo sítio as maiores concentrações são encontradas nos horizontes A2 e B3. No perfil TPA do Sítio Porto de Santarém não foram observadas grandes variações na concentração de ETR entre os horizontes do perfil.

**Tabela 9 - Concentração de elementos terras raras no perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata**

	La mg Kg <sup>-1</sup>	Ce mg Kg <sup>-1</sup>	Pr mg Kg <sup>-1</sup>	Nd mg Kg <sup>-1</sup>	Sm mg Kg <sup>-1</sup>	Eu mg Kg <sup>-1</sup>	Gd mg Kg <sup>-1</sup>	Tb mg Kg <sup>-1</sup>	Dy mg Kg <sup>-1</sup>	Ho mg Kg <sup>-1</sup>	Er mg Kg <sup>-1</sup>	Tm mg Kg <sup>-1</sup>	Yb mg Kg <sup>-1</sup>	Lu mg Kg <sup>-1</sup>
<b>A1</b>	4,5	8,9	0,96	3,1	0,63	0,13	0,75	0,17	1,22	0,33	1,13	0,20	1,47	0,26
<b>A2</b>	3,7	7,3	0,74	2,6	0,52	0,09	0,59	0,13	0,98	0,24	0,86	0,15	1,05	0,19
<b>AB</b>	4,8	9,4	0,94	3,6	0,68	0,13	0,83	0,19	1,45	0,38	1,31	0,24	1,67	0,29
<b>BA</b>	4,3	7,8	0,80	2,8	0,54	0,11	0,65	0,16	1,12	0,29	0,98	0,17	1,30	0,22
<b>B1</b>	6,3	12,0	1,20	3,8	0,76	0,16	0,96	0,22	1,65	0,42	1,46	0,25	1,87	0,33
<b>B2</b>	7,4	14,1	1,38	4,6	0,81	0,17	0,90	0,20	1,41	0,37	1,21	0,21	1,53	0,27
<b>B3</b>	12,6	25,9	2,34	7,0	1,17	0,23	1,18	0,23	1,73	0,40	1,37	0,24	1,65	0,29
<b>Cond</b>	0,6	0,2	0,1	0,5	0,15	0,058	0,204	0,04	0,3	0,1	0,17	0,03	0,2	0,03

**Cond – Concentração de elementos terras raras nos condritos**

**Tabela 10 - Concentrações de elementos terras raras no perfil de solo TPA do Sítio da Mata**

	La mg Kg <sup>-1</sup>	Ce mg Kg <sup>-1</sup>	Pr mg Kg <sup>-1</sup>	Nd mg Kg <sup>-1</sup>	Sm mg Kg <sup>-1</sup>	Eu mg Kg <sup>-1</sup>	Gd mg Kg <sup>-1</sup>	Tb mg Kg <sup>-1</sup>	Dy mg Kg <sup>-1</sup>	Ho mg Kg <sup>-1</sup>	Er mg Kg <sup>-1</sup>	Tm mg Kg <sup>-1</sup>	Yb mg Kg <sup>-1</sup>	Lu mg Kg <sup>-1</sup>
<b>A1</b>	5,2	9,8	1,01	3,8	0,63	0,11	0,67	0,14	1,01	0,23	0,79	0,14	1,01	0,19
<b>A2</b>	8,4	15,9	1,63	5,4	1,04	0,18	1,04	0,21	1,38	0,33	1,06	0,19	1,26	0,23
<b>A3</b>	5,5	10,6	1,04	3,6	0,64	0,13	0,75	0,16	1,13	0,28	0,81	0,15	1,04	0,18
<b>AB</b>	4,9	9,6	0,91	3,1	0,55	0,11	0,63	0,13	0,93	0,23	0,76	0,12	0,94	0,16
<b>BA</b>	5,2	9,7	0,97	3,7	0,53	0,12	0,65	0,14	0,95	0,27	0,90	0,14	1,04	0,18
<b>B1</b>	5,0	9,3	0,91	3,1	0,58	0,10	0,63	0,13	0,99	0,22	0,76	0,14	1,01	0,17
<b>B2</b>	5,2	9,7	0,92	2,7	0,58	0,10	0,68	0,15	1,06	0,26	0,83	0,15	1,11	0,19
<b>B3</b>	10,3	18,8	1,86	6,4	1,22	0,18	1,74	0,40	2,67	0,61	2,04	0,33	2,18	0,35
<b>Cond</b>	0,6	0,2	0,1	0,5	0,15	0,058	0,204	0,04	0,3	0,1	0,17	0,03	0,2	0,03

**Cond – Concentração de elementos terras raras nos condritos**

Tabela 11 - Concentração dos elementos terras raras no perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém

	La mg Kg <sup>-1</sup>	Ce mg Kg <sup>-1</sup>	Pr mg Kg <sup>-1</sup>	Nd mg Kg <sup>-1</sup>	Sm mg Kg <sup>-1</sup>	Eu mg Kg <sup>-1</sup>	Gd mg Kg <sup>-1</sup>	Tb mg Kg <sup>-1</sup>	Dy mg Kg <sup>-1</sup>	Ho mg Kg <sup>-1</sup>	Er mg Kg <sup>-1</sup>	Tm mg Kg <sup>-1</sup>	Yb mg Kg <sup>-1</sup>	Lu mg Kg <sup>-1</sup>
Nível 1	11,8	21,3	1,79	6,0	0,93	0,17	1,07	0,21	1,31	0,29	1,08	0,19	1,26	0,23
Nível 2	10,8	19,8	1,61	4,3	0,86	0,15	0,97	0,19	1,33	0,34	1,17	0,21	1,50	0,25
Nível 3	13,7	23,4	1,97	5,6	0,98	0,18	1,07	0,23	1,53	0,36	1,24	0,21	1,49	0,24
Nível 4	11,3	20,4	1,74	5,7	0,86	0,16	0,95	0,18	1,17	0,28	0,87	0,15	1,14	0,19
Nível 5	8,6	15,5	1,33	4,3	0,69	0,14	0,77	0,17	1,15	0,27	0,99	0,18	1,13	0,20
Nível 6	11,1	19,8	1,69	5,3	0,88	0,16	0,97	0,19	1,37	0,31	1,05	0,18	1,28	0,22
Nível 7	12,2	21,9	1,83	5,6	0,86	0,16	0,94	0,18	1,21	0,27	1,01	0,17	1,27	0,21
Nível 8	11,8	19,3	1,69	4,9	0,75	0,15	0,82	0,17	1,15	0,26	0,91	0,17	1,23	0,20
Nível 9	13,6	23,1	1,86	4,9	0,89	0,17	0,99	0,21	1,49	0,36	1,22	0,22	1,41	0,25
Cond	0,6	0,2	0,1	0,5	0,15	0,058	0,204	0,04	0,3	0,1	0,17	0,03	0,2	0,03

#### Cond – Concentração de elementos terras raras nos condritos

Quando normalizados em relação aos condritos, os elementos terras raras apresentam o mesmo comportamento nos três perfis de solo estudados, com enriquecimento de elementos terras raras leves (ETRL), com destaque para o enriquecimento acentuado de Ce e anomalias negativas de Eu e Ho, como mostrado na Figura 21. Observa-se também um leve enriquecimento de Er, Tm, Yb e Lu nos três perfis. O mesmo comportamento de enriquecimento de ETRL e anomalia negativa de Eu foi identificado por Carmo (2008) em solos TPA do Sítio Raimundo, em Caxiuana.

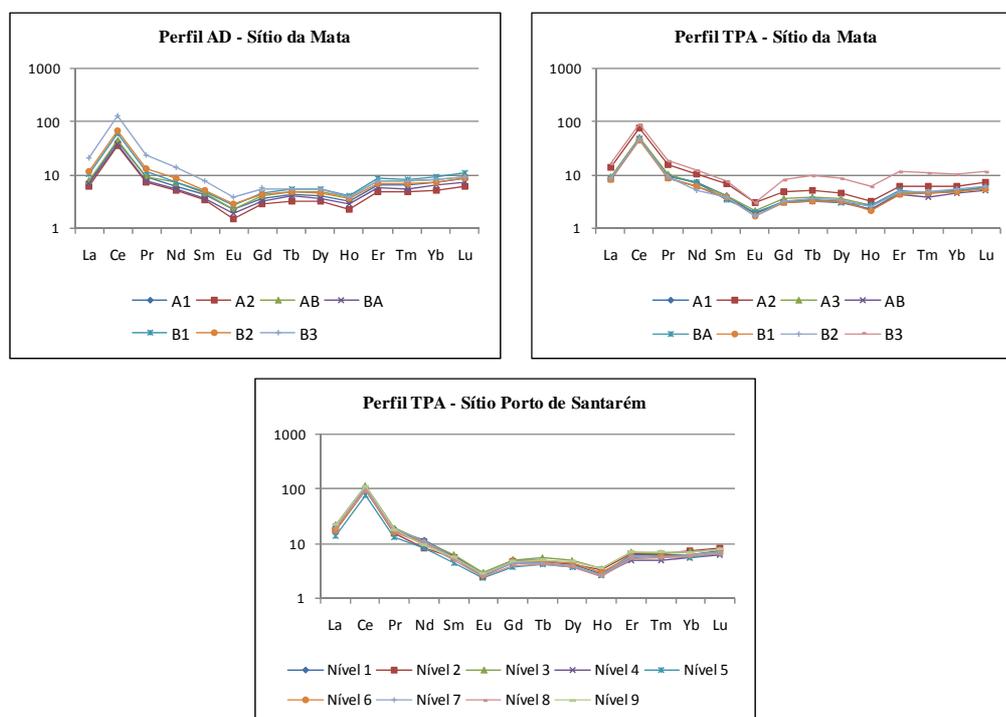


Figura 24 – Distribuição dos Elementos Terras Raras normalizados aos condritos ao longo dos perfis AD e TPA do Sítio da Mata e do perfil TPA do Sítio Porto de Santarém

### 5.1.4 Fertilidade

As análises de fertilidade foram realizadas nas amostras de solo até os horizontes de transição da Terra Preta (horizonte BA). Os horizontes mais profundos não foram investigados quanto à sua fertilidade. Os parâmetros de fertilidade dos perfis de solo estudados são descritos na Tabela 12 abaixo.

**Tabela 12 - Parâmetros de fertilidade dos perfis de solo adjacente e TPA do Sítio da Mata e perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém**

	pH (H <sub>2</sub> O) -	P mg/dm <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> mg/dm <sup>3</sup>	Na <sup>+</sup> mg/dm <sup>3</sup>	Ca <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Mg <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	(t) cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	(T) cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	V %	m %	ISNa %	MO dag/Kg
<b>Perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata</b>															
A1	5,2	2,7	17	4,1	1,09	0,55	0,2	4,2	1,7	1,9	5,9	28,8	10,5	0,94	1,98
A2	5,01	2,1	7	1,1	0,24	0,24	0,49	4,2	0,5	0,99	4,7	10,6	49,5	0,48	1,45
AB	4,86	1,4	4	0,1	0,05	0,16	0,78	4	0,22	1	4,22	5,2	78	0,04	1,45
BA	4,9	1	1	0	0	0,13	0,59	3,9	0,13	0,72	4,03	3,2	81,9	0	1,05
<b>Perfil de solo TPA do Sítio da Mata</b>															
A1	5,83	9,6	27	2,1	2,31	0,84	0,1	3,9	3,23	3,33	7,13	45,3	3	0,27	2,11
A2	5,42	7,8	10	1,1	2	0,47	0,1	4,5	2,5	2,6	7	35,7	3,8	0,18	1,58
A3	5,48	12,7	4	0,1	1,99	0,43	0,1	4,2	2,43	2,53	6,63	36,7	4	0,02	1,19
AB	5,53	7,5	1	0	1,12	0,3	0,1	2,3	1,42	1,52	3,72	38,2	6,6	0	0,66
BA	5,64	5,4	0	0	0,96	0,25	0	1,6	1,21	1,21	2,81	43,1	0	0	0,53
<b>Perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém</b>															
Nível 1	5,86	84,9	32	1,1	4,97	0,39	0	3,1	5,44	5,44	8,54	63,7	0	0,09	3,29
Nível 2	5,82	118	20	0	5,16	0,31	0	4,2	5,52	5,52	9,72	56,8	0	0	2,77
Nível 3	5,95	306	7	0	4,57	0,29	0	4,2	4,88	4,88	9,08	53,7	0	0	1,71
Nível 4	5,51	198	9	2,1	3,52	0,35	0,2	7,1	3,9	4,1	11	35,5	4,9	0,22	2,3
Nível 5	5,39	72,9	7	0,1	4,36	0,26	0,1	7,1	4,64	4,74	11,7	39,5	2,1	0,01	3,29

SB – Soma de Bases; t – capacidade de troca catiônica efetiva; T – capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; ISNa – índice de saturação de sódio; MO – matéria orgânica

De forma geral, o perfil TPA do Sítio da Mata apresentou melhores parâmetros de fertilidade em relação ao perfil adjacente do mesmo sítio. A TPA do Sítio da Mata apresentou maiores valores de pH em água, variando de 5,42 a 5,83, contra valores de pH de 4,86 a 5,20 no perfil adjacente. O conteúdo de matéria orgânica variou pouco entre os perfis de TPA e adjacente, com valores levemente superiores no primeiro e com os maiores teores nos horizontes superficiais, decrescendo rumo aos horizontes mais profundos nos dois perfis. Os conteúdos de P disponível, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> são significativamente superiores na TPA em relação à sua área adjacente no Sítio da Mata. K<sup>+</sup> apresentou pequena elevação na TPA quando

comparada ao solo adjacente.  $\text{Na}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  aparecem em concentrações levemente inferiores na TPA em relação à área adjacente.

O perfil de solo TPA do Sítio Porto de Santarém apresentou valores de pH semelhantes aos observados no perfil TPA do Sítio da Mata, variando de 5,39 a 5,95. Foram observados valores semelhantes de  $\text{Na}^+$  para os dois sítios.  $\text{Al}^{3+}$  aparece em menores concentrações na TPA do Sítio Porto de Santarém, sendo identificado apenas nos horizontes mais profundos do perfil.  $\text{Mg}^{2+}$  também apresenta menores valores no Sítio Porto de Santarém, enquanto  $\text{K}^+$  aparece levemente enriquecido no mesmo sítio em relação ao Sítio da Mata. A principal diferença entre os solos dos sítios estudados está nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e P disponível, que estão mais elevados na TPA do Sítio Porto de Santarém, principalmente com relação aos teores de P.

Com relação ao índice de saturação por bases (valor V), o solo do Sítio Porto de Santarém apresenta valores acima de 50% em todos os horizontes, sendo classificado com solo eutrófico. O perfil de solo adjacente ao Sítio da Mata apresenta baixos índices de saturação por bases, sendo assim classificado como solo distrófico. O perfil TPA do Sítio da Mata apresenta índices de saturação por bases mais elevados que o perfil AD, mas ainda abaixo de 50%, sendo classificado como mesotrófico (EMBRAPA 1999).

## 5.2 FRAGMENTOS CERÂMICOS

### 5.2.1 Mineralogia

Quanto aos fragmentos cerâmicos, o quartzo aparece também como fase mineral principal nas amostras dos dois sítios. Sua presença nos fragmentos cerâmicos se deve à utilização de argilas, que são normalmente constituídas de argilominerais e quartzo, além do que muitas vezes é adicionado como areia, uma prática comum observada por toda a Amazônia (Costa *et al.* 2009b, Rodrigues 2010, Kern 1996). Nos difratogramas dos fragmentos cerâmicos observa-se uma fase amorfa à difração de raios-X, que corresponderia a metacaulinita (Rodrigues 2010).

Nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata foram identificados ainda o anatásio e ilita como minerais acessórios (Figura 25). Esses minerais são comumente encontrados em fragmentos cerâmicos de diversos sítios arqueológicos na Amazônia (Costa *et al.* 2011,

2009b, 2004a, Silva 2010), e retratam semelhanças na matéria prima utilizada para a fabricação cerâmica.

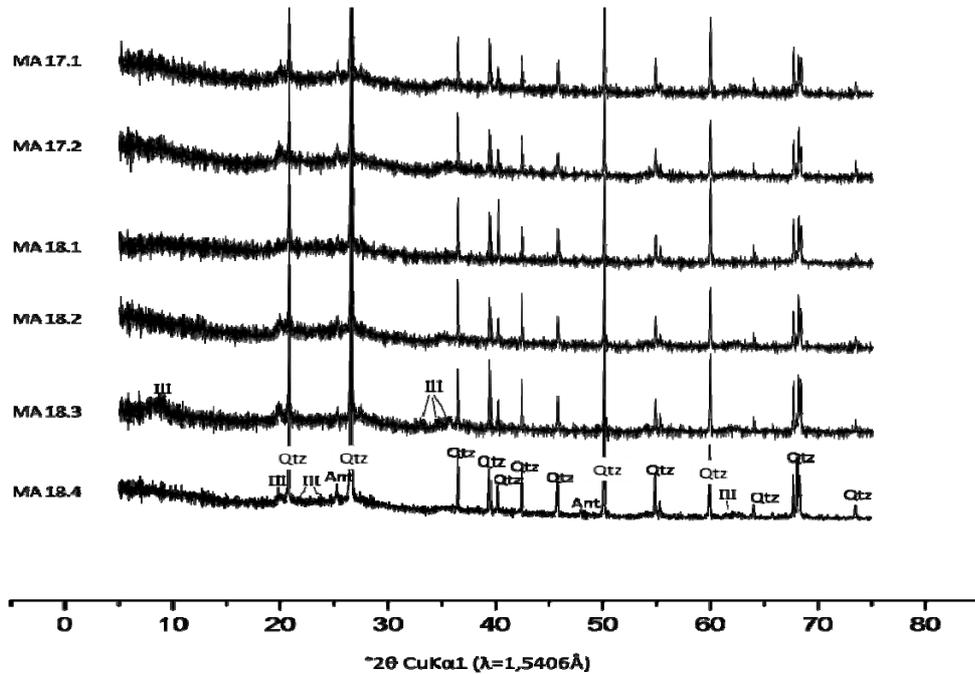


Figura 25 - Difratomogramas de raios x dos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata. Qtz-Quartzo; Ant-Anatásio; III-Illita

Nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém, a mineralogia é composta, assim como nas cerâmicas do Sítio da Mata, por quartzo como a principal fase mineral evidenciada, bem como metacaulinita, além de anatásio e illita (Figura 26). Contudo, nas cerâmicas de Santarém foi possível evidenciar a presença de microclínio e albita, minerais não identificados nas cerâmicas do Sítio da Mata.

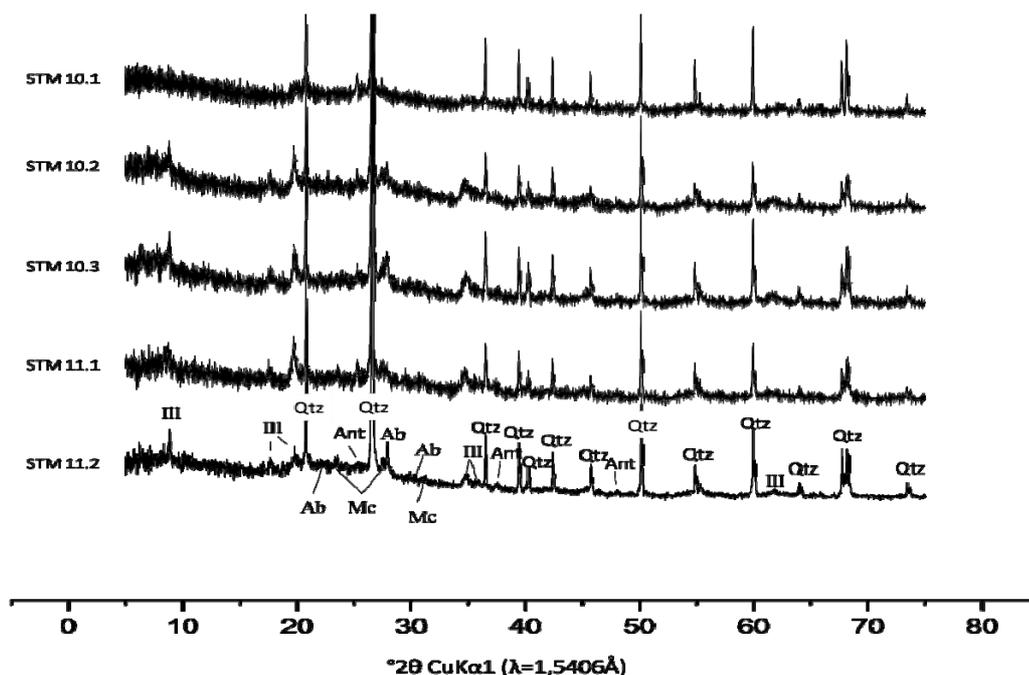


Figura 26 – Difratogramas de raios x dos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém. Qtz-Quartzo; Ant-Anatásio; Ill-Iilita; Mc-Microclíneo; Ab-Albita

## 5.2.2 Composição Química

### 5.2.2.1 Elementos Maiores

A Tabela 13 abaixo mostra a composição química dos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata. Estes são constituídos principalmente por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{TiO}_2$ .

Tabela 13 - Concentração de elementos maiores nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata

	Prof (cm)	$\text{SiO}_2$ %	$\text{Al}_2\text{O}_3$ %	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ %	MgO %	CaO %	$\text{Na}_2\text{O}$ %	$\text{K}_2\text{O}$ %	$\text{TiO}_2$ %	$\text{P}_2\text{O}_5$ %	PF %	Total %
MA 17	20cm	53,27	18,44	4,61	0,46	0,19	0,13	0,70	1,21	1,15	19,7	99,88
MA 18	40cm	53,01	18,02	4,54	0,44	0,27	0,12	0,61	1,21	1,42	20,2	99,87
MA 19	60cm	54,15	16,63	5,21	0,50	0,21	0,15	0,37	1,07	1,03	20,5	99,88
MC	-	61,50	15,10	6,28	3,7	5,50	3,20	2,40	0,68	0,18	-	-

MC – Média Crustal (Wedepohl 1995)

Os altos valores de  $\text{SiO}_2$  estão relacionados aos aluminossilicatos da matéria prima argilosa e aos temperos adicionados à matriz argilosa para a produção cerâmica, como areia, e temperos orgânicos ricos em sílica, como cariapé e cauixi (Costa *et al.* 2011, 2009b, 2004a). O  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é proveniente da metacaulinita da matriz cerâmica. Como descrito anteriormente, a caulinita passa à forma de metacaulinita quando submetida à queima a temperaturas acima de

550 °C, se tornando amorfa à DRX (Costa *et al.* 2009b). Os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> estão associados à presença de óxidos e hidróxidos de ferro nos fragmentos estudados. TiO<sub>2</sub> representa o mineral anatásio, identificado nas análises mineralógicas. MgO, CaO, e K<sub>2</sub>O aparecem em menores concentrações. Diferente do que ocorre na TPA do Sítio da Mata, nos fragmentos cerâmicos foi possível identificar pequenas concentrações de Na<sub>2</sub>O, embora nenhum mineral associado a este elemento tenha sido identificado por DRX.

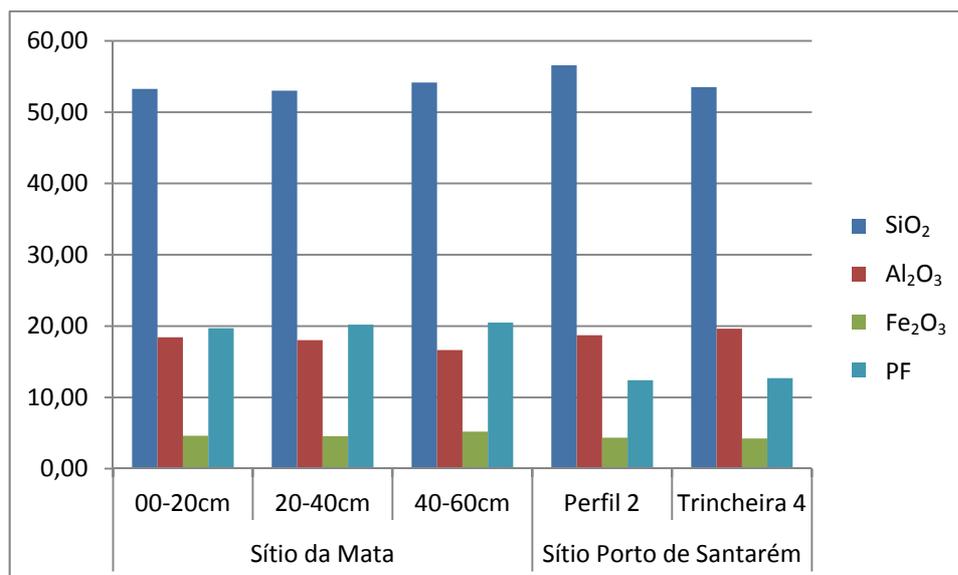
Da mesma forma como ocorre no Sítio da Mata, os fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém são constituídos principalmente por SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Contudo, os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são mais elevados nos fragmentos cerâmicos deste sítio. TiO<sub>2</sub> está presente em menores concentrações nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém do que nos fragmentos do Sítio da Mata. Foram detectados ainda, teores mais elevados de MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O nos FC do Sítio Porto de Santarém (Tabela 14). Os teores de Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém refletem os minerais albita e microclíneo, identificados pela DRX (Figura 23).

**Tabela 14 - Concentração de elementos maiores nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém**

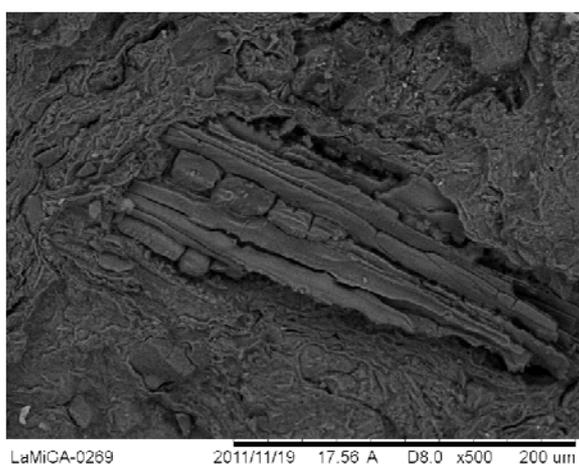
	Loc	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	PF %	Tot %
<b>STM 10</b>	P2	56,58	18,72	4,35	0,67	0,56	0,46	1,67	0,88	3,49	12,4	99,80
<b>STM 11</b>	T4	53,50	19,64	4,23	0,60	0,91	0,38	1,58	0,85	5,37	12,7	99,78
<b>MC</b>	-	61,50	15,10	6,28	3,7	5,50	3,20	2,40	0,68	0,18	-	-

MC – Média Crustal (Wedepohl 1995)

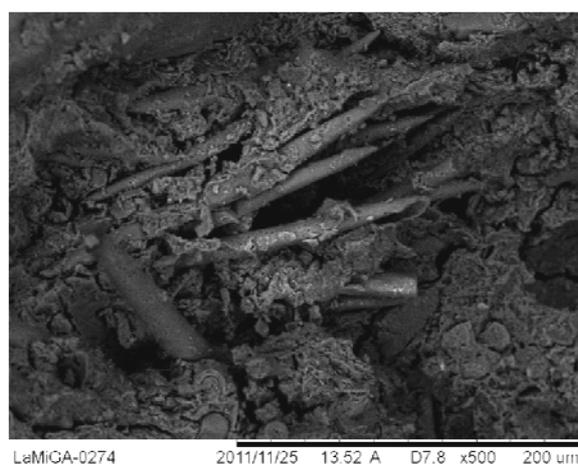
Os fragmentos cerâmicos dos dois sítios arqueológicos estudados apresentam grandes semelhanças em termo das concentrações de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub>. Diferem em função da perda ao fogo (PF), que é, em média, 20,1% no Sítio da Mata e 12, 5% no Sítio Porto de Santarém (Figura 24). Outra característica que diferencia os fragmentos cerâmicos dos dois sítios é tipo de tempero orgânico adicionado à massa cerâmica como antiplástico. Através de microscopia eletrônica foi possível identificar o predomínio do tempero cariapé nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata (Figura 25), enquanto nos fragmentos do Sítio Porto de Santarém predomina o tempero Cauixi (Figura 26), abundante na região do baixo Amazonas (Costa *et al.* 2004a).



**Figura 27 - Concentração de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PF nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém**



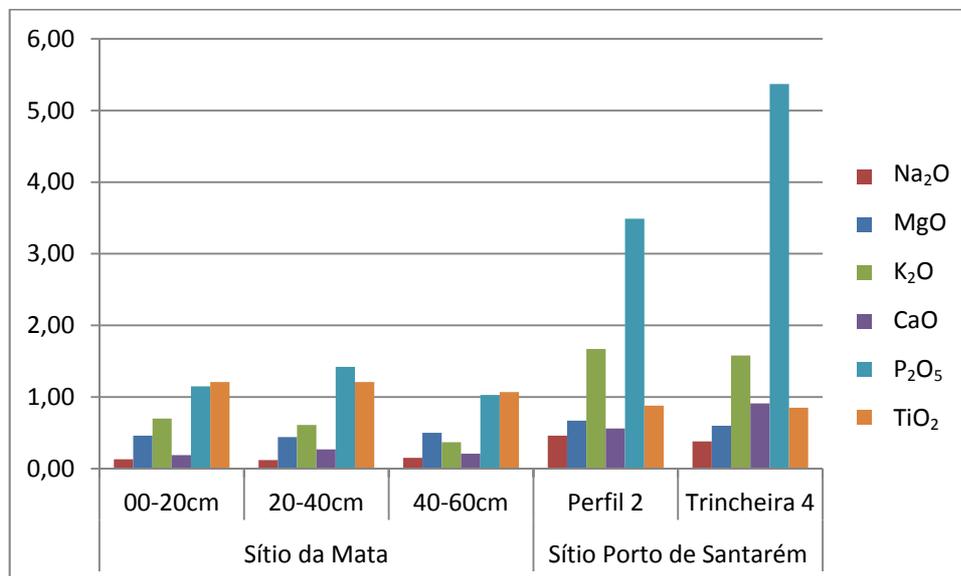
**Figura 28 - Cariapé em fragmento cerâmico do Sítio da Mata**



**Figura 29 - Espículas de cauxi em fragmento cerâmico do Sítio Porto de Santarém**

Diferenças mais expressivas entre os fragmentos cerâmicos dos dois sítios são observadas nos gráficos de Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> abaixo (Figura 30). Nota-se uma maior concentração desses elementos nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém, com destaque para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que apresenta um aumento mais significativo entre os elementos citados. Observa-se um aumento do teor de CaO e MgO nos FC de Santarém em relação aos FC do Maranhão, podendo estar relacionados à presença de antigos depósitos calcários na região de Santarém. O aumento do CaO pode estar relacionado ainda à presença de apatita nos fragmentos cerâmicos de Santarém uma vez que este aumento acompanha a elevação dos

teores de  $P_2O_5$  nestes fragmentos. Os maiores conteúdos de  $Na_2O$  e  $K_2O$  nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém estão relacionados à presença de albíta ( $NaAlSi_3O_8$ ) e microclínio ( $KAlSi_3O_8$ ) respectivamente, identificados por DRX nos fragmentos deste sítio



**Figura 30 - Concentrações de  $Na_2O$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$  e  $TiO_2$  nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata de do Sítio Porto de Santarém**

Embora não se tenha detectado nenhum mineral de fósforo por DRX, os elevados teores deste elemento nos fragmentos cerâmicos dos dois sítios (entre 1,03 e 1,42% no Sítio da Mata e até 5,37% no Sítio Porto de Santarém, na forma de  $P_2O_5$ ), demonstram que o fósforo está presente em grandes quantidades nos fragmentos cerâmicos, porém, na forma de fosfatos amorfos à DRX. Fosfatos de alumínio amorfos ou semi-cristalinos foram identificados em fragmentos cerâmicos de outros sítios arqueológicos da Amazônia (Silva 2010, Costa *et al.* 2009b, Costa *et al.* 2004a, Coelho *et al.* 1996).

#### 5.2.2.2 . Elementos traço

Os elementos traço apresentam comportamentos distintos nos fragmentos cerâmicos dos sítios estudados. Pode-se observar que V, Cr, As, Y, Zr, Nb, Mo, Pb e Hg apresentam maiores concentrações nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata; enquanto Cu, Zn, Rb, Sr, Ba, Hf e Tl apresentam maiores concentrações nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém. Sc, Be, Co, Ni, Ga, Sn, Ta, W, Bi, Th e U apresentam concentrações semelhantes nos fragmentos cerâmicos dos dois sítios.

Quando comparados à média crustal (Wedepohl 1995), os fragmentos cerâmicos de ambos os sítios se mostram enriquecidos em V, Ga, Y, Zr, Ba, W, Pb, Th e U. Já as

concentrações de Cr, Co, Ni, Cu, Sr, Mo aparecem com valores inferiores à média crustal. Sc, Be, Nb, Sn, Ta, Bi e Hg apresentam concentrações semelhantes à média crustal, conforme é observado na Tabela 15 abaixo.

**Tabela 15 - Concentração dos elementos traço nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém**

	Sc mg Kg <sup>-1</sup>	Be mg Kg <sup>-1</sup>	V mg Kg <sup>-1</sup>	Cr mg Kg <sup>-1</sup>	Co mg Kg <sup>-1</sup>	Ni mg Kg <sup>-1</sup>	Cu mg Kg <sup>-1</sup>	Zn mg Kg <sup>-1</sup>	Ga mg Kg <sup>-1</sup>	As mg Kg <sup>-1</sup>	Rb mg Kg <sup>-1</sup>	Sr mg Kg <sup>-1</sup>	Y mg Kg <sup>-1</sup>	Zr mg Kg <sup>-1</sup>	Nb mg Kg <sup>-1</sup>	Mo mg Kg <sup>-1</sup>
<b>Fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata</b>																
<b>MA 17</b>	14	2	110	109,5	5,1	14,0	9,9	49	21,1	8,8	41,1	39,9	31,9	410,3	21,0	0,6
<b>MA 18</b>	14	2	108	102,6	5,4	12,9	8,1	62	19,6	6,5	33,9	42,5	35,1	455,1	21,0	0,5
<b>MA 19</b>	13	2	82	95,8	14,8	22,2	7,1	56	17,7	5,4	21,8	36,5	32,7	395,5	18,3	0,3
<b>Fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém</b>																
<b>STM 10</b>	15	2	98	61,6	5,5	13,3	12,2	100	22,2	1,8	105,5	101,2	26,7	219	17,2	0,1
<b>STM 11</b>	15	2	97	61,6	6,3	14,2	15,1	102	20,8	2	96,3	185,5	30,6	227	17,8	0,1
<b>MC</b>	16	2,4	98	126	24	56	25	65	15	2	78	333	24	203	19	1,1

MC – média crustal (Wedepohl 1995); n. d. – não detectado

**Tabela 15 - Concentração dos elementos traço nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém (cont.)**

	Sn mg Kg <sup>-1</sup>	Cs mg Kg <sup>-1</sup>	Ba mg Kg <sup>-1</sup>	Hf mg Kg <sup>-1</sup>	Ta mg Kg <sup>-1</sup>	W mg Kg <sup>-1</sup>	Tl mg Kg <sup>-1</sup>	Pb mg Kg <sup>-1</sup>	Bi mg Kg <sup>-1</sup>	Th mg Kg <sup>-1</sup>	U mg Kg <sup>-1</sup>	Au µg Kg <sup>-1</sup>	Cd mg Kg <sup>-1</sup>	Hg mg Kg <sup>-1</sup>	Se mg Kg <sup>-1</sup>
<b>Fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata</b>															
<b>MA 17</b>	3	4,6	198	11,5	1,5	1,5	n. d.	22,4	0,1	17,3	3,0	n. d.	n. d.	0,08	0,8
<b>MA 18</b>	2	4,4	215	11,9	1,4	1,7	n. d.	22,0	0,1	16,8	3,1	n. d.	n. d.	0,08	n. d.
<b>MA 19</b>	3	3,2	182	11,1	1,3	1,3	n. d.	19,2	0,1	14,0	2,4	n. d.	n. d.	0,07	n. d.
<b>Fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém</b>															
<b>STM 10</b>	3	8,1	520	6,2	1,1	1,6	0,2	17,8	0,2	16,1	3,3	n. d.	n. d.	0,03	n. d.
<b>STM 11</b>	3	6,9	766	6	1,3	1,8	0,2	20,7	0,2	16,7	3,8	0,6	0,2	0,02	n. d.
<b>MC</b>	2,3	3,4	584	4,9	1,1	1	0,5	14,8	0,085	8,5	1,7	2,5	0,1	0,04	0,12

MC – média crustal (Wedepohl 1995); n. d. - não detectado

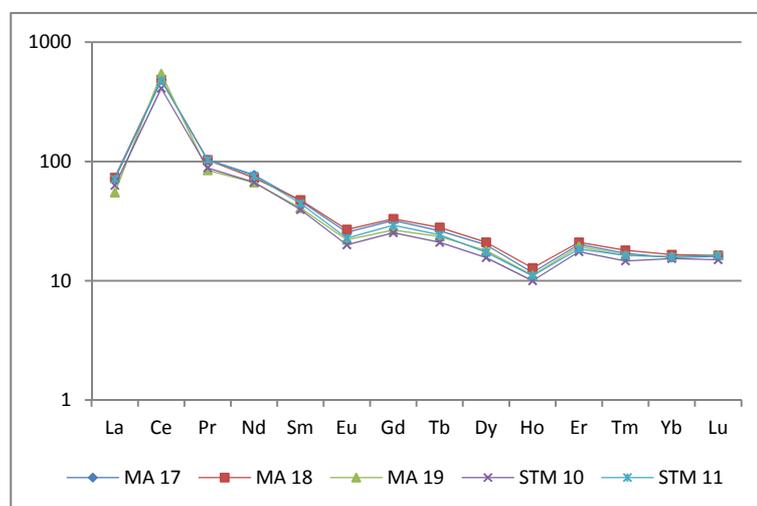
Os elementos terras raras apresentam concentrações semelhantes nos fragmentos cerâmicos dos sítios estudados, como visto na Tabela 16. Quando normalizados em relação aos condritos, os elementos terras raras apresentam o mesmo comportamento nos fragmentos cerâmicos das duas áreas (Figura 28).

**Tabela 16 - Concentração dos elementos terras raras nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém**

	La mg Kg <sup>-1</sup>	Ce mg Kg <sup>-1</sup>	Pr mg Kg <sup>-1</sup>	Nd mg Kg <sup>-1</sup>	Sm mg Kg <sup>-1</sup>	Eu mg Kg <sup>-1</sup>	Gd mg Kg <sup>-1</sup>	Tb mg Kg <sup>-1</sup>	Dy mg Kg <sup>-1</sup>	Ho mg Kg <sup>-1</sup>	Er mg Kg <sup>-1</sup>	Tm mg Kg <sup>-1</sup>	Yb mg Kg <sup>-1</sup>	Lu mg Kg <sup>-1</sup>
<b>Elementos terras raras nos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata</b>														
<b>MA 17</b>	43,5	97,1	10,35	38,6	6,98	1,48	6,54	1,05	5,99	1,17	3,43	0,51	3,13	0,48
<b>MA 18</b>	43,9	96,8	10,30	36,4	7,14	1,56	6,75	1,12	6,31	1,28	3,57	0,54	3,31	0,49
<b>MA 19</b>	32,9	109,0	8,44	33,3	6,10	1,28	5,44	0,94	5,37	1,11	3,30	0,49	3,19	0,49
<b>Elementos terras raras nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém</b>														
<b>STM 10</b>	37,8	82,1	8,84	33,5	5,92	1,16	5,16	0,84	4,69	1,00	2,98	0,44	3,07	0,45
<b>STM 11</b>	42,8	95,5	10,31	37,9	6,68	1,32	5,95	0,97	5,19	1,10	3,14	0,49	3,17	0,49
<b>Cond</b>	0,6	0,2	0,1	0,5	0,15	0,058	0,204	0,04	0,3	0,1	0,17	0,03	0,2	0,03

**Cond – Concentração de elementos terras raras nos condritos**

Semelhante ao que ocorre nos solos de ambos os sítios, pode-se observar maior enriquecimento dos elementos terras raras leves, com anomalia altamente positiva de Ce e anomalias negativas de Eu e Ho. Este comportamento sugere que a matéria prima para a fabricação cerâmica era obtida às proximidades dos assentamentos, e apresentava composição química semelhante nos dois sítios estudados.



**Figura 31 – Distribuição de Elementos Terras Raras normalizados aos condritos nos FC do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém**

### 5.2.3 Fertilidade

Como observado na Tabela 17 abaixo, os fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém apresentam melhores condições de fertilidade que os fragmentos do Sítio da Mata, com o pH levemente mais elevado, maiores conteúdos de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, menor acidez

potencial (H+Al), maiores soma de bases e saturação por bases, maiores CTC efetiva e total, e conteúdo de P disponível muito superior ao encontrado nos fragmentos cerâmicos do sítio do Maranhão. Mg<sup>2+</sup> e matéria orgânica, entretanto, aparecem em menores concentrações nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém. O menor conteúdo de matéria orgânica nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém pode indicar uma queima mais eficiente no processo de fabricação cerâmica, eliminando grande quantidade da matéria orgânica presente na matéria prima dos artefatos cerâmicos de Santarém.

**Tabela 17 - Parâmetros de fertilidade dos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém**

	pH (H <sub>2</sub> O) -	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 %	ISNa	MO dag/kg
<b>Parâmetros de fertilidade dos fragmentos cerâmicos do Sítio da Mata</b>															
<b>MA 17</b>	5,59	84,9	99	21	1,7	0,55	0,29	8,7	2,59	2,88	11,29	22,9	10,1	3,17	4,61
<b>MA 18</b>	5,65	90,1	71	22	1,74	0,46	0,39	9,5	2,48	2,87	11,98	20,7	13,6	3,33	2,63
<b>Parâmetros de fertilidade dos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém</b>															
<b>STM 10</b>	5,78	668,3	182	32,9	3,82	0,41	0,39	7,9	4,84	5,23	12,74	38	7,5	2,74	1,32
<b>STM 11</b>	6,18	1011,8	173	25	7,9	0,26	0	7,1	8,71	8,71	15,81	55,1	0	1,25	1,32

**SB – Soma de Bases; t – capacidade de troca catiônica efetiva; T – capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; ISNa – índice de saturação de sódio; MO – matéria orgânica**

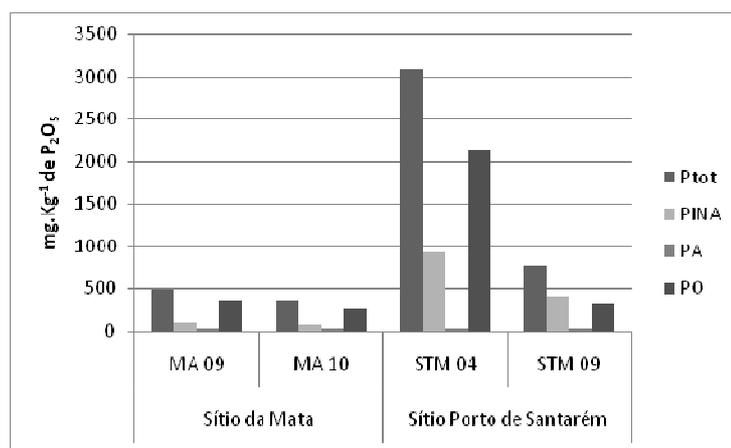
## 6 FRACIONAMENTO DE FÓSFORO

O teor de fósforo total (PTOT) nas quatro amostras de solos TPA variou de 361,3 a 3.096,6 mg Kg<sup>-1</sup>, sendo que os valores mais altos foram encontrados no sítio Porto de Santarém (Tabela 1 e Figura 6). Nas quatro amostras de FC os teores variaram de 9.986,5 a 55.428,9 mg Kg<sup>-1</sup>, também mais elevados no sítio Porto de Santarém, e muito superiores à concentração de fósforo total nas quatro amostras de solo (Tabela 1 e Figura 7).

**Tabela 18 - Concentrações das diferentes frações de fósforo (em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) nas amostras de solo (Terra Preta Arqueológica) e nos fragmentos cerâmicos contidos nas mesmas dos dois sítios estudados**

	Ptot	PINA	PA	PO
mg Kg <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
<b>Solo TPA</b>				
MA 09	490,3	104,5	25,8	360,0
MA 10	361,3	69,7	21,9	269,7
STM 04	3.096,6	929,0	26,6	2.141,0
STM 09	767,7	402,6	24,5	340,6
<b>Fragmentos Cerâmicos</b>				
MA 17	9.986,5	6.580,2	6,9	3.399,3
MA 18	11.741,2	8.051,1	9,5	3.680,5
STM 10	55.428,9	35.817,2	1.032,2	18.579,5
STM 11	49.545,4	28.798,3	7.147,9	13.599,2

Ptot: fósforo total; PINA: fósforo inorgânico não apatítico; PA: fósforo apatítico; PO: fósforo orgânico;  
n.a. – não analisado



**Figura 32 – Concentrações das diferentes frações de fósforo (em mg Kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em amostras de solo TPA investigadas nos sítios da Mata e Porto de Santarém**

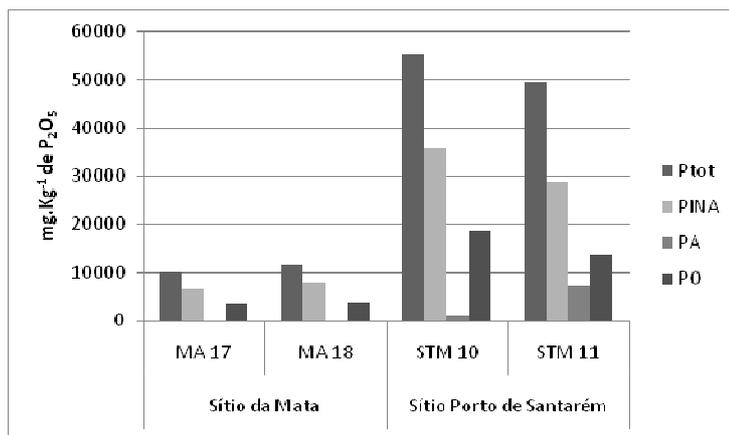


Figura 33 – Concentrações das diferentes frações de fósforo (em mg Kg<sup>-1</sup>) em amostras de fragmentos cerâmicos contidos nos solos tipo Terra Preta Arqueológica dos sítios da Mata e Porto de Santarém

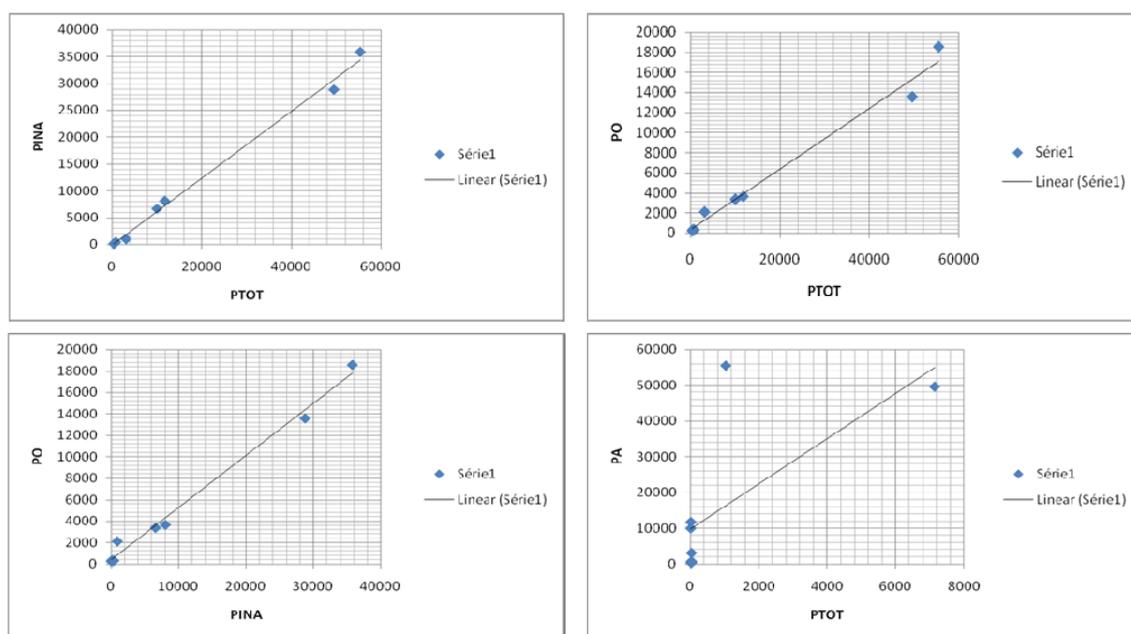
O fósforo orgânico (PO) tende a ser a fração mais abundante nas amostras de solo, equivalente a 74% do PTOT no sítio da Mata (Tabela 2). No sítio Porto de Santarém uma amostra apresenta 69% de PO e outra, ao contrário, é dominada por PINA, com 52%. A fração PA, praticamente não varia em termos de valores absolutos nos dois sítios, mas é percentualmente menos expressiva no sítio Porto de Santarém (0.8 e 3% do PTOT em Santarém e 5 e 6% no Da Mata, vide Tabela 2). Portanto, embora o número de amostras seja pouco significativo, as espécies de fósforo dominantes nas quatro amostras de solo tende a ser PO e PINA, ou seja, está ligado ao material orgânico húmico (carbonoso) ou inorgânico não apatítico. A participação do fósforo apatítico é muito pequena, inferior a 6%, e menor onde o teor de PTOT é maior.

Tabela 19 - Concentrações das diferentes frações de fósforo nas amostras de solo (Terra Preta Arqueológica) e nos fragmentos cerâmicos contidos nas mesmas dos dois sítios estudados

	Ptot	PINA	PA	PO
	%			
<b>Solos TPA</b>				
MA 09	100,0	21,3	5,3	73,4
MA 10	100,0	19,3	6,1	74,6
STM 04	100,0	30,0	0,9	69,1
STM 09	100,0	52,4	3,2	44,4
<b>Fragmentos Cerâmicos</b>				
MA 17	100,0	65,9	0,1	34,0
MA 18	100,0	68,6	0,1	31,3
STM 10	100,0	64,6	1,9	33,5
STM 11	100,0	58,1	14,4	27,4

Ptot: fósforo total; PINA: fósforo inorgânico não apatítico; PA: fósforo apatítico; PO: fósforo orgânico; n.a. – não analisado

Ao contrário do que ocorre nos solos, nos FC o fósforo PINA é dominante, correspondente de 58 a 68,6% do PTOT, seguido pelo PO representando 27 a 34%; enquanto o fósforo PA é insignificante nas duas amostras de FC do sítio da Mata (<0,8%) e no Porto de Santarém representa 1,9 e 14,4% do PTOT. Portanto, os teores de fósforo, sejam totais ou suas frações, são muito distintos nos fragmentos cerâmicos dos dois sítios, e sempre muito mais elevados no Porto Santarém. No entanto parece haver uma relação direta entre o conteúdo de fósforo dos FC e o dos solos nos dois sítios, portanto independentes dos valores absolutos, em que os valores mais elevados de fósforo nos FC encontram-se em solos mais ricos em fósforo, tanto PTOT, como PINA e PO (vide diagramas de dispersão na Figura 8). Em termos percentuais a proporção de PINA e PO é similar nos dois sítios, o fósforo PO tendendo a mais abundante nos solos, e PINA nos FC.



**Figura 34 - Diagramas de dispersão entre as diferentes frações de fósforo em solos TPA e em FC**

O fósforo PA é pouco expressivo e muito variável e não guarda qualquer relação com o PTOT, PINA ou PO. Solos e FC apresentam afinidades químicas entre si que são independentes dos seus valores absolutos. Infelizmente o pequeno número de amostras não assegura uma discussão mais contundente. Apatita foi encontrada como raros fragmentos submicroscópicos de ossos tanto nos solos como nos FC (Figuras 9 e 10, respectivamente). A determinação de apatita foi inferida a partir dos aspectos texturais e pelas análises químicas obtidas com MEV/EDS.

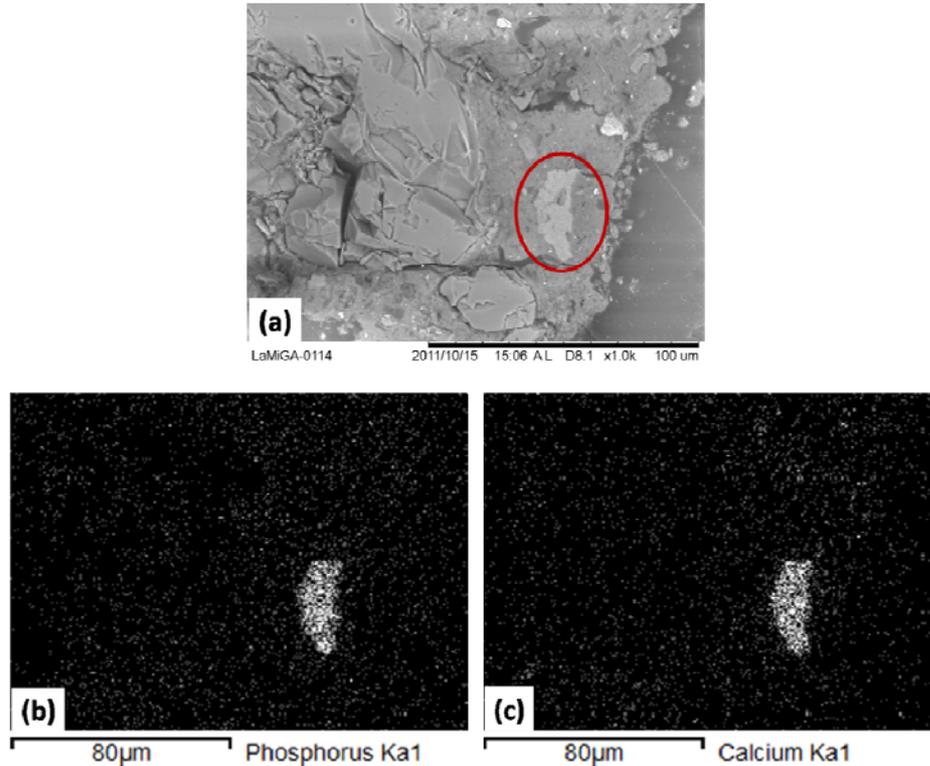


Figura 35 - Fragmento de osso no solo do Sítio Porto de Santarém interpretado a partir de imagem de elétrons retroespalhados (a) combinado com mapa químico para os teores de P (b) e Ca (c), destacados nas áreas mais claras dos mapas obtidos por MEV/EDS

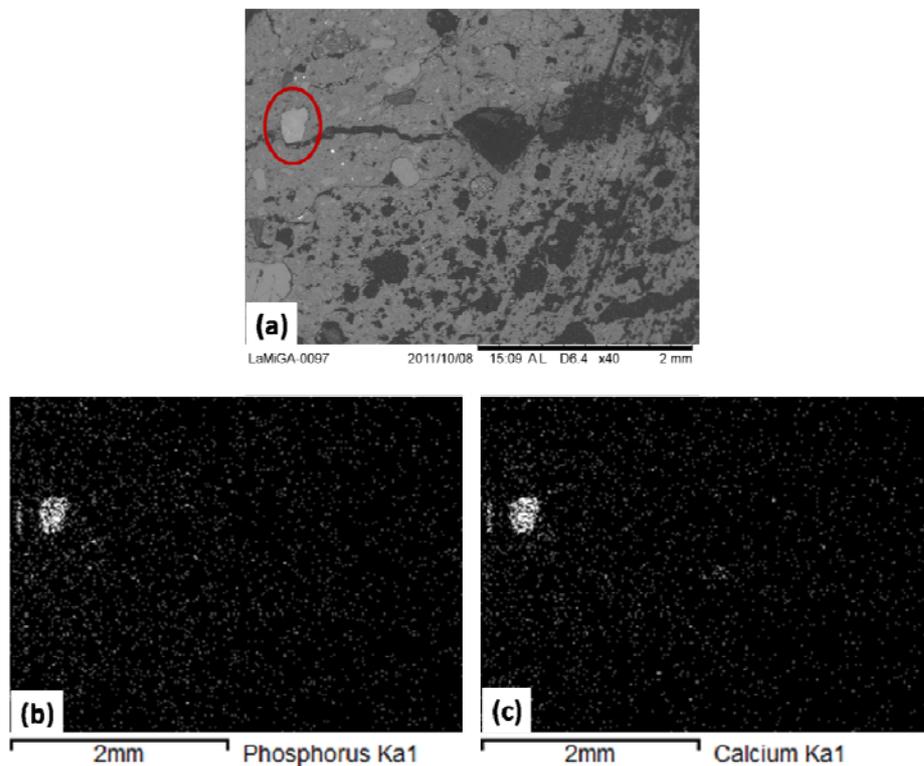


Figura 36 – Fragmento de osso em FC contido no solo Terra Preta Arqueológica do Sítio da Mata, interpretado a partir de imagem de elétrons retroespalhados (a), combinado com mapa químico para os teores de P (b) e Ca (c) destacados nas áreas mais claras dos mapas obtidos por MEV/EDS.

A fração PINA representa a presença de fosfatos de Al e Fe (Williams *et al.*, 1976), minerais comumente presentes em solos tropicais, sejam amorfos ou microcristalinos. Fosfatos de alumínio amorfos e microcristalinos foram identificados nos vários FC de TPA da Amazônia (Costa *et al.*, 2004 a, 2009b) e foram contudentes no sítio Jabuti em Bragança (Rodrigues, 2010; Costa *et al.*, 2011b), na forma principalmente de crandallita-goyazita. O fósforo PO mais expressivo nos solos é fato muito importante e de domínio das ciências agronômicas e de solos. O fósforo neste caso está ligado a compostos orgânicos carbonosos, e disponível à nutrição das plantas. Nos FC o fósforo encontra-se principalmente na fração PINA, amorfo ou microcristalino, e como defendido por Costa *et al.* (2004a, 2009b, 2011b), pode ser a principal fonte de fósforo do solo. Esta assertiva é fortalecida pela relação direta entre os teores de fósforo dos FC e dos solos.

O fósforo, além de vários outros elementos encontrados em sítios arqueológicos, provém de várias fontes. Destacam-se resíduos vegetais e tecidos, ossos, dentes e excrementos de animais em geral; excrementos e urina humana; ossos e dentes de humanos em sepultamentos; rochas e minerais aflorantes ou manipulados no sítio (Smith, 1980; Kern, 1996; Lehmann *et al.*, 2004 e Souza *et al.*, 2009). Lehmann *et al.* (2004) e Souza *et al.* (2009) defendem que o fósforo nas TPA seja resultante do descarte de resíduos orgânicos contendo grandes quantidades de restos de peixes. O descarte de peixes contribuiria tanto para o acréscimo da fração PO quanto da fração PA (carne e ossos respectivamente). O consumo de peixes, ricos em fosfatos, tanto no tecido carnoso, como nos ossos e dentes, certamente era uma praxe dos povos que viviam às margens de rios ou lagos (Smith, 1980; Woods & McCann, 1999; Kern *et al.*, 2009). Portanto em sítios arqueológicos a fonte do fósforo deve ser creditada muito mais ao descarte de resíduos da alimentação (carne, ossos, dentes, fezes; frutas, tubérculos, frutos do mar, etc.). A fração PA certamente deve representar a apatita derivada de ossos, dentes e excrementos, raramente geogênica, ou seja, de animais em geral, da dieta alimentar e da vida comunitária, e além do próprio homem, seja por excrementos, seja por resíduos de sepultamentos (Souza *et al.* 2009, Lima *et al.* 2002, 2009).

A apatita biogênica se decompõe rapidamente em solos ácidos e bem drenados (Souza *et al.* 2009). Além de ser extraído pelos microorganismos e pelas plantas, parte do fósforo liberado é seqüestrado sob a forma de fosfatos de Al e Fe, contribuindo para a fração PINA, ou ainda temporariamente como fósforo fixado em complexos orgânicos, constituindo a fração PO (Lima *et al.* 2009).

Os resultados obtidos confirmam a mineralogia de fragmentos cerâmicos estudados na Amazônia, em que se demonstra que o fósforo total se encontra na forma de fosfatos amorfos ligados a compostos carbonosos, e fosfatos de alumínio criptocristalinos, como variscita-estregita, crandalita, rabdofana, crandallita-goyazita (Costa *et al.*, 2004a, b, 2009, 2011a, b), os primeiros correspondendo à fração PO e os segundos à fração PINA. Rodrigues (2010) e Costa *et al.* (2011b), em estudos de análise seqüencial em FC com alto teor de fósforo, com auxílio de FTIR também demonstraram a presença de fosfato amorfo, que pode estar ligado ao complexo orgânico ou de alumínio. A grande presença de fosfatos de alumínio nos fragmentos cerâmicos é atribuída ao uso contínuo dos artefatos nas atividades cotidianas de populações antigas. Conforme discutido em estudos anteriores (Costa *et al.*, 2004a, b, 2009b; 2011a, b), o uso de vasilhas cerâmicas para o preparo de alimentos promove a liberação de fósforo, dentre outros nutrientes. Em contato com aluminossilicatos da matriz argilosa cerâmica, e no meio hidrotermal proporcionado pelo caldo aquecido do cozimento, ocorre a formação de fosfatos de alumínio, corroborando o elevado teor da fração PINA nos fragmentos cerâmicos estudados.

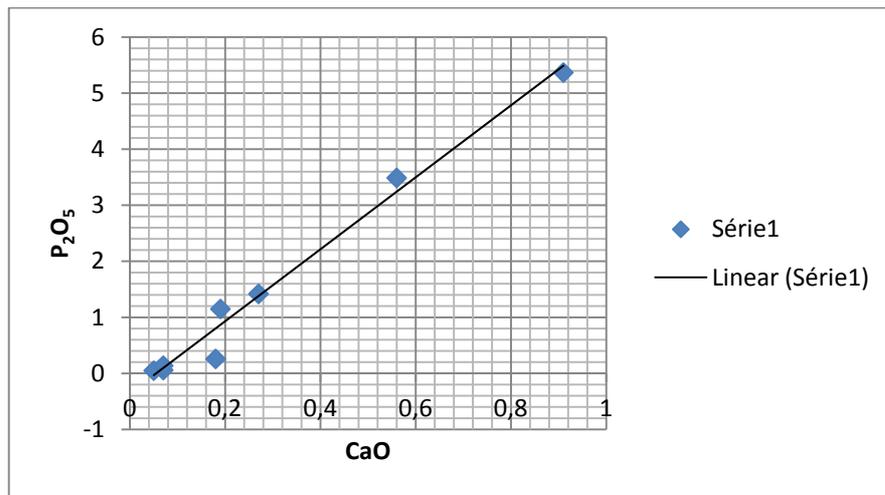
A apatita biogênica está praticamente ausente nos FC do sítio da Mata (<0,08% do total de fósforo) e aparece em torno de 1,9 e 14,4 % do total de fósforo dos FC do sítio Porto de Santarém. Apesar da quantidade relativamente alta da fração PA encontrada nos FC do segundo sítio, apatita foi raramente identificada por MEV/EDS nestes fragmentos. Sua origem está associada à contaminação durante a confecção dos artefatos cerâmicos (Costa *et al.*, 2004a). Portanto, sejam solos TPA ou FC, a apatita está subordinada ou praticamente ausente.

A apatita sendo mais elevada nos FC do sítio Porto de Santarém, e admitindo-se que os FC, ao se decomporem pelo intemperismo, liberem Ca e P entre outros (Silva & Costa, 2011; Rodrigues & Costa, 2011), é de se admitir que os solos TPA do sítio Porto de Santarém possam conter teores mais elevados destes elementos do que os solos TPA do sítio da Mata. As análises químicas destes solos confirmam esta hipótese (Tabela 3).

**Tabela 20 - Concentrações de CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (% em peso) nas amostras de solo e de fragmentos cerâmicos analisadas**

	Solo				Fragmentos cerâmicos			
	MA 09	MA 10	STM 04	STM 09	MA 17	MA 18	STM 10	STM 11
<b>CaO</b>	0,07	0,05	0,18	0,07	0,19	0,27	0,56	0,91
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,06	0,05	0,26	0,14	1,15	1,42	3,49	5,37

Enquanto as quatro amostras de solos não apresentam qualquer correlação entre CaO e  $P_2O_5$ , as quatro de FC apresentam excelente correlação positiva (Figura 11), indicando o domínio de uma fase mineral de Ca-P, em que a apatita, seja ela biogênica ou não, é descartada como fase principal, pois a razão  $CaO/P_2O_5$  é muito pequena, na ordem de 0,16, ao contrário da apatita que é em torno de 1,31. Na crandallita este valor cai para 0,39 e será inferior na crandallita-goyazita. A razão 0,16 sugere a presença de crandallita-goyazita e fosfatos de Al, como variscita ou variscita-estregita, já identificados em FC de outros sítios.



**Figura 37 – Diagrama de dispersão CaO vs.  $P_2O_5$  nas amostras de solo e de fragmentos cerâmicos estudadas**

## 7 CONCLUSÕES

Os solos TPA do Sítio da Mata e do Sítio Porto de Santarém, embora situados em contextos geológicos diferentes dentro da Amazônia, apresentam poucas diferenças quanto à sua mineralogia. Ambos são arenosos e constituídos pelos minerais quartzo, caulinita, muscovita e anatásio. Apresentam, contudo, diferenças significativas quanto à sua composição química, com maiores teores de  $P_2O_5$ , CaO,  $K_2O$ , Cu, Zn, Sr e Ba nos solos do Sítio Porto de Santarém, elementos estes associados à presença humana. A concentração mais elevada destes elementos no Sítio Porto de Santarém indica um maior período de habitação neste sítio, localizado em uma região conhecida pelos inúmeros registros de habitações pré-históricas. Em função disso, o solo TPA do Sítio Porto de Santarém apresenta melhores parâmetros de fertilidade, principalmente P disponível,  $Ca^{2+}$  e conteúdo de matéria orgânica, proporcionados pelo longo período de habitação do mesmo.

Os fragmentos cerâmicos dos dois sítios são compostos principalmente por quartzo e metacaulinita proveniente da desidroxilação da caulinita durante a queima dos artefatos cerâmicos, fato já conhecido na região amazônica. Illita e anatásio aparecem como minerais acessórios. A mineralogia dos FC dos dois sítios difere pela presença de microclínio e albita nos fragmentos do Sítio Porto de Santarém. Quimicamente, os fragmentos cerâmicos dos dois sítios são compostos principalmente por  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , refletindo a mineralogia (quartzo e metacaulinita), e  $Fe_2O_3$ , embora não tenha sido evidenciado nenhum mineral de ferro nos FC. Diferem quimicamente em função dos conteúdos de  $P_2O_5$ , CaO,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ , Cu, Zn, Sr e Ba, que são superiores nos fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém. Os teores mais elevados de  $K_2O$  e  $Na_2O$  refletem os minerais microclínio e albita, respectivamente, identificados nos FC do Sítio Porto de Santarém por DRX. Os fragmentos cerâmicos do Sítio Porto de Santarém apresentam melhores parâmetros de fertilidade, principalmente elevados conteúdos de P disponível,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ , soma de bases e CTC.

O fracionamento de fósforo revelou que a principal forma de fósforo presente nos solos dos dois sítios é o fósforo ligado a compostos orgânicos carbonosos (PO), formados pela incorporação de grandes quantidades de matéria orgânica aos solos amazônicos por populações antigas, seguida da fração de fósforo ligada a Fe e Al (PINA), representada pela associação de compostos fosfatados com compostos de Fe e Al presentes no solo. Nos fragmentos cerâmicos, o fósforo é encontrado principalmente na fração PINA, formando preferencialmente fosfatos de alumínio amorfos ou criptocristalinos. A origem destes fosfatos

nos FC está associada à utilização cotidiana de vasilhas cerâmicas para o cozimento e estocagem de alimentos, ricos em fósforo, por populações pré-históricas da Amazônia.

O fosfato de cálcio (fósforo apatítico) está presente nos solos em pequenas concentrações, e sua origem está relacionada à adição de resíduos ricos em apatita biogênica aos solos de assentamentos pré-históricos, como restos de alimentos, excretas humanas, carapaças de quelônios, ossos de peixes e mamíferos, e também ossos humanos, por sepultamentos. Sua baixa concentração nos solos se deve à rápida degradação da apatita por ação do intemperismo e por ação biológica. Nos FC a presença de apatita está associada à contaminação posterior à fabricação do artefato cerâmico, seja pelo contato de ossos com as paredes de urnas funerárias, seja pela adição de cinzas humanas na matéria prima de artefatos cerâmicos.

A elevada concentração de  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  está associada à presença de compostos de fósforo e cálcio não apatíticos, uma vez que a porcentagem da fração PA foi muito baixa, exceto para uma amostra de fragmento cerâmico do sítio Porto de Santarém, e relação  $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$  das amostras estudadas não sugere a presença de apatita, mas sim de outros minerais contendo cálcio e fósforo, como crandallita-goyazita e outros fosfatos de alumínio já identificados em FC de outros sítios arqueológicos amazônicos. A elevada concentração de Ca e P, bem como outros nos FC, permite que, pela ação do intemperismo, estes elementos sejam paulatinamente liberados para os solos circundantes, contribuindo para a manutenção da elevada fertilidade das TPA.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Transportes Aquarivários (ANTAQ). 2010. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>.
- Carmo M. S. 2008. *Transferência química na cadeia solo-mandioca-cabelo humano na Região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância ambiental*. 238f: il. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
- Carmouze J. P. 1994. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. Editora Edgard Blucher/FAPESP, Sao Paulo, 254p.
- Coelho S. R. C.; Costa M. L.; Kern D. C. 1996. *Mineralogia e composição química dos fragmentos cerâmicos arqueológicos do sítio Manduquinha em Caxiuanã (Portel-PA)*. In: V Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, p 234-237.
- Costa J. A., Kern D. C., Costa M. L., Rodrigues T. E., Kämpf N., Lehmann J., Frazão F. J. L. 2009. *Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas*. In: Teixeira W. G.; Kern D. C.; Madari B.; Lima H. N.; Woods W. I. (Ed). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.
- Costa M. L. & Kern D. C. 1999. *Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil*. *Journal of Geochemical Exploration*, 66: 369-385.
- Costa M. L., Behling H., Suguio K., Kämpf N., Kern D. C. 2009a. *Paisagens Amazônicas sob a Ocupação do Homem Pré-Histórico: Uma Visão Geológica*. In: Teixeira W. G.; Kern D. C.; Madari B.; Lima H. N.; Woods W. I. (Ed). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.
- Costa M. L., Carmo M. S., Kern D. C. 2004. *Mineralogy and Chemistry of Ceramics from Anthropogenic Black Earth of Amazon Region*. In: ICAM-BR-International Council for Applied Mineralogy do Brasil, Águas de Lindóia - São Paulo. *Applied Mineralogy - Developments in Science and Technology*, 2004. v. 1. p. 343-346.
- Costa M. L., Carmo M. S., Oliveira E., Lima H. N., Kern D. C., Goeske J. 2009b. *A Mineralogia e Composição Química de Fragmentos de Cerâmicas Arqueológicas em Sítios de Terra Preta de Índio*. In: Teixeira W. G.; Kern D. C.; Madari B.; Lima H. N.; Woods W. I. (Ed). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.

- Costa M. L., Kern D. C., Kämpf N. 2003. *Pedogeochemical and Mineralogical Analyses of Amazonian Dark Earths*. In: Lehmann J.; Kern, D. C.; Glaser B.; Woods W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht, Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Costa M. L., Kern D. C., Pinto A. H. E., Souza J. R. T. 1993. *Geochemical contribution to archaeological ceramics of Cachoeira-Porteira (Oriximiná-PA)*. In: International Symposium on the Quaternary of Amazonia, Manaus. p 09.
- Costa M. L., Kern D. C., Pinto A. H. E., Souza J. R. T. 2004a. *The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from lower Amazon region, Brazil: Mineralogy*. Acta Amazonica, v.34, n.2, p.165-178.
- Costa M. L., Kern D. C., Pinto A. H. E., Souza J. R. T. 2004b. *The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from lower Amazon region, Brazil: chemistry and geochemical evolution*. Acta Amazonica, v.34, n.2, p.375-386.
- Costa M. L., Kern D. C., Pinto A., Souza J. 2001. *Mineralogia de Artefatos cerâmicos de Sítio arqueológico com terra preta no baixo Amazonas*. In: XI. Congr. Arqueologia, Rio de Janeiro, SAB pág 65.
- Costa M. L., Kern D. C., Souza J., Pinto A. 1991. *A mineralogia e a geoquímica na cerâmica arqueológica de Oriximiná, PA*. In: Proceedings of the 3rd Brazilian Geochemical Congress, São Paulo, SBGq, 1: 1-3.
- Costa M. L., Rios G. M., Silva M. M. C., Silva G. J., Molano-Valdes U. 2011a. *Mineralogy and chemistry of archaeological ceramic fragments from Archaeological Dark Earth Site in Colombian Amazon*. Rev. Escola de Minas, Ouro Preto, 64(1): 017-023.
- Costa M. L., Rodrigues S. F. S., Silva G. J., Poellmann H. 2011b. *Crandallite Formation In Archaeological Potteries Found In The Amazon Region Dark Earth Soils*. In: 10th International Congress For Applied Mineralogy, Trondheim. Trondheim: Broekmans Matm, 2011. v.1. p.137-144.
- Cunha Franco E. 1962. *As Terras Pretas do Planalto de Santarem*. Rev. Soc. Agron. Veterin., Pará. 8: 17-21.
- Cunha T. J. F. et al. 2009. *Soil organic matter and fertility of Anthropogenic Dark Earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33: 85-93.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro. 212p.

- Falcão N., Moreira A., Comenford N. B. 2009. *A fertilidade dos solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central*. In: Teixeira W. G.; Kern D. C.; Madari B.; Lima H. N.; Woods W. I. (Ed). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.
- Falesi I. C. 1972. *O Estado Atual dos Conhecimentos sobre os Solos da Amazonia Brasileira (Parte I: Zoneamento Agrícola da Amazonia)*. IPEAN. Boletim Técnico 54: p17-67.
- Glaser B. et al. 2000. *Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region*. Organic Geochemistry. v31: p669 – 678.
- Horbe A. M. C. & Costa M. L. 2005. *Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia*. Geoderma 126: 225-239.
- Kern D. C. & Kämpf N. 1989. *Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 13: 219-225.
- Kern D. C. 1996. *Geoquímica e Pedogeoquímica em Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-PA)*. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica). 140f.: il. Universidade Federal do Pará. Belém, Pará.
- Kern D. C. et al. 1999. *A influência das palmeiras como fonte de elementos químicos em sítios arqueológicos com Terra preta*. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus. V Simpósio de geologia da Amazônia.
- Kern D. C., D'Aquino G., Rodrigues T. E., Frazão F. J. L., Sombroek W., Myers T. P., Neves E. G. 2003. *Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon*. In: Lehmann J.; Kern D. C.; Glaser B.; Woods W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht, Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Kern D. C., Kämpf N., Wood W., Costa M. L., Frazão F. J., Denevan W. N., Sombroek W. 2009. *As Terras Pretas de Índio na Amazônia: evolução do conhecimento em Terra Preta de Índio*. In: Teixeira W. G.; Kern D. C.; Madari B.; Lima H. N.; Woods W. I. (Ed). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.
- Latini R. M.; Bellido Jr A. V.; Vasconcellos M. B. A.; Dias Junior O. F. 2001. *Classificação de cerâmicas arqueológicas da Bacia Amazônica*. Quim. Nova, Vol 24, n. 6, p. 724-729.
- Lehmann J., Campos C. V., Macêdo J. L. V., German L. 2004. *Sequential P Fractionation of Relict Anthropogenic Dark Earths of Amazonia*. B. Glaser, W.I. Woods (Ed) Amazonian Dark Earths: Explorations in Time and Space. Springer, Berlin, Germany (2004). p. 113–123.

- Leite Filho D. C. L. & Leite E. G. 2005. *Ocupação pré-histórica na Ilha de São Luís: a ocorrência de grupos ceramistas proto-Tupi*. Boletim da Comissão Maranhense de Folclore, 32: p. 12-13.
- Lemos R. C.; Santos R. D. 2002. *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo*. 4 ed°. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 83p.
- Lima H. N.; Schaefer C. E. G. R.; Kampf N.; Costa M. L.; Souza K. W. 2009. *Características Químicas e Mineralógicas e a Distribuição de Fontes de Fósforo em Terras Pretas de Índio da Amazônia Ocidental*. In: Teixeira W. G.; Kern D. C.; Madari B.; Lima H. N.; Woods W. I. (Ed). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.
- Lima H. N.; Schaefer C. E. G. 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.
- 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. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht, Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Nunes K. P.; Munita C. S.; Neves E. G. 2007. *Estudo preliminar da composição química da cerâmica do Sítio Hatahara, AM*. In: I Simpósio Latino-Americano sobre Métodos Físicos e Químicos em Arqueologia, Arte e Conservação de Patrimônio Cultural. 11 a 16 de julho de 2007. Museu de Arte de São Paulo-MASP, São Paulo-SP-Brasil.
- Oliveira E. R. 2008. *Luz sobre o passado*. Revista Scientific American Brasil - Especial Amazônia, São Paulo, v. 1, p. 50 - 55, 15 ago. 2008.
- Protazio L.; Tanaka S. M. C. N.; Cavalcante P. R. S. 2004. *Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento*. Revista Analytica. Dezembro/Janeiro, nº 08.
- Rodrigues S. F. S. 2010. *Mineralogia, Química e Fertilidade Potencial de Fragmentos Cerâmicos de Terra Preta Arqueológica do Sítio Jabuti (Bragança, Pará)*. 130 f. II. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Programa de Pós-Graduação em Química. Belém, 2010.
- Rodrigues S. F. S., Costa M. L. 2011. *Desorption of Calcium and Phosphorus in Ceramic Fragments from Archeological Dark Earth at Jabuti In Bragança (Pará) Brazil*. (Submetido à Talanta).
- Roosevelt A. C. 1991. *Determinismo ecológico na interpretação do desenvolvimento social indígena da Amazônia*. In: Neves W. (Ed.). *Origem, adaptações e diversidade biológica do homem nativo da Amazônia: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. Cap 159, p.103.*

- Schmidt M. J. & Heckenberger M. J. 2009. *Formação de Terra Preta na Região do Alto Xingu: Resultados Preliminares*. In: Teixeira W. G.; Kern D. C.; Madari B.; Lima H. N.; Woods W. I. (Ed). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus.
- SCIENTIA. 2010. *Resgate dos sítios arqueológicos localizados na área da Linha de Transmissão São Luís II – São Luís III*. Relatório Técnico.
- Silva B. N. et al. 1970. *Solos da área de Cacau Pirêra-Manacapuru*. IPEAN, Belém. 2 (3):1-198.
- Silva F. W. R., Lima, H. N., Teixeira, W. G., Motta M. B., Santana R. M. 2011. *Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central*. Rev. Bras. Ci. Solo 35: 673-681.
- Silva G. J. 2010. *Mineralogia, química e avaliação da fertilidade potencial de fragmentos cerâmicos de sítio de Terra Preta: Caxiuana, Juruti, Barcarena e Quebrada Tacana*. 94f.: il. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- Silva G. J. S., Costa, M. L. 2011. *Fertility and desorption capacity of ceramic fragments from Archaeological Black Earth (ABE) soils in the Amazon*. (Submetido à Catena).
- Silveira M. I.; Oliveira E. R.; Roosevelt A. C. 2010. *Relatório das atividades desenvolvidas na área 4A do sítio Porto de Santarém em outubro e novembro de 2009 – aulas e salvamento*. Relatório Técnico.
- Smith N. J. H. 1980. *Anthrosols and Human Carrying Capacity in Amazonia*. Annal Assoc. Am. Geog. 70: p.553-566.
- Sombroek W. 1966. *Amazon soils: a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region*. Wageningen: Centre for Agricultural Publications and Documentations.
- Souza K. W.; Lima H. N.; Schaefer C. E. G. R.; Teixeira W. G.; Pulrolnik K.; Corrêa G. R. 2009. *Phosphorous forms in cultivated Indian Black Earths (Anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon*. Rev. Bras. Ci. Solo. n. 33, p. 1347-1355.
- Teixeira W. G. & Martins G. C. 2003. *Soil physical characterization*. In: Lehmann J.; Kern D. C.; Glaser B.; Woods W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht, Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- Williams J. D. H.; Jaquet J. M.; Thomas R. L. 1976. *Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Eire*. Journal of Fishers Research Board Canadian, v.33, p. 413- 429.
- Woods W. I. & Mccann J. M. 1999. *The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths*. Yearbook, Conference of Latin Americanist Geographers. 25: 7-14.

Woods W. I. 1995. *Comments on the Black Earths of Amazonia*. Proceedings of Applied Geography Conference, 18: 159-165.

Woods W. I. 2003. *Development of Anthrosol Research*. In: Lehmann J.; Kern D. C.; Glaser B.; Woods W. I. (Ed.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties and management*. Dordrecht, Netherland: Kluwer Academic Publishers.