

Formas de fósforo em Fragmentos Cerâmicos arqueológicos de Terra Preta de Caiambé (Tefé-AM)

Phosphorus forms in archaeological ceramic fragments from Terra Preta from Caiambé (Tefé-AM)

DOI:10.34115/basrv7n1-005

Recebimento dos originais: 17/01/2023

Aceitação para publicação: 22/02/2023

Odevilson de Souza Felício

Mestrando em Educação pela Universidade do Estado do Amazonas

Instituição: Universidade do Estado do Amazonas

Endereço: Av. Djalma Batista, 2470, Chapada, Manaus - AM

E-mail: odevilsonfelicio@gmail.com

Erasmio Sergio Ferreira Pessoa Junior

Doutor em Química pela Universidade Federal do Amazonas

Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Endereço: Estrada do Bexiga, n. 1.085, Jerusalém, Tefé - AM

E-mail: esjunior@uea.edu.br

Laura Cristina Pereira de Oliveira

Mestre em Biotecnologia e Recursos Naturais pela Universidade do Estado do Amazonas

Instituição: Universidade do Estado do Amazonas

Endereço: Avenida Efigênio Sales, n. 2.238, Adrianópolis, Manaus - AM

E-mail: laura_cpoliveira@yahoo.com.br

Wamber Broni de Souza

Doutor em Química pela Universidade Federal do Amazonas

Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Endereço: Estrada Parintins Macurany, n. 1.805, Jacareacanga, Parintins - AM

E-mail: wambersa@ufam.edu.br

Genilson Pereira Santana

Doutor em Físico-Química pela Universidade Federal de Minas Gerais

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Av. Rodrigo Otávio, n. 6.200, Coroado 1, Manaus - AM

E-mail: gsantana@ufam.edu.br

RESUMO

A Terra Preta de Índio (TPI) são manchas de solo cuja origem é atribuída à ocupação humana de antigos povos que habitaram a Amazônia. Além de serem ricas em nutrientes, principalmente o fósforo inorgânico (P_i), as TPI possuem grandes quantidade de fragmentos cerâmicos arqueológico (FCA). As quantidades de P_i presentes nos FCA também são elevadas, o que os caracterizam como uma fonte importante deste nutriente na TPI. Sendo assim, neste trabalho estudou-se as formas de P_i tanto na TPI como no FCA a fim de avaliar a distribuição de P_i em termos de fósforo ligado ao alumínio (P_{Al}),

ligado ao ferro (P_{Fe}), ligado ao cálcio (P_{Ca}) e fracamente ligado (P_{Fl}). Nesse sentido, as amostras de TPI foram coletadas em uma área do Distrito de Caiambé (Tefé-AM) na profundidade de 00-50 cm. Essas amostras de TPI foram secas à temperatura ambiente por uma semana e peneiradas em malha de 2 mm. Além disso, a distribuição de P_i foi obtida segundo método de Chang e Jackson modificado e as formas de fósforo determinadas pelo método do molibdato de amônio. Os resultados mostram que o fracionamento de Chang e Jackson mostrou que o maior teor de fósforo foi encontrado na fração de P_{Al} muito peculiar nos FCA investigados.

Palavras-chave: Tefé, Caiambé, fracionamento de fósforo.

ABSTRACT

The Indian Black Earth (IBE) are patches of soil whose origin is attributed to the human occupation of ancient peoples who inhabited the Amazon. In addition to being rich in nutrients, mainly inorganic phosphorus (P_i), IBE has large amounts of archaeological ceramic fragments (ACF). The amounts of P_i present in ACF are also high, which characterizes them as an important source of this nutrient in IBE. This work, the forms of P_i were studied in both IBE and ACF to evaluate the distribution of P_i in terms of phosphorus bound to aluminum (P_{Al}), bound to iron (P_{Fe}), bound to calcium (P_{Ca}) and weakly bound (P_{Fl}). Then, IBE samples were collected in an area of the District of Caiambé (Tefé-AM) at a depth of 00-50 cm. These IBE samples were dried at room temperature for one week and sieved through a 2 mm mesh. Furthermore, the P_i distribution was obtained using the modified Chang and Jackson method and the phosphorus forms were determined using the ammonium molybdate method. The results show that the Chang and Jackson fractionation showed that the highest phosphorus content was found in the very peculiar P_{Al} fraction investigated ACF.

Keywords: Tefé, Caiambé, phosphorus fractionation.

1 INTRODUÇÃO

A TPI, Antroposolos amazônicos férteis com altos teores de fósforo (NEGREIROS, *et al.*, 2020) e cálcio, distribuída por toda a região preferencialmente as margens dos rios (KERN *et al.*, 2003). Segundo Sombroek *et al.* (2003), as TPI ocupam de 0,1 a 0,3% da bacia Amazônica em sítios arqueológicos que variam de menos de um a 400 hectares. Outra característica peculiar na TPI é a existência de grandes quantidades de FCA.

A quantidade de fósforo é atribuída, conforme a literatura, à atividade antrópica dos antigos povos amazônicos, principalmente pelo aterramento de cerâmica, comida e corpos em urnas funerárias (WOODS 1977; MARCONDES *et al.*, 2004; FABBRI *et al.*, 1994). Além disso, Lemoine e Picon (1982) afirmam que pode ter ocorrido uma contaminação secundária no contato dos fragmentos cerâmicos com o solo de TPI (rico em fósforo). Dessa forma, Pessoa Junior e Santana (2016), afirmam que os FCA são

depósitos de fósforo. Deve ser mencionado ainda que o processo de adsorção do fósforo nos poros superficiais da FCA é uma outra maneira de aumentar a concentração desse elemento (COLLOMB; MAGGETTI, 1996).

Nota-se que a presença de fósforo na TPI está diretamente relacionada à atividade antrópica e que os FCA podem exercer papel importante na disponibilidade desse fertilizante no solo. De acordo com Junior, Souza e Santana (2021), Silva e Van Raij (1999) e Tiessen *et al.* (1984) para entender melhor a dinâmica e a disponibilidade do fósforo em solos, é necessário conhecer as diferentes frações do elemento, mediante a utilização sequencial de diferentes soluções extratoras: extratores químicos (MEHLICH, 1953); resina de troca aniônica (AQUINO *et al.*, 2016); e extrações sequenciais com uso de extratores seletivos combinados ou não com resina (CHANG; JACKSON, 1957; HEDLEY *et al.*, 1982).

Chang e Jackson (1957) desenvolveram uma metodologia de fracionamento do fósforo capaz de caracterizar e quantificar o fósforo ligado ao cálcio (P_{Ca}), ferro (P_{Fe}), alumínio (P_{Al}) e o fósforo fracamente ligado (P_{Fl}). O trabalho desses estudiosos foi a base para todos os outros métodos de fracionamento desenvolvidos posteriormente, baseados na solubilidade variável de fósforo.

O uso de soluções extratoras permite que se faça uma estimativa das formas de um determinado elemento. Essa especiação operacional mostra como se distribui um elemento, como as formas de ortofosfato ligados a determinados elementos químicos. Além disso, quando as soluções extratoras são aplicadas às matrizes sólidas como solo e FCA fornece informações importantes sobre a dinâmica, por exemplo, fósforo em cerâmicas. Nesse sentido, neste trabalho realizou um estudo da distribuição de fósforo a fim de avaliar as formas de P_i em FCA coletadas nas profundidades de 0 a 50 cm.

2 MATERIAL E MÉTODOS

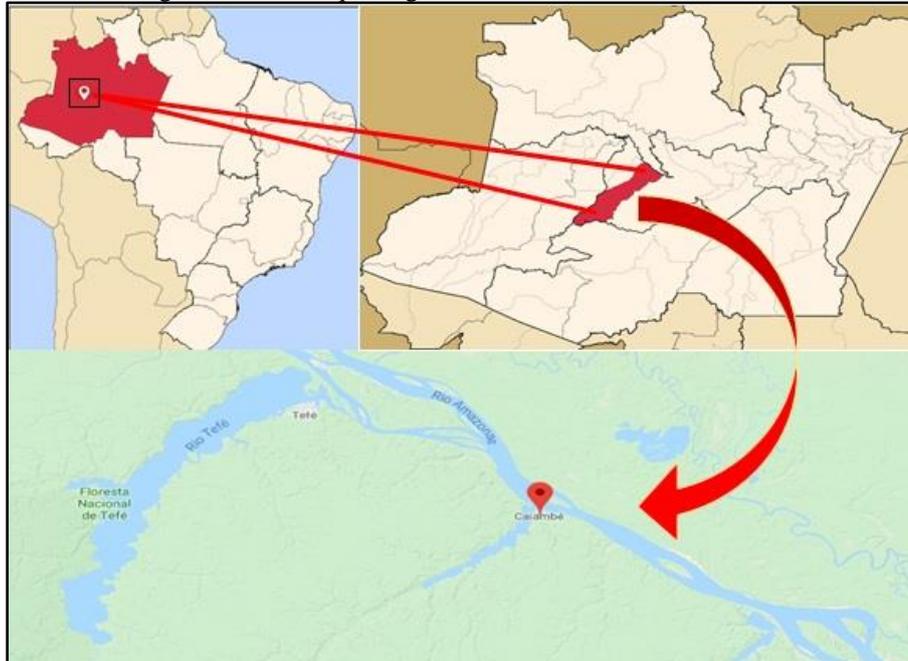
2.1 SÍTIO ARQUEOLÓGICO DO DISTRITO DE CAIAMBÉ

Para realizar este trabalho, selecionou-se uma área do Distrito de Caiambé pertencente ao território do município de Tefé-AM (Figura 1), localizado na margem direita do Rio Solimões, junto à foz do lago Caiambé ($-03^{\circ}53'10.00''$ S e $-64^{\circ}40'86.00''$ O), em área de Terra Firme composto por Latossolo Amarelo.

Essa área de TPI foi descrita pela primeira vez por Hilbert (1962; 1968) ao longo de toda a calha do Rio Solimões identificando com o auxílio da comunidade local o sítio arqueológico de Caiambé e outros sítios no lago de Tefé. Essa região é de grande

relevância para a arqueologia amazônica, pois a partir do seu trabalho ele definiu duas Fases arqueológicas, denominadas de Fase de Caiambé e Tefé (EVANS; MEGGERS, 1957; MORAES *et al.*, 2012).

Figura 1 – Sítio arqueológico localizado no Distrito de Caiambé



Fonte: Adaptado do Google Maps

Os FCA foram coletados juntamente com o solo, tanto na superfície como em profundidade, de 0 a 50 cm, com o auxílio de um tubo metálico de 100 mm de diâmetro, a cada 10 cm de profundidade. Os FCA foram separados do solo manualmente, lavados com água destilada, secos à temperatura ambiente por um tempo de uma semana, pulverizados em grau de porcelana com auxílio de pistilo e por fim peneirados em peneira de malha 4 mm.

2.2 ANÁLISE QUÍMICA E TEXTURAL DO SOLO DE TPI

A composição química de algumas variáveis bem como granulometria das TPI-Caiambé baseou-se na metodologia descrita pela EMBRAPA (2017). Na determinação da granulometria das amostras de TPI- Caiambé utilizou-se o método da pipeta, tendo como solução dispersante hidróxido de sódio (NaOH).

Em termos de composição foram determinadas as concentrações de nitrogênio, matéria orgânica, K^+ , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} e Cu^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} . A determinação de nitrogênio foi feita pelo método de Kjeldahl que consiste em três etapas: digestão,

destilação e titulação. Na digestão ocorre a mineralização do N orgânico pela oxidação com ácido sulfúrico (350 °C). Na etapa seguinte, a destilação, o N-amoniaco obtido é volatilizado na forma de amônia (NH₃) pela reação com NaOH, uma base forte, sendo os vapores coletados em solução de ácido bórico. Posteriormente a solução recolhida é titulada com solução de ácido sulfúrico (0,01N).

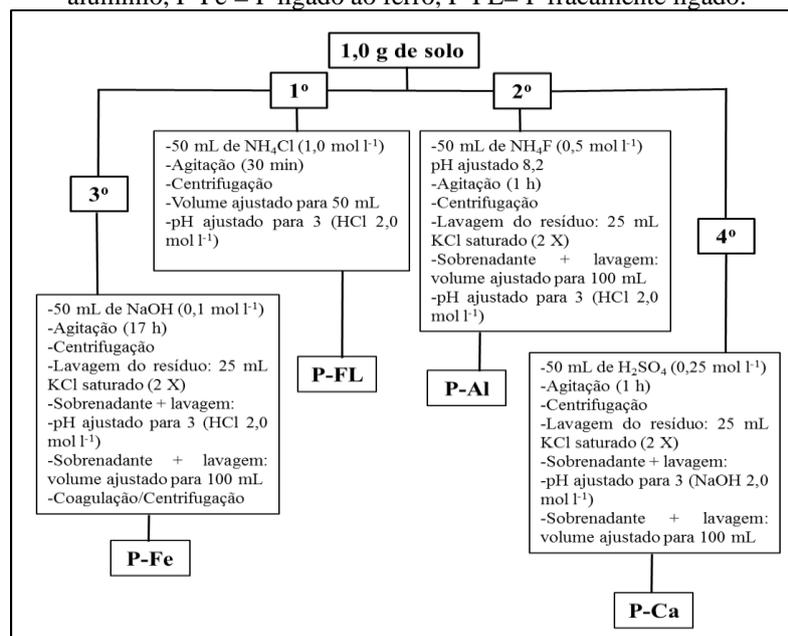
O carbono orgânico foi determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal em presença de difenilamina como indicador, após oxirredução da amostra, por via úmida, pelo método Walkley-Black, que utiliza o dicromato de potássio em meio ácido como oxidante. A matéria orgânica foi determinada pelo produto do carbono orgânico com o fator de Van Bemmelen 1,724.

As quantidades de íons K⁺, Fe²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺ e Cu²⁺ extraídas pelo Mehlich-1 (0,125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 0,50 mol L⁻¹ de HCl), e as quantidades de íons Ca²⁺, Mg²⁺, e Al³⁺, extraídas com solução de KCl a 1,0 mol L⁻¹ foram determinadas por espectroscopia de absorção atômica de chama.

2.3 PROCEDIMENTO DE FRACIONAMENTO DE P_i EM FCA

O fracionamento nas formas P_{FL}, P_{Al}, P_{Fe} e P_{Ca} foi realizado em amostras de FCA e amostras de solo de TPI-Caiambé conforme CHANG e JACKSON (1957), esquema é mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema da metodologia do fracionamento de P-Ca = P ligado a cálcio, P-Al = P ligado ao alumínio, P-Fe = P ligado ao ferro, P-FL = P fracamente ligado.



2.4 ESPECTROFOTOMETRIA NO ULTRAVIOLETA VISÍVEL

Todo o fósforo deste trabalho foi determinado no comprimento de onda 885 nm mudando apenas o tipo de extrato. O método se baseia na formação de um complexo fosfomolibdico de coloração azul. Para a curva de calibração, utilizaram-se padrões de fósforo nas concentrações 0,1; 0,3; 0,6; 0,9; e 1,2 ppm (fósforo na forma de KH_2PO_4), onde as mesmas proporções usadas para determinação das amostras de fósforo foram mantidas no preparo dos padrões. O tempo de reação do sobrenadante com a solução reagente foi de 30 min, em seguida as leituras das amostras foram realizadas em um espectrofotômetro (Nova, modelo NI 2000) no comprimento de onda de 885nm. Todas as determinações foram realizadas em duplicata para avaliações estatísticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

As variáveis químicas determinadas se caracterizam por terem alta variação ao longo do perfil (Tabela 1). Os coeficientes de variação indicam que o $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, Ca e Mg permaneceram praticamente constante ao longo do perfil da TPI-Caiambé. Já a variação de MO, N, Pi e Fe a variação é relativamente alta ao longo do Perfil.

Tabela 1 – Caracterização química da TPI de Caiambé em que CV é coeficiente de variação e MO teor de matéria orgânica da TPI-Caiambé

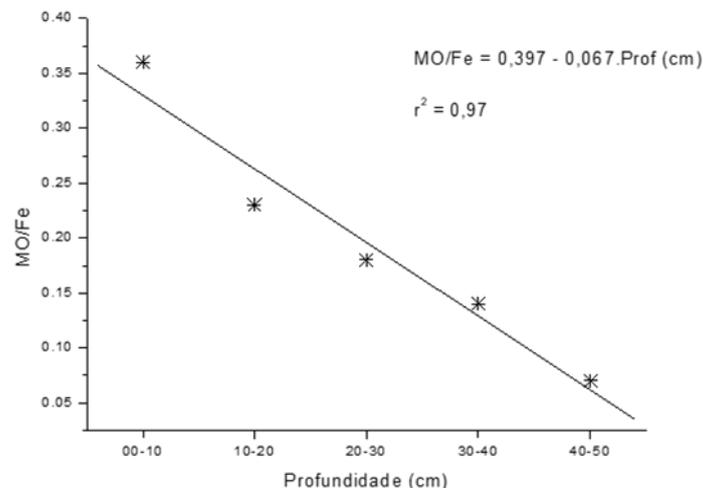
| Prof. (cm) | $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ | MO (g/kg) | N | Pi (mg/kg) | Fe | Ca (cmol/kg) | Mg |
|------------|----------------------------------|-----------|-------|------------|--------|--------------|-------|
| 0-10 | 6,29 | 39,28 | 1,46 | 155,94 | 108,50 | 4,74 | 0,66 |
| 10-20 | 6,55 | 31,57 | 0,94 | 473,67 | 139,50 | 5,14 | 0,62 |
| 20-30 | 6,49 | 34,14 | 0,73 | 1103,86 | 192,50 | 5,56 | 0,49 |
| 30-40 | 6,49 | 34,66 | 0,54 | 1401,85 | 235,50 | 4,97 | 0,45 |
| 40-50 | 6,52 | 21,82 | 0,41 | 893,79 | 307,50 | 4,37 | 0,45 |
| Máximo | 6,55 | 39,28 | 1,46 | 1401,85 | 307,50 | 5,56 | 0,66 |
| Mínimo | 6,29 | 21,82 | 0,41 | 155,93 | 108,50 | 4,37 | 0,45 |
| Média | 6,47 | 32,29 | 0,82 | 805,82 | 196,70 | 4,96 | 0,53 |
| CV | 1,55 | 20,07 | 50,00 | 61,57 | 40,07 | 9,07 | 18,87 |

No caso da MO, observa-se que de 0-40 cm as concentrações são praticamente constantes com um valor médio de $34,9 \pm 3,2$ (CV = 9,2). Mas de 40-50 cm observa-se uma redução drástica de 37,5%. Uma variação considerável é observada para as

concentrações de N ao longo de todo o perfil. Além disso, a relação C/N ao longo do perfil é possível notar que pode haver uma diferenciação na atividade da MO na TPI-Caiambé. O fato de a TPI-Caiambé ter uma acidez menor pode ser por causa da ionização dos íons H^+ ser maior. A presença de mais íons H^+ na solução está diretamente relacionada à presença de mais ácidos orgânicos, como ácidos fúlvicos e húmicos. Essa afirmação tem como base a relação C/N que no caso da TPI-Caiambé aumenta com a profundidade de 26,9 até 64,2. Esse resultado indica que a presença de matéria orgânica com grupamentos orgânicos ativos, como $-COOH$; ou seja, a MO da TPI-Caiambé apresenta diferentes graus de degradação (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

Outra relação que chama a atenção é MO/Fe mostrada na Figura 3 nota-se que existe uma correlação forte desta razão com a profundidade. Uma explicação para essa correlação é a relação C/N que mostra a presença de grupamento orgânicos ativos. Ou seja, esses grupamentos presentes na MO conseguem por ligações de Lewis reter uma quantidade importante de Fe ao longo do perfil.

Figura 3 – Tendência da razão MO/Fe em função da profundidade da TPI-Caiambé

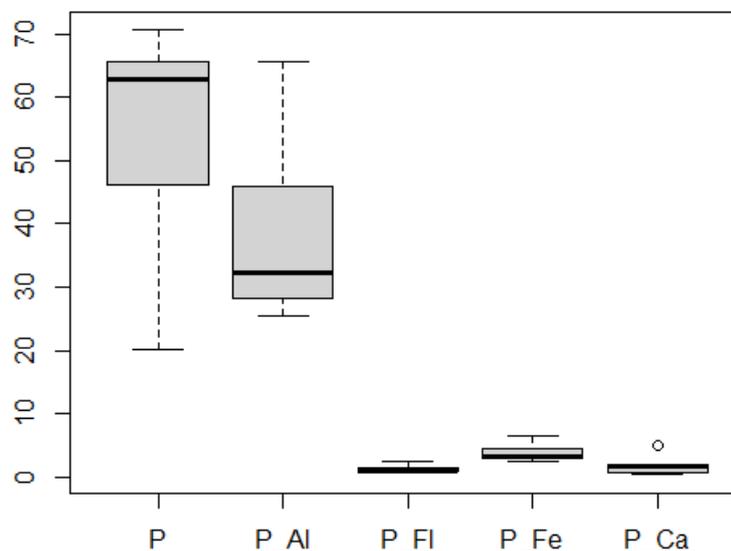


Já o Pi presente na TPI-Caiambé não apresenta qualquer correlação com as outras variáveis deste trabalho. Muito provavelmente uma explicação para a falta de correlação esteja no extrato utilizado. Na literatura existe um questionamento sobre a metodologia adotada pela Embrapa sobre o uso do Mehlich-1 como extrator de Pi. Segundo Pessoa Junior e Santana (2016) o uso do Mehlich-1 é inadequado para TPi pois esses solos são ricos em ferro. Em termos de avaliação de Pi a estimativa das quantidades varia consideravelmente com o extrator Mehlich-1 segundo esses mesmos autores.

3.2 FRACIONAMENTO DO FÓSFORO INORGÂNICO EM FRAGMENTO CERÂMICO

Os resultados obtidos através do fracionamento de Chang e Jackson podem ser observados na Figura 4. No fracionamento foi possível observar diferenças no somatório das frações fósforo em profundidade, ou seja, a cerâmica de superfície apresentou uma quantidade total de 616,09 mg kg⁻¹ e as coletadas nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm apresentaram respectivamente: 594,18 mg kg⁻¹; 553,98 mg kg⁻¹; 575,83, mg kg⁻¹; 585,00 mg kg⁻¹ e 530,23 mg kg⁻¹.

Figura 4 – Box plot das concentrações de fósforo do fracionamento sequencial de Chang e Jackson em FCA e Pi obtido do solo



De maneira geral pode se dizer que as formas de Pi em FCA obedeceram a um mesmo padrão em suas quantidades relativas, ou seja, por unanimidade em todas as profundidades as quantidades de P_{Al} foram muito maiores que o P_{Fe}, P_{Ca} e P_{Fl}. O P_{Fl} foi a forma de fósforo menos presente em fragmentos cerâmicos, com exceção na profundidade de 40 a 50 cm, que a menor quantidade foi da fração P-Ca.

Isso mostra o quanto as quantidades das formas de Pi podem auxiliar no entendimento de confecção de cerâmicas, bem como ajudar no entendimento da pedogênese da TPI. O padrão encontrado nas quantidades das formas de fósforo da matriz cerâmica em profundidade, sugere que no cozimento dos alimentos em utensílios cerâmicos, o fosfato disponibilizado tem um processo reacional que favorece a formação de P_{Al} e P_{Fe}, e em quantidades menores de P_{Fl} e P_{Ca}. Felício e Pessoa Junior (2019) mostraram que o maior teor de fósforo em FCA de superfície foi encontrado na fração

P_{Fe} ($237,87 \text{ mg kg}^{-1}$) evidenciando que dependendo do ponto de coleta pode haver uma alternância entre as quantidades das frações mais favorecidas na síntese dos fosfatos.

Por outro lado, rochas ricas em cálcio não são comuns na região Amazônica, e nesse sentido sugere-se que o cálcio necessário para a síntese de compostos de cálcio também foi obtido no cozimento de alimentos. Não se pode descartar a possibilidade da síntese das formas de fósforo inorgânicas no processo de pedogênese da TPI. A decomposição de ossos de animais na pedogênese da TPI produz uma considerável quantidade de apatitas biogênica que podem ter contribuído para a formação de P_{Ca} .

A variabilidade das frações em fragmentos cerâmicos pode estar ligada ao tipo de materiais usados na fabricação das cerâmicas bem como o seu uso como utensílio doméstico. Os materiais que eram usados para confecção das cerâmicas são ricos em argilas, e com algumas quantidades de sílica e minerais de ferro e alumínio. Essas evidências podem ser sustentadas com alguns trabalhos reportados na literatura.

O trabalho de Costa *et al.* (2004) mostrou que os fragmentos têm a seguinte composição: cauxi, cariapé, areia+feldspatos e caco de vaso cerâmico. Essas substâncias que são usadas na produção de cerâmicas, mineralogicamente são ricas em quartzo (SiO_2), caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), hematita (Fe_2O_3), goethita (FeOOH), maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), variscita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), estrengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), fosfatos amorfos, anatásio, e raramente apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$. O Cauxi e cariapé são componentes orgânicos silicosos e amorfos a DRX, ricos em sílicas e variscita.

As quantidades de P_{Al} (variscita) e P_{Fe} (estrengita), amorfas ou de baixa cristalinidade, pode ter origem a partir do contato entre a matriz argilosa do vaso cerâmico com a solução aquosa quente durante o cozimento diário de alimentos (principal fonte de fósforo em cerâmica) (IONESCU *et al.*, 2011; RODRIGUES, 2015; COSTA *et al.*, 2004).

A cristalização dos fosfatos também ocorre mesmo depois que os vasos foram descartados, juntos com os restos de matéria orgânica vegetal e animal na pedogênese da TPI (LEMOINE; PICON, 1982). Adicionalmente, o fosfato liberado da decomposição da matéria orgânica tende a permanecer estável em solos porque eles são rapidamente fixados na superfície das partículas do solo onde é preservado em depósitos arqueológicos (HOLLIDAY; GARTNER, 2007). Vale ressaltar que nas camadas mais profundas onde os teores de matéria orgânica e cálcio em TPI–Caiambé foram menores (Tabela 1), o P_{Ca} foi reduzido, como foi observado na camada de 40-50 cm.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, a área de estudo apresentou elevadas concentrações de P_i que aumentam conforme a profundidade nas camadas analisadas. Os nutrientes apresentaram alta variabilidade nas diferentes camadas. O fracionamento de Chang e Jackson colaborou para o entendimento da dinâmica e formação dos fosfatos nos fragmentos cerâmicos. Verificou-se que o maior teor de fósforo foi encontrado na fração de P_{Al} muito peculiar nas cerâmicas Amazônicas investigadas. Vale ressaltar a importância dos estudos mineralógicos que contribuem para a compreensão de como os fosfatos se formam nos fragmentos cerâmicos.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, R. E. et al. Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas. *Geoderma*, v. 262, p. 35-44, 2016.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. *Ácidos húmicos*. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 61, p. 856-881, nov/dez, 2014.
- CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. *Fractionation of soil phosphorus*. *Soil Science*, v. 84, n. 2, p. 133-44, 1957.
- COSTA, M. L. et al. The ceramic artifacts in Archaeological Black Earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. *Acta Amazonica*, v. 34, n. 3, p. 375-86, 2004.
- COLLOMB, P.; MAGGETTI, M. *Dissolution des phosphates présents dans des céramiques contaminées*. *Revue d'Archéométrie*, n. 20, p. 69-75, 1996.
- EMBRAPA, 2017. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Teixeira, P.C. et al. (Eds. Técnicos). 3ª ed. rev. e ampl. Brasília – DF. / Embrapa Solos, Rio de Janeiro – R.J. 573 p.
- EVANS, C.; MEGGERS, B. J. *Formative period cultures in the Guayas Basin, coastal Ecuador*. *American Antiquity*, v. 22, n. 3, p. 235-247, 1957.
- FABBRI, B. et al. Significato del fosforo nei reperti ceramici di scavo. *In: 1ST EUROPEAN WORKSHOP ON ARCHAEOLOGICAL CERAMICS*. Burragato, F. 1994.
- FELICIO, O. S.; PESSOA JUNIOR, E. S. F. Estudo do Fracionamento do Fósforo inorgânico de fragmentos cerâmicos arqueológicos do distrito de Caiambé (Tefé-am). *In: SIAMQUI: SIMPÓSIO AMAZÔNICO DE QUÍMICA, 2019, Belém. Anais [...]. Belém: IF Paraense: IFPA, 2019. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/siamqui2019>. Acesso em: 05 out. 2022.*
- HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B.S. *Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 46, p. 970-976, 1982.
- HILBERT, P. P. Preliminary results on the Japura River. Middle Amazon. *In: AKTEN DES 34° INTERNATIONALEN AMERIKANISTENKONGRESSES*. 1962. p. 465-470.
- HILBERT, P. P. *Archäologisch Untersuchungen am Mittleren Amazonas*. Berlin: Dietrich Reimer Verlag, 1968.
- HOLLIDAY, V. T.; GARTNER, W. G. *Methods of soil P analysis in archaeology*. *Journal of Archaeological Science*, v.34, p.301-333, 2007.
- IONESCU, C.; HOECK, V.; GHERGARI, L. *Electron microprobe analysis of ancient ceramics: A case study from Romania*. *Appl Clay Sci*, v. 53, p. 466-475, 2011.

KERN, D. C. *et al.* Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J. *et al.* (org.). AMAZONIAN DARK EARTHS: ORIGIN, PROPERTIES, MANAGEMENT. 1.ed. Norwell: kluwer Academic Publishers, 2003. p.51-76.

LEMOINE, C.; PICON, M. *La fixation du phosphore par les céramiques lors de leur enfouissement et ses incidences analytiques.* Revue d'Archéometrie, v. 6, p. 101-12, 1982.

MARCONDES, L. *et al.* The Ceramic Artifacts in Archaeological Black Earth, v. 34, n. 2, p. 165-178, 2004.

MEHLICH, A. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratories.* Raleigh, University of North Carolina, 1953.

MORAES, C. P. *et al.* O ano 1000: adensamento populacional, interação e conflito na Amazônia Central. Revista de Antropologia, v. 4, n. 1, 2012.

NEGREIROS, R. S. *et al.* Caracterização mineralógica de terra preta das Comunidades do Marajó e Gregostone, em Parintins, Amazonas, Brasil. Revista Brazilian Applied Science Review, Curitiba, v. 4, n. 5, p.2882-2894 set./out. 2020.

NOVAIS, R.; KAMPRATH, E. J. *Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils.* Soil Sci Soc Am J. v. 42, n. 6, p. 931-5, 1978.

PESSOA JUNIOR, E. S. F.; SANTANA, G. P. *Study of the extractable phosphorus in the Archaeological Black Earth.* Review of Research, v. 6, p. 1-11, 2016.

PESSOA JUNIOR, E. S. F.; SOUZA, W. B.; SANTANA, G. P. *Fracionamento das Formas de Fósforo em Terra Preta de Índio.* Revista Brazilian Applied Science Review, Curitiba, v. 5, n. 3, p.1368-1383 mai./jun. 2021.

RODRIGUES, S. F. S. *et al.* Pre-historic production of ceramics in the Amazon: provenience, raw materials, and firing temperatures. Appl. Clay Sci., v. 107, p. 145-55, 2015.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. *Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores.* Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, fev. 1999.

SOMBROEK, W. G. *et al.* Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J. *et al.* (eds.). AMAZONIAN DARK EARTHS: ORIGIN, PROPERTIES, AND MANAGEMENT. Dordrecht: kluwer Academic Publishers, 2003. p.125-139.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. *Pathways of phosphorus transformation in soils of differing pedogenesis.* Soil Science, v.48, p.853-858, 1984.

WOODS, W. I. *The quantitative analysis of soil phosphate.* American Antiquity v.42, n. 2, p. 248-251, 1977.