



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

USO DE TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS  
ANTRÓPICOS DA AMAZÔNIA

ERASMO SÉRGIO FERREIRA PESSOA JUNIOR

Manaus

2011

USO DE TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS  
ANTRÓPICOS DA AMAZÔNIA

ERASMO SÉRGIO FERREIRA PESSOA JUNIOR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química, área de concentração: Química Analítica.

Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana

Manaus

2011

Ficha Catalográfica  
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Pessoa Junior, Erasmo Sérgio Ferreira

P475u      Uso de técnicas de extração de fósforo em solos antrópicos da Amazônia / Erasmo Sérgio Ferreira Pessoa Junior. - Manaus: UFAM, 2011.

71 f.: il. algumas color.

Dissertação (Mestrado em Química) — Universidade Federal do Amazonas, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana

1. Terra Preta de Índio 2. Fósforo 3. Solo - Análise I. Santana, Genilson Pereira (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 631.412(811)(043.3)

USO DE TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS  
ANTRÓPICOS DA AMAZÔNIA

ERASMO SÉRGIO FERREIRA PESSOA JUNIOR

Dissertação defendida e aprovada em 19 de agosto de 2011 pela banca

examinadora:

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Genilson Pereira Santana, Dr.

ICE/UFAM

Examinadores: \_\_\_\_\_

Prof. Carlos Alberto Tucci, Dr.

FCA/UFAM

\_\_\_\_\_  
Prof. Clauzionor Lima da Silva, Dr.

ICE/UFAM

*“O que hoje somos deve-se aos nossos pensamentos de ontem que condicionaram nosso comportamento, e são os nossos atuais pensamentos que constroem a nossa vida de amanhã; a nossa vida é a criação de nossa mente. Se um homem fala ou atua com a mente impura, o sofrimento lhe seguirá da mesma forma que a roda do carro segue ao animal que o arrasta.”*

**BUDA**

*Aos meus pais (Erasmu Sérgio F. Pessoa e Vera Lúcia O. Pessoa), irmãos (Joel e Jucielly), tia (Dores) e avó (Enir) pela compreensão, apoio e incentivo. Aos meus sobrinhos (Erick e Joelzinho) pela alegria, e carinho, dedico-lhes este trabalho em agradecimento.*

## *Agradecimentos*

*A Deus pela oportunidade a mim oferecida e pelos auxílios nos momentos difíceis.*

*Ao meu orientador, Dr. Genilson Pereira Santana pelas orientações, ensinamentos e amizade durante o desenvolvimento do trabalho de pesquisa.*

*Ao meu ex-professor, amigo e colega de Pós-graduação Wamber Broni de Souza e sua família pelo incentivo e amizade durante minha caminhada acadêmica.*

*Ao CNPQ pelo auxílio financeiro da bolsa de estudo.*

*Aos professores da Pós-Graduação em Química pelas aulas ministradas.*

*A todos os colegas do curso de Pós-Graduação, em especial os amigos do laboratório B04:*

*Mauro (Pio), Jorge, Alex, Fabio, Marcondes, Lilian, Socorro, Alcinei, Merlotti, Katiuscia, Andrea, Paulo Renan, João Vitor e Mauricio, pelo companheirismo durante o curso.*

*A professora Adriana Horbe e seus técnicos pelas análises de raios X.*

*Enfim agradeço a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta, para realização desse trabalho. Que Deus abençoe a todos.*

## RESUMO

A presença do nutriente fósforo em solo pode ser usada como indicadores de atividades cotidianas antigas ou mesmo na avaliação de fertilidade. Encontrada em toda a bacia Amazônica, as Terras Pretas de Índio ou simplesmente Terras Pretas (TP), um Antrosolo rico em nutrientes, principalmente fósforo, tem sua origem atribuída à deposição de restos de materiais produzidos por povos antigos da Amazônia. Dessa forma, o fósforo ligado a matéria orgânica ( $P_o$ ), ferro ( $P_{Fe}$ ), alumínio ( $P_{Al}$ ), cálcio ( $P_{Ca}$ ) e fracamente ligado ( $P_{FL}$ ), bem como conseqüências dessa associação sobre os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen foram estudados em oito sítios de TP do Estado do Amazonas. A influência do tempo de extração sobre os quatro métodos também foi avaliada. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, em oito sítios de TP, distribuídos nos Municípios de Barreirinha, Itacoatiara, Manaus e Parintins. A caracterização do solo foi feita por análises físicas, químicas (pH, matéria orgânica, Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn, Mn, Cu), textural (areia, silte e argila) e mineralógicas (difração de raios X). O fósforo total, fracionado e extraído, bem como o estudo cinético foram determinados pelo método do ácido ascórbico. Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas multivariadas por agrupamento hierárquico (HCA), componentes principais (PCA) e análise de variância. Apesar da alta variabilidade dos atributos químicos em todas as TP, os resultados mostram que as concentrações de fósforo

total foram similares entre si, com exceção ao sítio em Barreirinha. Em termos de extratores observou-se que a maioria dos sítios de TP obedece à seguinte ordem: Mehlich-1 >> Mehlich-3 > Bray-1 > Olsen. A seqüência observada está diretamente relacionada à quantidade de  $P_{Ca}$ , muito embora o teor elevado de  $P_o$  prevaleça em praticamente todas as TP. Esse fato foi comprovado pelo PCA cujas componentes principais são  $P_{Ca}$  e  $P_o$  e corroborado com o HCA com a formação de três grupos distintos. Os ajustes da equação de cinética de dessorção foram melhores para Mehlich-1 e Olsen nos sítios de Barreirinha e Manaus, indicando claramente que os dois métodos dependem diretamente do tempo de extração. Por fim, os resultados deste trabalho sugerem que os métodos Mehlich-3 e/ou Bray-1 são mais adequados para os estudos de fertilidade, entretanto o Mehlich-1 por ser capaz de diferenciar as TP entre si é mais adequado para o estudo arqueológico do fósforo.

Palavras chave: Terra Preta de Índio, fósforo, extratores de fósforo.

## ABSTRACT

The presence of the nutrient phosphorus in the soil can be used as indicators of daily activities or even the ancient fertility evaluation. Found throughout the Amazon basin, the Indian Black Earth or simply Black Earth (BE), a Antrosolo rich in nutrients, particularly phosphorus, has its origin attributed to the deposition of waste materials produced by the ancient peoples of the Amazon. Thus, phosphorus bound to organic matter ( $P_o$ ), iron ( $P_{Fe}$ ), aluminum ( $P_{AL}$ ), calcium ( $P_{Ca}$ ) and weakly bound ( $P_{FL}$ ), and consequences of this association on the Mehlich-1, Mehlich-3, Olsen and Bray-1 were studied in eight sites of BE in the State of Amazonas. The influence of extraction time on the four methods was also evaluated. Soil samples were collected at a depth of 0-20 cm, in eight sites of BE, distributed in the municipalities of Barreirinha, Itacoatiara, Parintins and Manaus. The soil characterization was done by physical, chemical (pH, organic matter, Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn, Mn, Cu), texture (sand, silt and clay) and mineralogical (X-ray diffraction X). The total phosphorus, extracted and fractionated, and the kinetic study were determined by the ascorbic acid. The data were subjected to multivariate statistical analysis by hierarchical clustering (HCA), principal components (PCA) and analysis of variance. Despite the high variability of chemical attributes in all BE, the results show that concentrations of total phosphorus were similar to each other, except to the site Barreirinha. In terms of extracting it was observed that most of

the BE sites obeys the following order: Mehlich-1>> Mehlich-3> Bray-1> Olsen. The sequence observed is directly related to the amount of  $P_{Ca}$ , although the high levels of  $P_o$  prevails in almost all the BE. This fact was confirmed by PCA whose main components are  $P_{Ca}$  and  $P_o$  and corroborated with the HCA with the formation of three distinct groups. The settings of the equation of desorption kinetics were best for Olsen and Mehlich-1 sites in Manaus and Barreirinha, clearly indicating that both methods depend directly on the extraction time. Finally, the results of this study suggest that the Mehlich-3 and / or Bray-1 are more suitable for studies of fertility, however, the Mehlich-1 to be able to differentiate between the BE itself is more suitable for the archaeological study match.

**Key words:** Indian black earth, phosphorus, phosphorus extractors.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil típico de TP com fragmentos cerâmicos .....	20
Figura 2: Distribuição das TP ao longo da Bacia Amazônica.....	23
Figura 3: Gráfico ternário da classificação textural de solos TP da literatura.....	25
Figura 4: Coeficientes de variações de atributos químicos de TP da literatura.....	25
Figura 5: Diferentes formas de fósforo no solo.....	29
Figura 6: Mapa da localização dos pontos de coletas de TP .....	36
Figura 7: Difrátograma de raios X das amostras de TP (fração < 0,053mm). .....	47
Figura 8: Gráficos comparativos dos atributos dos oito sítios de TP estudados com a literatura.....	50
Figura 9: Concentrações do fósforo orgânico, fósforo ligado ao cálcio, ferro, alumínio, e fósforo francamente ligado.....	51
Figura 10: Concentrações de fósforo extraídas pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen.....	52
Figura 11: análise de HCA e PCA das frações de fósforo das TP. ....	54
Figura 12: Curva cinética de extração de fósforo usando os Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen para os sítios de Tpl e Tpnc.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios dos Atributos e químicos das TP de diferentes lugares da literatura. .....	26
Tabela 2: Valores de concentrações de fósforo total em TP da literatura .....	27
Tabela 3: Valores de fósforo obtidos pelos métodos Mehlich-1, Melhich-3 e Bray-1 em diferentes sítios de TP da literatura .....	28
Tabela 4: Reagentes e procedimento de extração do fósforo disponível por diferentes métodos .....	33
Tabela 5: Localizações e descrições de algumas características dos sítios de TP.....	37
Tabela 6: Condições instrumentais de leitura de DRX .....	39
Tabela 7: Proporções de reagentes para preparo do complexo fosfomolíbico .....	42
Tabela 8: Atributos químicos de oito sítios de TP.....	48
Tabela 9: Parâmetros cinéticos obtidos usando a equação McKean & Warren para a extração de fósforo.....	56

## LISTA DE SIGLAS

Ab – Albita

Ant – Anatásio

CV – Coeficiente de variação

DRX – Difractometria de raios X

EDTA – Ácido diaminotretacético

FAAS - Espectroscopia de absorção atômica de chama

Gb – Gibsita

HCA – Análise por agrupamento hierárquica

Ilit – Ilita

Kao – Caulinita

Kfs - Feldspato potássico

Max – Máximo

Min – Mínimo

P<sub>Al</sub> - Fósforo ligado a alumínio

PCA – Análise por componente principal

P<sub>Ca</sub> - Fósforo ligado a cálcio

P<sub>Fe</sub> - Fósforo ligado a ferro

Pi –Fósforo inorgânico

P<sub>o</sub> – Fósforo orgânico

Qz – Quartzo

TP – Terra Preta

TPI – Terra Preta de Índio

Tpa - Terra Preta da Comunidade de São José do Amajari

Tpg - Terra Preta da Comunidade do Gregoste

Tph – Terra Preta do Hospital Jofre Cohen

Tpi – Terra Preta da comunidade de São Pedro de Iracema

Tpl - Terra Preta do Distrito de Terra Preta do Limão

Tpm - Terra Preta da Comunidade do Marajó

Tpnc – Terra Preta do Bairro Nova Cidade

Tpp - Terra Preta da Comunidade do Parananema

UV –Ultravioleta

## LISTA DE SIMBOLOS

$\gg$  - Muito maior

$>$  - Maior

$\bar{x}$  – Média

$\%$  - Percentual

$\alpha$  – Alfa

$\beta$  - Beta

$\theta^\circ$  - Teta grau

$\approx$  - Aproximadamente

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1 DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO EM TP E USO DE EXTRATORES .....	27
2.2 DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO.....	29
2.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO .....	30
3 LOCAIS E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1 AMOSTRAGEM.....	38
4.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	38
4.3 ANÁLISES TEXTURAL E QUÍMICAS DAS AMOSTRAS .....	39
4.4 DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL.....	40
4.5 DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO USANDO OS EXTRATORES MEHLICH-1, MEHLICH-3, BRAY-1 E OLSEN .....	41
4.6 FRACIONAMENTO DAS FORMAS DE FOSFORO INORGÂNICAS .....	43
4.7 CINÉTICA DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO .....	44

4.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	46
5.1 - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DAS TP .....	46
5.2 EXTRAÇÃO DE FÓSFORO .....	51
5.2.1 FRACIONAMENTO DAS FORMAS DE FÓSFORO .....	51
5.2.2 EXTRAÇÃO DE FÓSFORO COM MEHLICH-1, MEHLICH-3, BRAY-1 E OLSEN.....	52
5.2.3 CLASSIFICAÇÃO HIERÁRQUICA DAS TP SEGUNDO O FRACIONAMENTO DAS FORMAS DE FÓSFORO .....	53
5.3 EXTRAÇÃO DO FÓSFORO DISPONÍVEL EM FUNÇÃO DO TEMPO .....	54
5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS UTILIZADOS .....	56
6 CONCLUSÕES .....	58
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59

## 1 INTRODUÇÃO

As Terras Pretas (TP) da região Amazônica são solos antrópicos, formados a partir de processo de deposição de restos de materiais vegetais e animais, cujo produto final é um solo fértil, com alta variabilidade nos atributos físicos e químicos (REBELLATO, 2007). Como estão assentadas sobre diferentes classes de solos, as TP apresentam texturas variando de argilosas a arenosas, além de possuírem elevados teores de fósforo total, bem como fósforo ligado a cálcio. No caso específico de TP com textura franco arenoso e franco argilo arenoso, apresentam de maneira geral, altos teores de fósforo ligado a alumínio ( $P_{Al}$ ) e baixo de fósforo total (SOUZA, 2009).

A concentração de fósforo total pode variar de 192,0 a 13.870 mg kg<sup>-1</sup>, dentro de uma mesma extensão do sítio TP (LIMA, 2001 e 2002; LEHMANN, 2004). Por outro lado, o fósforo disponível mostrou variação de 3,0 a 2275 mg kg<sup>-1</sup> (SOARES, 2007; MOREIRA, 2007 e 2009). A disponibilidade do fósforo da literatura, geralmente é feita pelo método de extração Mehlich-1, pois este método é de baixo custo e apresenta boas correlações com a absorção das plantas.

O Mehlich-1 é muito utilizado para extração de fósforo em TP, no entanto, apresenta limitações bastante significativas, uma vez que esse solo geralmente é rico em cálcio. Nesse sentido, outros extratores, como Bray-1, Olsen e Mehlich-3 foram desenvolvidos para evitar o

problema relacionado ao cálcio, mas, no entanto, dependem da associação do fósforo com ferro ( $P_{Fe}$ ) e alumínio ( $P_{Al}$ ) (SOUZA, 2009). Por causa desse fato é que a recomendação de determinado método de extração de fósforo geralmente está associada às correlações entre alguns atributos físico-químicos do solo e absorção da planta. Raramente, este fato leva em conta os conteúdos do fósforo disponível com as frações de fósforo orgânico ( $P_o$ ), e ligado ao cálcio ( $P_{Ca}$ ),  $P_{Fe}$  e  $P_{Al}$ . No caso específico do Mehlich-1, os teores do fósforo disponível são superestimados uma vez que os conteúdos de  $P_{Ca}$  são elevados em TP. Por outro lado, apesar de alguns TP possuírem valores elevados  $P_o$ ,  $P_{Fe}$  e  $P_{Al}$ , os métodos Mehlich – 3, Bray – 1 e Olsen mostram teores de fósforo menores e mais aproximados com os valores reais dos fósforo disponível (BARBOSA FILHO et al., 1987).

Além de estudos relacionados à fertilidade do solo, a literatura mostra a aplicação dos extratores em estudos arqueológicos, uma vez que o fósforo do solo é uma ferramenta que auxilia na compreensão das atividades dos povos antigos. As variações das formas de fósforo estão diretamente relacionadas às atividades do homem do passado na Amazônia (WOODS, 1977). Os valores médios indicam diferenças significativas nos valores de fósforo do solo que podem ser usadas como “assinatura química”. Dessa forma, no presente trabalho foi conduzido um estudo sobre o  $P_o$ ,  $P_{Fe}$ ,  $P_{Al}$ ,  $P_{Ca}$  e fracamente ligado em oito sítio de TP, bem como conseqüências dessa associação sobre os extratores Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen. A influência do tempo de extração sobre os quatro métodos de extração também foi avaliada.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A região Amazônica é caracterizada por ter enorme diversidade e biodiversidade de vida, tanto vegetal como animal (SCHIFFER, 1987). Por outro lado, a intensidade de interferências humanas sobre alguns aspectos ambientais é explícita na Amazônia ao longo de sua história. Um exemplo claro dessa manifestação é o aparecimento de solos escuros com fragmentos cerâmicos, conhecidos como Terras Pretas Antropogênicas ou Arqueológicas - TPA (Figura 1), regionalmente conhecida como Terras Pretas de Índio – TPI, ou simplesmente Terra Preta (TP) (SOMBROEK, 1966; SMITH, 1980).



Figura 1: Perfil típico de TP com fragmentos cerâmicos  
Fonte: Kern (2005).

Até meados do século XX, alguns estudiosos entendiam que a gênese da TP seria causada por eventos geológicos. A primeira teoria defende que as TP teriam se originado por erupções vulcânicas dos Andes, onde cinzas seriam precipitadas em áreas de planaltos, amontoadas, formando um perfil de solo escurecido com diferentes tamanhos e espessuras (CAMARGO, 1941). Em contraposição, surgiram vários questionamentos do quais dois se destacam: (1) referente aos ventos típicos da Amazônia que sopram de leste a oeste, tornando improvável o transporte aéreo de cinzas no sentido inverso das correntes de ventos e (2) tentativa de explicar a presença de artefatos arqueológicos indígenas (SMITH, 1980).

Baseado na hipótese de que os solos foram originados a partir de um grande lago terciário durante a formação dos Andes, a segunda teoria se baseia na sedimentação em lagos para explicar a origem da TP. Com o escoamento do grande lago apareceram lagoas nas depressões que foram lentamente preenchidos com restos de plantas e animais. Segundo Falesi (1974) a incorporação de ossos de animais responde a presença de altos conteúdos de fósforo e cálcio na TP. A fundamentação científica da formação do grande lago quando os Andes emergiram não explica os locais de ocorrência de TP em áreas planas (FALESI, 1974).

Outra corrente dessa teoria defende que o sítio de Belterra (Pará) teria sido formado quando pequenas depressões foram preenchidas com água no período chuvoso. Com isso, a vegetação teria tomado o lugar e restos de folhas, galhos, como também de plantas aquáticas, preencheriam eventualmente as lagoas no período seco. Os indígenas usariam essas lagoas para amolecer tubérculo de mandioca, e descartar cascas de mandioca, bem como utensílios cerâmicos do seu cotidiano nesses lagos. Durante a secagem das lagoas, resultou a formação de um solo fértil e escuro (CUNHA, 1962).

Sem sombras de dúvidas a teoria mais aceita é aquela que sugere que as TP sejam produtos de antigos assentamentos indígenas. As principais evidências, dessa teoria, são os

registros da passagem de seres humanos pelas áreas de TP. De modo geral, o descarte do material é proporcional ao tempo de ocupação na aldeia e do número de habitantes. Nessa teoria, as camadas antrópicas seriam formadas pela decomposição de folhas de plantas, usadas para cobrir as malocas, além de sementes, cipós e restos de animais, como ossos, carapaças, conchas, fezes, urina, etc. (KERN, 1996). Portanto, nos últimos anos o consenso da literatura foi que a origem da TP esteja ligada às atividades cotidianas de povos antigos, por exemplo, o uso do solo em agricultura (GLASER et al., 2001).

Estudos mostraram que as práticas agrícolas e domésticas dos povos antigos foram importantes na formação da TP. Em especial o fósforo disponível, cuja concentração e forma desse elemento refletem as distintas atividades humanas, geradas a partir de distintos padrões no uso do espaço, sendo sua variabilidade ferramenta importante que auxilia na reconstrução de antigas estruturas de ocupação humana, funcionando como “assinaturas químicas” (ARRHENIUS, 1929, 1931).

A verdade é que as TP estão distribuídas em praticamente todas as eco-regiões da Amazônia, em ambientes com características bióticas e abióticas diferenciadas e, normalmente, coincidentes com os grandes interflúvios (Figura 2). A grande maioria dos sítios arqueológicos identificados até o momento se localiza as margens de rios de águas brancas (barrentas), como Purus, Madeira, Juruá, Solimões e Amazonas; de águas claras como, Trombetas, Tapajós e Mapuera; águas negras, como Negro, Urubu, Caxiuanã e Mapuá. A literatura sugere que podem existir centenas de TP espalhadas ao longo da bacia Amazônica (KERN et al., 2003). Muitos ainda não foram catalogados, sendo necessário buscar novas áreas para um mapeamento mais completo de cada sítio.

Em termos de ocorrência, a maioria das TP estão localizadas sobre Latossolos (Oxisols) e Argissolos (Ultisols), em menor proporção em outras classes de solos: Neossolos

Quartzarênicos, Espodosolos Ferrocárbicos, Nitossolos Vermelhos, Cambissolos, Neossolos Litólicos, Argissolos Plínticos e Plintossolos (FALESI, 1970; SMITH, 1980; RODRIGUES et al., 2003; KÄMPF e KERN, 2005). O que leva a acreditar que os povos antigos da Amazônia não faziam distinção de classes de solo. Pelo que parece o critério de assentamento em determinada área eram a proximidade dos rios.

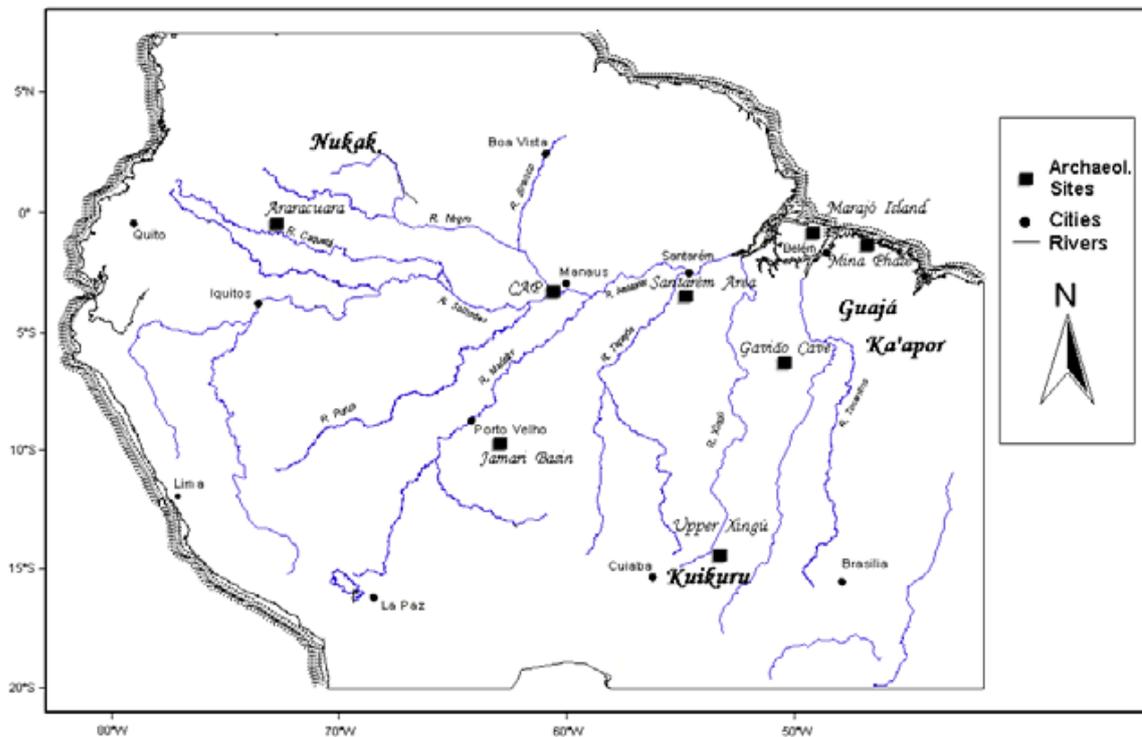


Figura 2: Distribuição das TP ao longo da Bacia Amazônica

Fonte: Kern (2003)

Geralmente, a área dos sítios de TP varia de 1 a 500 ha, sendo que a maioria (cerca de 80%) seja de 1 a 5 ha (SMITH, 1980; ROOSEVELT, 1991; DENEVAN, 2001). Não é comum encontrar um perfil de TP constituído pelo horizonte A acima de 200 cm, sendo que a maioria apresenta a profundidade de 30 a 60 cm. As espessuras, assim como as características morfológicas, físicas e químicas podem apresentar variações dentro de uma mesma área, bem como entre sítios. Segundo Neves (2003), essas variações estão diretamente relacionadas ao

padrão de assentamento do homem pré-histórico. Para Kern (1997) a profundidade da camada de TP esta relacionada com o tempo de ocupação nas áreas de assentamento, quanto mais profundo maior o período de ocupação (KERN, 1997).

Estudos mineralógicos indicam que a TP tem como principais minerais: quartzo e caulinita e acessórios goethita, hematita e anatásio, mas recentemente a presença de maghemita nas TP também foi encontrada (COSTA et al., 2004; SÉRGIO et al., 2006). A ocorrência de maghemita ratifica a hipótese do uso constante do fogo nas atividades humanas nessas áreas (BENITES et al., 2005).

A composição textural, para maioria das TP, é caracterizada por quantidades muito baixas de silte, e alternancias entre as frações argila e areia. Os valores das frações areia, argila e silte, de oito TP da literatura, plotados no gráfico ternário (Figura 3), mostram que a classificação textural varia de franco argilo arenoso a franco arenoso (IDESP, 1974; KERN, 1988; KERN e KAMPF, 1989; LIMA, 2001; OLIVEIRA Jr., 2002; GERMAN, 2003; FALCÃO, 2006; CANNAVAN, 2007; SOARES, 2007; SOUZA, 2009). Os atributos químicos quando comparados aos solos predominantes encontrados na Amazônia, são geralmente elevados, destacando o pH, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, e matéria orgânica (Tabela 1). Os valores da Tabela 1 foram submetidos à análise estatística, onde pôde ser observados elevados coeficiente de variação (CV) (Figura 4). A alta variabilidade dos atributos em TP pode esta relacionada aos seguintes fatores: i) serem formadas em diferentes unidades geomorfológicas; ii) às atividades cotidianas dos povos antigos da Amazônia que participaram sua gênese; iii) o número de indivíduos da tribo e tempo de assentamento nas áreas onde foram formadas; iv) atividades agrícolas recentes (FALESI, 1970, SMITH, 1980, EDEN et al. 1984, KERN e KÄMPF, 1989, KERN, 1996).

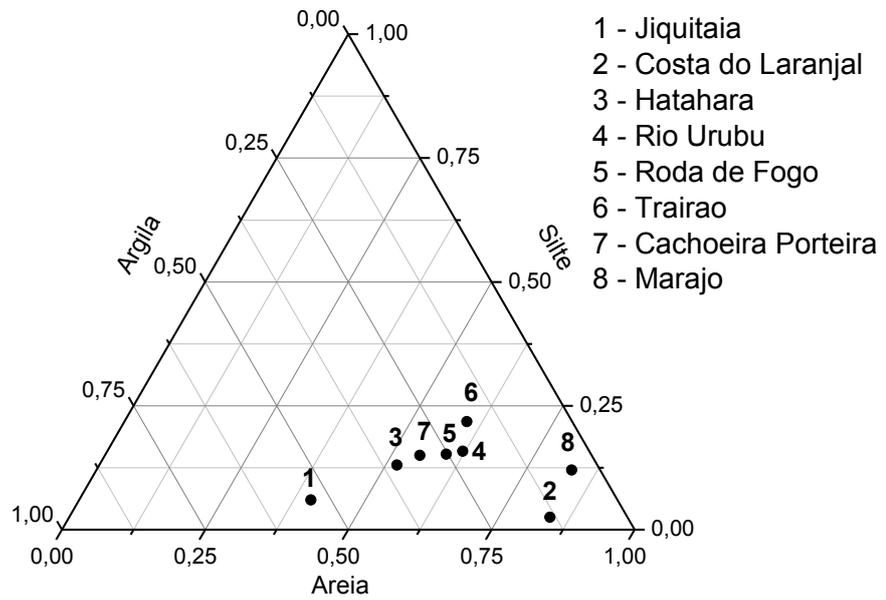


Figura 3: Gráfico ternário da classificação textural de solos TP da literatura.

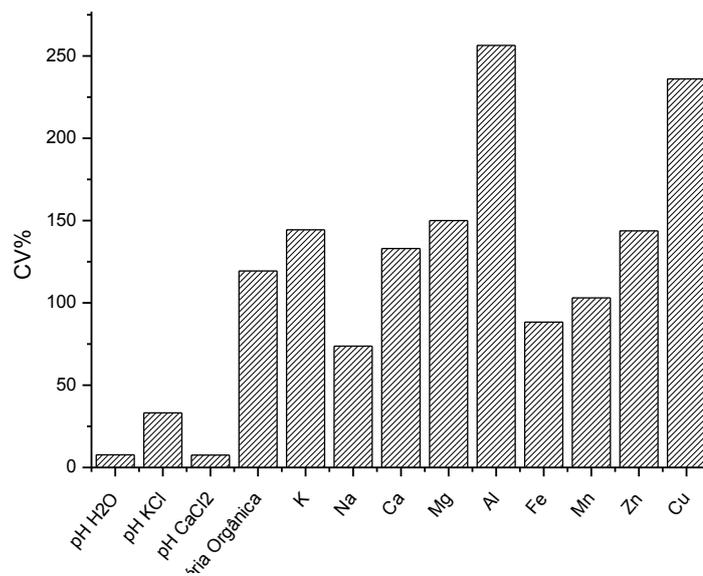


Figura 4: Coeficientes de variações de atributos químicos de TP da literatura

Tabela 1: Valores médios dos Atributos e químicos das TP de diferentes lugares da literatura.

Município	Sítio	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	pH CaCl <sub>2</sub>	Matéria Orgânica a g.kg <sup>-1</sup>	K	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Referência
Caxiuanã-PA	Mina I	-	-	-	30,00	0,20	-	264,00	1,00	1,00	11,00	9,50	1,00	0,70	Rodrigues (2003)
Rio Preto da Eva	Rio urubu	-	-	3,90	-	4,00	-	10,00	1,00	6,00	44,50	2,70	0,96	1,26	Moreira (2007 e 2009); Rodrigues (2003); Souza (2009); Soares (2007); Oliveira Jr (2002)
	Jiquitaia	5,85	8,76	4,20	-	4,00	-	10,00	4,60	0,30	53,00	428,0 0	46,00	2,60	
	Roda de Fogo	4,34	3,88	4,60	29,72	0,08	0,02	2,70	2,00	2,00	-	-	-	-	
Itaituba-PA	Trairão	-	-	-	243,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Iranduba	Caldeirão	6,14	-	4,70	-	38,00	-	238,00	56,00	1,00	75,00	206,4 0	12,20	1,36	Moreira (2007 e 2009); Neves Jr. (2008); Falcão (2006); Lima (2002 e 2001); Rebellato (2007)
	Menino Jesus	5,91	5,24	-	-	0,12	-	4,87	0,59	-	15,96	582,4 5	9,68	-	
	Açutuba	-	-	4,00	-	16,00	-	13,00	2,00	2,00	18,50	49,36	14,15	-	
	Hatahara	5,90	-	4,80	-	80,00	-	33,40	11,00	0,28	61,53	355,0 0	178,0 0	66,00	
Manacapuru	Costa do Laranjal	4,99	4,03	4,30	5,17	4,00	-	12,33	7,70	0,30	64,70	477,0 0	113,6 0	4,00	Moreira (2007 e 2009); Neves Jr. (2008); Cannavan (2007)
Manaus	Manaus	-	5,50	-	77,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Glaser (2000)
Parintins	Caburi	-	-	4,10	-	22,00	-	52,00	2,00	8,00	204,00	20,20	14,10	2,20	
Urucurituba	Itabeaçu	-	-	4,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Moreira (2007e 2009)
Barreirinha	TP limao	-	-	4,40	-	137,2 0	-	102,00	27,00	1,00	-	-	-	-	
Presidente Figueiredo	Balbina	-	-	-	50,00	0,60	-	38,00	5,00	4,00	-	-	-	-	Rodrigues (2003)
Santarém	Cajutuba	-	-	3,90	-	22,00	-	9,00	1,00	75,00	207,00	19,65	13,60	2,34	Moreira (2007 e 2009); Glaser (2000)
	Santarém	-	4,8	-	36,38	58,00	-	131,00	28,00	2,00	99,60	147,6 0	25,90	1,06	

## 2.1 DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO EM TP E USO DE EXTRATORES

A Tabela 2 mostra as concentrações de fósforo total de oito sítios de TP, obtidos pelo método de digestão ácida. Como visto os valores os valores são bastante variados, especialmente no sítio de marajá (Lehmann, 2004).

Tabela 2: Valores de concentrações de fósforo total em TP da literatura

Sítio	Município	Fósforo Total (mg kg <sup>-1</sup> )			Referência
		Min.	Max.	$\bar{x}$	
Jiquitaia	Rio Preto da Eva*	1800	3096	2313	Moreira (2007e 2009); Souza (2009); Sombroek (1966)
Costa do Laranjal	Manacapuru*	1001	3005	2003	Cannavan (2007)
Hatahara	Irاندuba*	3070	13.870	3961	Lima (2001 e 2002)
Mina II	Caxiuanã**	-	-	2.900	Rodrigues (2003)
Cachoeira Porteira	Cachoeira Porteira**	-	-	2.800	Kern (1988); Kern e Kampf (1989)
Marajá	Rio Preto da Eva*	-	-	192	Lehmann (2004)

\*Amazonas; \*\*Pará;  $\bar{x}$  para n = 8

A literatura registra estudos de extração de fósforo disponível em TP tendo o uso dos métodos Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1, sendo o primeiro mais utilizado na extração de fósforo (

Tabela 3). Moreira (2007 e 2009) mostrou que existe uma diferença considerável entre os teores de fósforo, com a seguinte ordem de extração: Mehlich-1 > Bray-1 > Mehlich-3. A discrepância encontrada nos teores de fósforo extraídos com esses extratores não foi bem explicada pelo autor, que se limitou à apenas informar os valores encontrados. A princípio a justificativa para essa discrepância foi fundamentada no fato de que as soluções ácidas

dissolvem predominantemente as formas de  $P_{Ca}$  e em menor quantidade as formas de  $P_{Al}$ ,  $P_{Fe}$ , e  $P_o$  (OLSEN e KHASAWNEH, 1980; BAHIA FILHO et al., 1983; RAIJ, 1991; NOVAIS e SMITH, 1999; ROCHA et al., 2005). Por causa disso, Lima et al. (2002), atribuíram as elevadas concentrações de fósforo extraídas a derivados de ossos e espinhas de peixes descartados por povos antigos nas áreas de TP.

Tabela 3: Valores de fósforo obtidos pelos métodos Mehlich-1, Melhich-3 e Bray-1 em diferentes sítios de TP da literatura

Sítio	Local	Melhich-1 <sup>1</sup>			Melhich-3 <sup>2</sup>			Bray-1 <sup>3</sup>	Referência	
		Min	Max	$\bar{x}_1$	Min	Max	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$		
Rio Urubu	Rio Preto da Eva	-	-	343	-	-	-	-		
Hatahara	Irاندوبا	396	4559	2275	173	1999	978	-		
Jiquitaia	Rio Preto da Eva	117	213	175	-	-	-	-		
Açutuba	Irاندوبا	-	-	86	-	-	-	-	Moreira (2007 e 2009); Lima (2002 e 2001); Rebellato (2007); Lehmann (2004); Souza (2009); Cannavan (2007); Falcão (2004); Neves Jr (2008)	
Costa do Laranjal	Manacapuru	81	549	262	-	-	-	-		
Serra Baixa	Manacapuru	-	-	9	-	-	-	-		
Caburi	Parintins	-	-	940	-	-	-	-		
Cajutuba	Santarém	-	-	936	-	-	-	-		
Caldeirão	Irاندوبا	-	-	339	-	-	-	-		
Itabeçu	Urucurituba	-	-	292	-	-	-	-		
TP do limão	Barreirinha			264	-	-	-	-		
Media dos 11 sítio	Diversos locais	8,57	1372	423	10	753	369	423		
Menino Jesus	Irاندوبا	-	-	519	-	-	-	-		Falcão (2006)
Roda de Fogo	Rio Preto da Eva	1	7	3	-	-	-	-		Soares (2007)
Balbina	Presidente Figueredo	-	-	15	-	-	-	-	Rodrigues (2003)	
Mina I	Caxiuanã-PA	-	-	135	-	-	-	-		
Cachoeira Porteira	Cachoeira Porteira - PA	-	-	321	-	-	-	-	Kern (1988); Kern e Kampf (1989)	

Métodos de extração de fósforo: <sup>1</sup> Mehlich-1; <sup>2</sup> Mehlich-3; <sup>3</sup> Bray-1. Concentração de fósforo em mg kg<sup>-1</sup>;  $\bar{x}_1$  para n = 3;  $\bar{x}_2$  para n = 11;  $\bar{x}_3$  para n = 11.

## 2.2 DISTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO

O fósforo do solo, dependendo da natureza do composto que está ligado, é classificado em dois grandes grupos: fósforo inorgânico ( $P_i$ ) e fósforo orgânico ( $P_o$ ) (FIXEN e LUDWICK, 1982). O  $P_i$  pode ser encontrado no solo em quatro formas diferentes: (i) na forma iônica; ou seja, disponível ( $H_3PO_4$ :  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  e  $PO_4^{3-}$ ); (ii) adsorvido na superfície dos constituintes inorgânicos e matéria orgânica do solo (Facilmente ligado); (iii) mineral, tanto na forma cristalina ou não (amorfa) (BARBER, 1995). A Figura 5 mostra as diferentes formas de fósforo no solo.

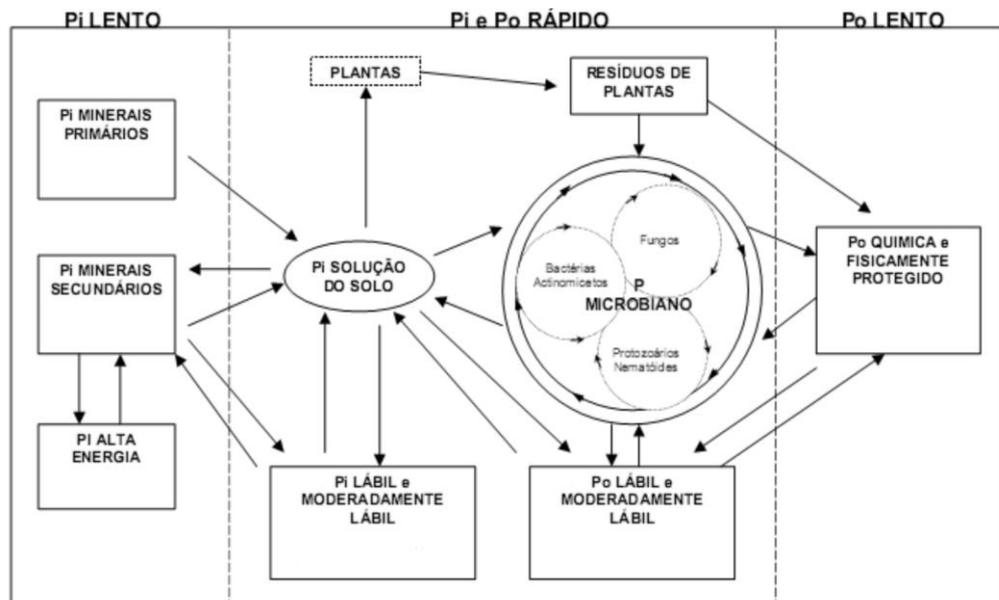


Figura 5: Diferentes formas de fósforo no solo.

Fonte: STEWART e SHARPLEY, 1987.

O processo de liberação de fósforo começa com sua dissolução de rochas por intemperização. O fósforo liberado é adsorvido por argilominerais (argilas 2:1), oxihidróxidos de ferro e alumínio e/ou matéria orgânica. Segundo Steffens (1994), se os conteúdos de matéria orgânica forem superiores as formas de fósforo inorgânicas, essa fração

poderá ser a principal fonte de fósforo para a solução do solo, pelo processo de mineralização da fração orgânica.

A condição ácida da maioria dos solos brasileiros torna as formas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$   $\text{HPO}_4^{2-}$  predominante na solução do solo (SANCHEZ e COCHRANE, 1980). O teor de fósforo total, geralmente, varia entre 50 a 1500  $\text{mg kg}^{-1}$ , sendo que menos de 0,1 % (0,002 a 2,0  $\text{mg L}^{-1}$ ) se encontra disponível na solução do solo (NOVAIS e SMYTH, 1999; BARCELOS, 2006).

A literatura mostra que as quantidades de fósforo na solução do solo estão diretamente relacionadas à carga superficial de argilomineral e matéria orgânica que dependem do pH (MESQUITA FILHO e TORRENT, 1993). A deficiência de fósforo em solos tropicais é intensificada devido ao pH ácido e presença de óxidos cristalinos e/ou amorfos de ferro e alumínio. Tais minerais apresentam grupamentos superficiais Fe-OH e Al-OH que dependendo do pH pode apresentar cargas positivas ou negativas como visto nas reações abaixo:



Dessa forma, o estabelecimento de adsorção entre os minerais e o fósforo reduz drasticamente a reposição desse elemento no solo em condições ácidas (BRADY, 1983).

### 2.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

O fósforo disponível pode ser quantificado por diferentes metodologias que tem como principio a utilização de soluções extratoras compostas por ácidos, bases, sais, quelantes ou misturas desses e a resina de troca aniônica (FIXEN e GROVE, 1990; SILVA e RAIJ, 1999; HOSSEINPUR e GHANEE, 2006). Esses métodos estimam a quantidade de fósforo em

solução, precipitado e adsorvido com fraca energia de interação aos coloides do solo (RAIJ, 1991). A aplicação de extratores químicos com diferentes modos de ação no estudo da disponibilidade de fósforo no solo é ferramenta promissora para entendimento deste elemento no ambiente, principalmente em se tratando daquelas formas que são absorvidas pelas plantas.

Os métodos geralmente utilizados no estudo do fósforo são as técnicas que separam as diferentes formas de fósforo ligado. O método de Chang e Jackson (1957) distingue as formas de fósforo inorgânico pelo fracionamento do fósforo fracamente ligado ( $P_{FL}$ ) e ligado ao alumínio ( $P_{Al}$ ), ferro ( $P_{Fe}$ ) e cálcio ( $P_{Ca}$ ). Um método de fracionamento, que contempla as frações orgânicas de fósforo e introduz a idéia de sua labilidade, foi proposto por Hedley et al. (1982). Nessa técnica, são adicionados, seqüencialmente, extratores de menor à maior força de extração, os quais removem fósforo inorgânico ( $P_i$ ) e orgânico ( $P_o$ ), das formas mais disponíveis às mais estáveis. Os extratores são Resina Trocadora de Ânions (PiRTA),  $NaHCO_3$  0,5 mol  $l^{-1}$  a pH 8,5 ( $P_{ibic}$  e  $P_{obic}$ ); NaOH 0,1 mol  $l^{-1}$  ( $P_{ihid}$  e  $P_{ohid}$ ); NaOH 0,1 mol  $l^{-1}$  + ultrasonificação ( $P_{ison}$  e  $P_{oson}$ ); HCl 1,0 mol  $l^{-1}$  ( $P_{iHCl}$ ) e; digestão com  $H_2SO_4$  +  $H_2O_2$  ( $P_{idig}$  +  $P_{odig}$ ).

Os métodos de Chang e Jackson e Hedley foram denominado e difundido como fracionamento de fósforo que usa seqüencialmente, extratores de menor à maior força de extração para remover  $P_i$  e  $P_o$ . Isso é possível pelo uso de diferentes extratores, cuja capacidade de extração está vinculada ao tipo de composto ligado ao fósforo e suas energias de ligação (CHANG e JACKSON 1957; SILVA e RAIJ, 1999).

Como a execução do fracionamento de fósforo é complexa, métodos mais simples tem sido sugerido, como é o caso da metodologia do fósforo disponível, que utiliza extratores ácidos, alcalinos, sais, quelantes e mistura destes, bem como uso de resinas de troca aniônica. Os extratores são de preparação rápida, baixo custo e, geralmente, são bem correlacionados com fósforo absorvido pelas plantas.

Na Tabela 4 estão listados os principais extratores de fósforo disponível, que podem ser classificados em quatro grupos: (1) Soluções diluídas de ácidos fortes; (2) Soluções diluídas de ácidos fortes adicionada com íon complexante; (3) Soluções diluídas de ácidos fracos; (4) Soluções alcalinas tamponadas. Todos os métodos consideram a reação do fósforo em soluções, ações específicas dos ânions e o pH do extrator.

Historicamente, os primeiros extratores de fósforo do grupo das soluções diluídas de ácidos fortes foram HCl, HNO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, em baixas concentrações. O HCl e HNO<sub>3</sub> causam um pequeno efeito restritivo, devido os ânions nitratos e cloretos serem menos eficazes no processo de redissolução de fósforo em solução a fase sólida. No caso do Mehlich-1 (Carolina do Norte), a solução extratora foi desenvolvida pela mistura de ácidos H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,0125 mol L<sup>-1</sup>) e HCl (0,05 mol L<sup>-1</sup>) usado para extrair P, K, Na, Zn, Cu, Fe, Mn entre outros (MEHLICH, 1953). Especificamente no caso do fósforo, o emprego do Mehlich-1 visa solubilizar os compostos de fósforo presentes no solo reduzindo o valor de pH entre 1,0 e 3,0. O íon cloreto é o responsável de restringir a redissolução do fósforo extraído às superfícies de cargas positivas dos minerais de argila (SILVA e RAIJ, 1999).

Apesar de ser mais utilizada, a literatura mostra que esse extrator não é muito recomendado na extração de fósforo, principalmente para aqueles solos com altos teores de Ca. A explicação para o fato é que P<sub>Ca</sub> é preferencialmente solubilizado pelos extratos do Mehlich-1 em relação aos P<sub>Al</sub>, P<sub>Fe</sub> (BARBOSA FILHO et al., 1987). Este fato pode superestimar os conteúdos de fósforo extraídos por extratores ácidos.

Tabela 4: Reagentes e procedimento de extração do fósforo disponível por diferentes métodos

Método	Solução extratora ou processo	Relação <sup>1</sup>	Tempo <sup>2</sup>	Referência
Melich-1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,0125 mol L <sup>-1</sup> + HCl 0,05 mol L <sup>-1</sup> a pH 1,2	1:10	5 min	Mehlich (1953)
Melich-2	NH <sub>4</sub> Cl 0,2 mol L <sup>-1</sup> + CH <sub>3</sub> COOH 0,20 mol L <sup>-1</sup> + NH <sub>4</sub> F 0,015 mol L <sup>-1</sup> + HCl 0,012 mol L <sup>-1</sup> a pH 2,5	1:10	16 h	Mehlich (1978)
Melich-3	CH <sub>3</sub> COOH 0,2 mol L <sup>-1</sup> + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 0,25 mol L <sup>-1</sup> + NH <sub>4</sub> F 0,015 mol L <sup>-1</sup> + HNO <sub>3</sub> 0,13 mol L <sup>-1</sup> + EDTA 0,001 mol L <sup>-1</sup> a pH 2,5	1:10	5 min	Mehlich (1984)
Bray-1	NH <sub>4</sub> F 0,03 mol L <sup>-1</sup> + HCl 0,025 mol L <sup>-1</sup> a pH 2,6	1:7	5 min	Bray e Kurtz (1945)
Bray-2	NH <sub>4</sub> F 0,03 mol L <sup>-1</sup> + HCl 0,01 mol L <sup>-1</sup> a pH 2,6	1:7	40 s	Bray e Kurtz (1945)
Olsen	NaHCO <sub>3</sub> 0,5 mol L <sup>-1</sup> a pH 8,5	1:20	30 min	Olsen et al. (1954)
Morgan	CH <sub>3</sub> COONa 0,75 mol L <sup>-1</sup> + CH <sub>3</sub> COOH 0,5 mol L <sup>-1</sup> a pH 4,8	1:5	30 min	Morgan (1937)
Truog	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,001 mol L <sup>-1</sup> tamponado com (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,05 mol L <sup>-1</sup> a pH 4,8			Truog (1930)
Lactato de Ca	Lactato de Ca 0,02 mol L <sup>-1</sup> + HCl 0,02 mol L <sup>-1</sup> a pH 3,7	1:50	1,5 h	Steffens (1994)
Égner	Lactato de amônio 0,1 mol L <sup>-1</sup> + CH <sub>3</sub> COOH 0,4 mol L <sup>-1</sup> a pH 4,0			Égner et al. (1960)
Água	Água destilada			Schofield (1955)
Texas	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> 1,30 mol L <sup>-1</sup> (pH 4,2) + EDTA 0,025 mol L <sup>-1</sup>	1:10	30 min	Sharpley et al. (1987)
Oxalato	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O 0,20 mol L <sup>-1</sup> + H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 0,20 mol L <sup>-1</sup>	1:40	4 h	Shahandeh et al. (1994)
EDTA	Na <sub>2</sub> EDTA 0,02 mol L <sup>-1</sup> a pH 4,8	1:25	1 h	Labhsetwar e Soltanpour (1985)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,025 mol L <sup>-1</sup>	1:25	15 min	Catani e Gargantini (1954)
NaOH	NaOH 0,025 mol L <sup>-1</sup>	1:50	17 h	Chang e Jackson (1957)

1 Massa de solo/volume de solução. 2 tempo de agitação.

Por causa disso, um novo método com  $\text{NH}_4\text{Cl}$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $0,20 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{F}$   $0,015 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{HCl}$   $0,012 \text{ mol L}^{-1}$  com pH de ajustado para 2,5 foi proposto para a extração de fósforo (Mehlich-2) (MEHLICH, 1978). Para a extração de fósforo, esse extrator tem sua ação baseada na presença do íon fluoreto e na acidez da solução. Por esse extrator conter cloreto a vidraria usada é atacada pelo íon, causando a modificação do método e sendo desenvolvido o Mehlich-3 que é composto por  $\text{CH}_3\text{COOH}$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_4\text{NO}_3$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_4\text{F}$   $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{HNO}_3$   $0,013 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{EDTA}$   $0,001 \text{ mol L}^{-1}$  (MEHLICH, 1984). Diferentemente das versões anteriores, no Mehlich-3 íon cloreto foi substituído pelo nitrato. Com isso, os efeitos de corrosão de instrumentos foram eliminados. Outra melhoria no método foi à adição de  $\text{EDTA}$  para imobilizar micronutrientes por complexação.

Os métodos Bray-1 e Bray-2, proposto por Bray e Kurtz (1945), também são amplamente utilizados para a determinação de fósforo em solos. O extrator do Bray-1 é composto de  $\text{HCl}$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{NH}_4\text{F}$   $0,03 \text{ mol L}^{-1}$  e Bray-2 por  $\text{HCl}$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{NH}_4\text{F}$   $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ . Nesses extratores, os íons fluoretos formam um complexo forte com íons alumínio, liberando, assim, o fósforo ligado ao metal. O fósforo presente no solo como  $\text{P}_{\text{Ca}}$ , também é extraído, com a precipitação de fluoreto de cálcio (KAMPRATH e WATSON, 1980).

Ao contrário das soluções extratoras anteriores, o método desenvolvido por Olsen et al. (1954) é baseado em um valor de pH básico ( $\approx 8,5$ ). O princípio desse método é a liberação de  $\text{P}_{\text{Al}}$ , e  $\text{P}_{\text{Fe}}$  pela elevação do valor de pH. Este método é indicado para determinação de fósforo em solos calcáreos. Neste caso, o íon carbonato atua substituindo o fósforo adsorvido no solo, além de reduzir a atividade do íon cálcio na solução do solo pela precipitação do cálcio, por isso é indicado para solos calcáreos.

### **3 LOCAIS E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO**

A amostragem deste trabalho foi realizada na região do médio e baixo Amazonas - AM (Figura 6). Os sítios selecionados têm como localização os municípios de Barreirinha, Itacoatiara, Manaus e Parintins. Na Tabela 5 estão listadas a localização e descrição dos sítios de TP amostrados. A grande maioria dos sítios de TP se encontra nas áreas de terra firme e atualmente, com diversas atividades, como agricultura em Tpa e Tpi, pastagem em Tpp e Tpm, e urbana em Tpl. Nos sítios Tph, Tpg e Tpsc são caracterizados por não ter atividades alguma.

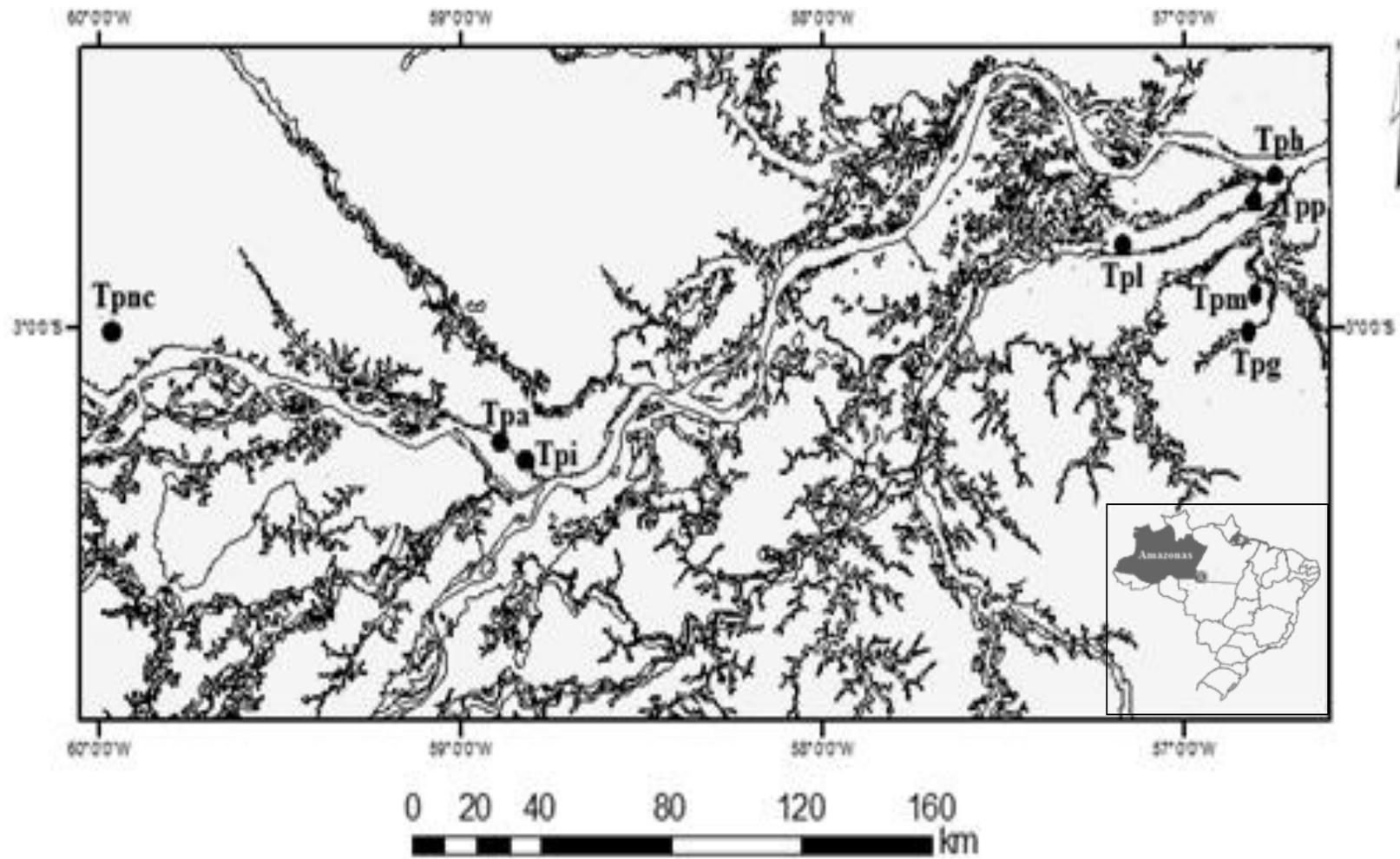


Figura 6: Mapa da localização dos pontos de coletas de TP

Tabela 5: Localizações e descrições de algumas características dos sítios de TP.

Município	Sítio	Sigla	Coordenadas Geográficas		Área (ha)	Espessura do Perfil Antrópico (cm)	Classe do Rio	Tipo de Ambiente Amazônico	Tipo de Cobertura
			S	O					
Manaus	Nova Cidade	Tpnc	02°59'34.24"	59°58'48.60"	1,0	30		Terra Firme	Arbustos
Itacoatiara	São José do Amatarí	Tpa	03°16'15.32"	58°53'16.79"	2,0	100	Branca	Terra Firme	Fruteiras
	São Pedro de Iracema	Tpi	03°18'56.11"	58°48'57.45"	1,0	40	Branca	Várzea	Fruteiras
Barreirinha	Terra Preta do Limão	Tpl	02°47'40.61"	57°10'09.80"	4,0	130	Branca	Terra Firme	Fruteiras
Parintins	Hospital Jofre Cohem	Tph	02°37'14.94"	56°43'36.57"	1,0	40	Branca	Terra Firme	Gramínea
	Parananema	Tpp	02°40'29.66"	56°46'57.73"	1,5	40	Clara	Terra Firme	Gramínea
	Gregoste	Tpg	02°59'14.09"	56°49'01.12"	1,0	20	Clara	Terra Firme	Mata Secundária
	Marajó	Tpm	02°54'16.73	56°47'37.13"	4,0	80	Clara	Terra Firme	Gramínea

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 AMOSTRAGEM

As amostras de solo foram coletadas entre os meses de julho e setembro do ano de 2010, segundo procedimentos recomendados pela Embrapa (1999). A coleta foi feita em ziguezague, sendo retiradas 15 amostras simples na profundidade de 0–20 cm, com auxílio de uma pá, em uma área de aproximadamente 1 ha. As amostras de cada ponto de coleta foram retiradas desprezando as bordas da fatia, transferidas para um balde de polietileno limpo e secas ao ar por uma semana no Laboratório a temperatura ambiente. Sendo então, desagregadas manualmente com auxílio de um rolo de madeira e separadas granulometricamente usando peneiras de malha 2,0 mm. As frações maiores que 2,0 mm foram descartadas e as menores utilizadas para as análises de caracterização física, química e experimentos de extração.

### 4.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As amostras foram reduzidas a frações  $< 0,053$  mm sendo, então, submetidas à difração de raios X, após serem levemente puerizadas com auxílio de um pistilo e gral de ágata até apresentarem textura de pó. Em seguida, as amostras foram colocadas em porta-amostra de alumínio com o auxílio de uma espátula de metal e prensadas com uma lâmina de

vidro. As condições instrumentais descritas na Tabela 6 foram usadas para a realização das medidas de raios X.

Tabela 6: Condições instrumentais de leitura de DRX

Instrumento	Comentário
Marca	Shimadzu
Modelo	XRD - 6000
Tubo de raios X	$K\alpha$ Cu
Ângulo de varredura	$2\theta^\circ$
Modo de varredura	Contínuo
Intervalo de varredura	10 a 80
Velocidade de varredura	$2^\circ \text{ min}^{-1}$
Corrente	30 mA

#### 4.3 ANÁLISES TEXTURAL E QUÍMICAS DAS AMOSTRAS

Abaixo estão listadas as análises de caracterização física e química realizadas na EMBRAPA Amazônia Ocidental. Todas as metodologias foram feitas segundo a Embrapa (1999).

- A granulométrica pelo método da pipeta e a classificação textural baseado na triangulo das classes texturais USDA;
- pH (em  $\text{H}_2\text{O}$ , KCl e  $\text{CaCl}_2$ ) pelo método potenciométrico;
- Carbono Orgânico (C) pelo método Walkley – Black e Matéria orgânica C x 1,724;
- O Na, K, Fe, Zn, Mn e Cu trocável foram extraídos pelo Mehlich–1, sendo que a leitura das quantidades de Na e K foram feitas no fotometro de chama, enquanto que o Fe, Zn, Mn e Cu por (Espectroscopia de absorção atômica de chama) FAAS;

- O Ca, Mg, Al trocável foram extraídos pelo KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, sendo as quantidades determinadas por volumetria com EDTA e NaOH.

#### 4.4 DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL

A análise de fósforo total foi obtida em triplicata com a digestão com ácidos concentrados (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e HF) e peróxido de hidrogênio, e determinado pelo método do ácido ascórbico como descrito por Sparks et al. (1996).

Em béquer de teflon foi adicionado 0,5 g de solo da fração < 2,0 mm, e em seguida colocado 5,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e 3,0 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%). Depois de clarear o sobrenadante foi adicionado 1,0 mL de HF, misturado bem, e aquecido a 150 °C por 12 minutos. Por fim, o sobrenadante foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL, sendo o volume ajustado com água destilada.

A solução de trabalho foi obtida pela mistura de 50,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2,5 mol L<sup>-1</sup>; 15,0 mL de molibdato de amônio; 30 mL de ácido ascórbico 0,1 mol L<sup>-1</sup>; e 5,0 mL de tartarato de antimônio e potássio preparado horas antes da determinação de fósforo.

A determinação do fósforo no sobrenadante foi realizada pela adição de 5,0 mL do sobrenadante, 10,0 mL da solução de trabalho e 15,0 mL de ácido bórico 0,8 mol L<sup>-1</sup>, em balão volumétrico de 50 mL. O pH foi ajustado para aproximadamente 3,0 com NaOH 2,0 mol L<sup>-1</sup> e o volume completado com água destilada. Após a mistura de reagentes e extrato foi feita a curva de calibração com as soluções padrões nas concentrações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 mg L<sup>-1</sup> de fósforo na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. As mesmas proporções usadas para determinação das amostras de fósforo foram mantidas no preparo dos padrões. As leituras das amostras foram feitas em um espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV-1650PC) no comprimento de onda de 885 nm.

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DE FÓSFORO USANDO OS EXTRATORES MEHLICH-1, MEHLICH-3, BRAY-1 E OLSEN

- *Mehlich-1*: adicionou-se 2,500 g de solo em tubos de centrifuga de 50 mL juntamente com 25,0 mL do extrator. Em seguida os tubos foram agitados em uma mesa horizontal circular (marca Orbital 141), no nível nove de rotação por um período de 5 min. Por fim os tubos foram centrifugação por 10 minutos a 3000 rpm para separar o sobrenadante (MEHLICH, 1953);

- *Mehlich-3*: adicionou-se 2,500 g de solo em tubos de centrifuga de 50 mL juntamente com 25,0 mL do extrator. Em seguida os tubos foram agitados em uma mesa horizontal circular, no nível nove de rotação por um período de 5 min. Por fim os tubos foram centrifugação por 10 minutos a 3000 rpm para separar o sobrenadante (MEHLICH, 1984);

- *Bray-1*: adicionou-se 2,500 g de solo em tubos de centrifuga de 50 mL juntamente com 17,5 mL do extrator. Em seguida os tubos foram agitados em uma mesa horizontal circular, no nível nove de rotação por um período de 5 min. Por fim os tubos foram centrifugação por 10 minutos a 3000 rpm para separar o sobrenadante (BRAY e KURTZ, 1945);

- *Olsen*: adicionou-se 2,000 g de solo em tubos de centrifuga de 50 mL juntamente com 40,0 mL do extrator. Em seguida os tubos foram agitados em uma mesa horizontal circular, no nível nove de rotação por um período de 30 min. Por fim, os tubos foram centrifugação por 10 minutos a 3000 rpm para separar o sobrenadante (BRAY e KURTZ, 1945);

Nos extratos obtidos pelo Mehlich-1 e Mehlich-3, os conteúdos de fósforo foram pelo método do ácido ascórbico determinados segundo a EMBRAPA (2009). Enquanto que nos

extratos obtidos a partir do Bray-1 e Olsen, o fósforo foi determinado segundo Murphy e Riley (1962).

Após a separação do sobrenadante, alíquotas dos extratos foram retiradas e misturadas com a solução de trabalho (solução estoque + ácido ascórbico) preparada na hora da análise a partir da solução estoque (ácido sulfúrico + molibdato de amônio + tartarato de antimônio potássio, no caso do Mehlich-1 substitui-se o tartarato pelo subcarbamato de bismuto) para formação de um complexo fosfomolibdico de cor azul.

Na Tabela 7 estão listadas as proporções da solução estoque, ácido ascórbico e alíquotas de extrato utilizadas na determinação de fósforo para cada método. Após a mistura de reagentes e extrato foi feita a curva de calibração com as soluções padrões nas concentrações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 mg L<sup>-1</sup> de fósforo na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. As mesmas proporções usadas para determinação das amostras de fósforo foram mantidas no preparo dos padrões. As leituras das amostras foram feitas em um espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV-1650PC) no comprimento de onda de 885 nm (MURPHY e RILEY, 1962; EMBRAPA, 2009). Todas as determinações foram realizadas em triplicata para avaliações estatísticas dos métodos.

Tabela 7: Proporções de reagentes para preparo do complexo fosfomolibdico dos métodos de extração de P

Método	Solução de Trabalho			Alíquota do padrão ou extrato (mL)	Solução de trabalho (mL)
	Solução estoque (mL)	Ac. Ascórbico (g)	Volume total (mL)		
Mehlich-1	10	3,0	1000	5	10
Mehlich-3	40	2,0	1000	2	26
Bray-1	50	1,5	1000	5	20
Olsen	80	2,0	1000	5	10

#### 4.6 FRACIONAMENTO DAS FORMAS DE FOSFORO INORGÂNICAS

Para o fracionamento do fósforo inorgânico usou-se o procedimento proposto por Chang e Jackson (1957), fracionando-se, assim, o fósforo facilmente ligado ( $P_{FL}$ ), fósforo ligado a alumínio ( $P_{Al}$ ), fósforo ligado a ferro ( $P_{Fe}$ ) e o fósforo ligado a cálcio ( $P_{Ca}$ ), de acordo com o descrito abaixo:

*Fósforo fracamente ligado* - Colocou-se 1,0 g de solo e 50,0 mL de  $NH_4Cl$  1,0 mol  $L^{-1}$  em tubo de centrífuga, no nível nove de agitação durante 30 minutos. A suspensão foi centrifugada por 10 minutos a 3000 rpm, sendo o extrato transferido para um balão volumétrico de 50 mL, e o volume ajustado com água destilada.

*Fósforo ligado a alumínio* - No resíduo remanescente da extração anterior foi adicionado 50,0 mL de  $NH_4F$  0,5 mol  $L^{-1}$  (com pH ajustado para 8,2 com  $NH_4OH$  4,0 mol  $L^{-1}$ ), seguido de agitação em nível nove por 1 h. Após centrifugação por 10 minutos a 3000 rpm, o extrato foi coletado e o resíduo lavado duas vezes com 25,0 mL de NaCl saturado. Por fim, o extrato e a lavagem foram misturados em balão de 100 mL e o volume ajustado com água destilada.

*Fósforo ligado a ferro* - No resíduo remanescente da extração anterior foi adicionado 50,0 mL de NaOH 0,1 mol  $L^{-1}$  sob agitação em nível nove por 17 h, centrifugada durante 10 minutos a 3000 rpm e o resíduo lavado duas vezes com 25,0 mL de NaCl saturado. O extrato e a lavagem foram misturados no balão de 100 mL e o volume ajustado com água destilada. Como o extrato se apresentou escurecido, algumas gotas de HCl 2,0 mol  $L^{-1}$  foram adicionadas para floculação dos colóides orgânicos. O procedimento de centrifugação foi repetido sucessivas vezes até obtenção de um extrato límpido.

*Fósforo ligado a cálcio* - No resíduo remanescente da extração anterior foi adicionado 50,0 mL de  $H_2SO_4$  0,25 mol  $L^{-1}$  sob agitação em nível nove por 1 h. A suspensão foi centrifugada por 10 minutos a 3000 rpm e o sobrenadante coletado. O resíduo remanescente

foi lavado duas vezes com 25,0 mL de NaCl saturado, sendo a lavagem e o sobrenadante transferidos para um balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada.

A determinação do fósforo no sobrenadante da extração sucessiva foi realizada segundo Sparks et al. (1996), pela metodologia do ácido ascórbico com descrito abaixo:

A solução de trabalho foi obtida pela mistura de 50,0 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2,5 mol  $\text{L}^{-1}$ ; 15,0 mL de molibdato de amônio; 30 mL de ácido ascórbico 0,1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; e 5,0 mL de tartarato de antimônio e potássio preparado horas antes da determinação de fósforo.

Em 5,0 mL dos extratos de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1,0 mol  $\text{L}^{-1}$ ,  $\text{NaOH}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,25 mol  $\text{L}^{-1}$  foi adicionado 10,0 mL da solução de trabalho, com a correção do pH para aproximadamente 3,0 com  $\text{NaOH}$  2,0 mol  $\text{L}^{-1}$  e  $\text{HCl}$  2,0 mol  $\text{L}^{-1}$ . Nos extratos de  $\text{NH}_4\text{F}$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  além da solução de trabalho foi adicionado 15,0 mL de ácido bórico 0,8 mol  $\text{L}^{-1}$ , em balão volumétrico de 50 mL.

Após a mistura de reagentes e extrato foi feita a curva de calibração com as soluções padrões nas concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 mg  $\text{L}^{-1}$  de fósforo na forma de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . As leituras das amostras foram feitas em um espectrofotômetro (Shimadzu, modelo UV-1650PC) no comprimento de onda de 885 nm.

Por fim, o fósforo orgânico foi determinado pela diferença entre o fósforo total e as frações inorgânicas. Todas as determinações foram realizadas em triplicata para avaliações estatísticas dos métodos.

#### 4.7 CINÉTICA DE EXTRAÇÃO DE FÓSFORO

Os sítio de Tpl e Tpc foram submetidos a cinética de dessorção de fósforo com o Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen com intervalo de tempo de cinco a cinquenta minutos.

As curvas de cinética foram ajustadas pela equação  $x = \beta - (\beta - \alpha)e^{kt}$  proposta por McKean e Warren (1996). O teor de fósforo dessorvido é representado por  $x$ ,  $\beta$  o máximo de dessorção,  $\alpha$  dessorção mínima,  $k$  a constante de dessorção e  $t$  o tempo na equação. Os valores dos parâmetros foram obtidos no programa versão Origin 8.0. O processo de extração e determinação de fósforo foi feito da mesma forma da extração de fósforo com o Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen como descrito no item 4.5.

#### 4.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O teste estatístico, ANOVA *one-way* ( $p > 0,95$ ), foi aplicado para verificar possíveis diferenças nos valores de atributos químicos e físicos das TP.

As análises estatísticas multivariadas HCA (análise por agrupamento hierárquico) e PCA (análise por componentes principais) foram usadas para descrever a similaridade entre os sítios de TP no que diz respeito às formas de fósforo obtidas pelo fracionamento. O PCA foi analisado segundo as correlações entre as variáveis e o HCA foi baseado na distância Euclidiana (OTTO, 1999).

O MINITAB 14, ORIGIN 8.0 e STATISTICA 6.1 foram os softwares utilizados nos cálculos estatísticos, confecção de gráficos e difratograma de raios X;

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, QUÍMICA E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DAS TP

A difração de raios X (Figura 7) mostra basicamente a mesma mineralogia para todos os sítios de TP estudados; ou seja, presença majoritária de caulinita e quartzo e minoritária de illita e anatásio. Adicionalmente, nos sítios Tpa, Tpi e Tpl foram verificados a presença de albita e feldspato potássico. É possível observar também a presença de gibsitita em Tpn.

Em termos de fertilidade, os sítios Tpi, Tpa e Tpl se destacam por apresentar as maiores quantidades de matéria orgânica e nutriente (Tabela 8). Para Kern (1996), Costa e Kern (1999) e Benites et al. (2005), esse fato está relacionado com o tipo de atividade antrópica, como a adição de resíduos orgânicos (urina, fezes, tecidos animais e vegetais e ossos) e de carvão, desenvolvida pelos antigos povos da Amazônia. A presença de altos teores de matéria orgânica e nutriente em especial o potássio evidencia a hipótese do uso constante do fogo; ou seja, os povos pré-históricos utilizavam cotidianamente fogueiras em suas atividades diárias e queima da mata periodicamente em plantações de roças para fabricação de farinha (GLASER et al., 2000). Por outro lado, a variabilidade dos atributos químicos em TP pode estar relacionada à atividade antrópica recente, como a agricultura intensiva (COSTA et al., 2003; KERN, 1996).

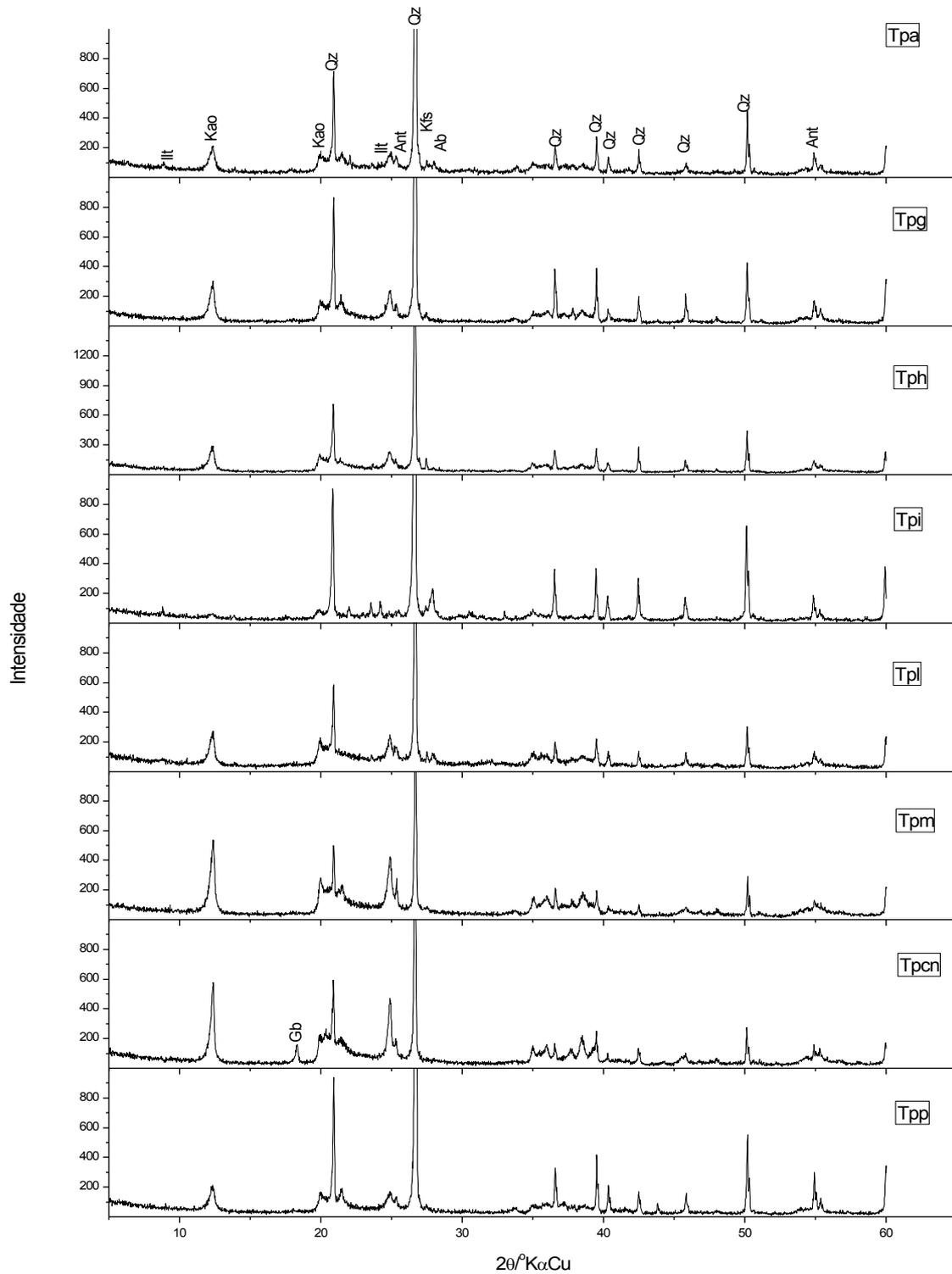


Figura 7: Difratograma de raios X das amostras de TP (fração < 0,053mm).

Caulinita (Kao), Quartzo (Qz), Ilita (Ilt), Anátasio (Ant), Albita (Ab), Feldspato potássico (Kfs), e Gibsita (Gb).

Tabela 8: Atributos químicos de oito sítios de TP

Atributos	Sítio							
	Tpa <sup>(1)</sup>	Tpl <sup>(2)</sup>	Tpi <sup>(3)</sup>	Tph <sup>(4)</sup>	Tpm <sup>(5)</sup>	Tpp <sup>(6)</sup>	Tpg <sup>(7)</sup>	Tpnc <sup>(8)</sup>
pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>	6,34	6,30	6,00	5,84	5,81	5,51	5,36	5,16
pH <sub>(KCl)</sub>	5,60	5,49	5,36	4,79	4,75	4,54	4,31	4,17
pH <sub>(CaCl<sub>2</sub>)</sub>	5,72	5,56	5,46	5,02	5,50	4,67	4,49	4,20
C (g kg <sup>-1</sup> )	47,48	33,44	26,59	24,97	23,68	22,52	22,66	7,02
MO (g kg <sup>-1</sup> )	81,67	57,51	45,74	42,95	40,73	38,74	38,98	12,08
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	97,00	118,00	155,00	39,00	19,00	16,00	17,00	5,00
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	13,00	51,00	37,00	14,00	6,00	4,00	4,00	1,00
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	10,68	10,20	8,46	5,40	3,83	3,73	3,11	0,09
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,14	1,12	1,56	0,47	0,69	0,27	0,43	0,02
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,26	0,86
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	86,00	81,00	162,00	68,00	19,00	26,00	49,00	26,00
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	19,64	62,19	24,58	19,85	10,73	6,97	2,99	1,23
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	413,7	86,72	122,15	50,57	37,29	33,11	40,32	11,70
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	1,81	1,30	1,84	11,44	0,73	0,63	0,48	0,61
P total (mg/kg)	3446	7947	3623	2753	2903	2930	2937	3023

<sup>(1)</sup> Terra Preta de São José do Amatarí; <sup>(2)</sup> Terra Preta do Distrito de Terra Preta do Limão; <sup>(3)</sup> Terra Preta de São Pedro de Iracema; <sup>(4)</sup> Terra Preta do Hospital; <sup>(5)</sup> Terra Preta Marajó; <sup>(6)</sup> Terra Preta do Parananema; <sup>(7)</sup> Terra Preta Gregoste; <sup>(8)</sup> Terra Preta da Nova Cidade.

A classificação textural encontrada nos em TP é caracterizada pela distinção em termos de quantidades maiores de areia em relação ao silte e argila. De modo geral a classificação textural dos oitos sítios de TP é distinta: i) Tpl, Tpm e Tpnc possuem textura franco argilo arenosa; ii) Tph, Tpp e Tpg franco arenosa; iii) Tpa franco argilosa; e iv) Tpi franco siltosa (Figura 8). Essa diferenciação na composição textural também foi registrada na literatura (IDESP, 1974; KERN, 1988; KERN e KAMPF, 1989; LIMA, 2001; OLIVEIRA Jr., 2002; GERMAN, 2003; FALCÃO, 2006; CANNAVAN, 2007; SOARES, 2007; SOUZA, 2009), o que leva a supor que os indígenas ocupavam diferentes solos. É possível notar

também que em todas as amostras de TP os valores de  $\Delta\text{pH}$  é negativo, indicando a predominância de espécies de cargas negativas provenientes de argilas silicatadas formadas, por exemplo, por caulinitas e/ou elevados conteúdos de matéria orgânica (TANAKA, 1984), como foi verificado na Figura 7 e Tabela 8.

Os coeficientes de variação (CV), de pH e nutrientes deste trabalho, de maneira geral, demonstram a existência de valores próximos entre: i) pH em  $\text{H}_2\text{O}$ , KCl e  $\text{CaCl}_2$ , ii) K e Na e iii) Ca e Fe (Figura 8). Destaca-se o Al que apresentou CV muito diferenciado entre si, muito embora este resultado não possa ser avaliado por ter sido calculado com apenas duas determinações. Por outro lado, em termos de variação de pH e nutrientes, observa-se que os CV, encontrados para 18 TP na literatura, apresentam valores aleatórios e, geralmente, superiores aos encontrados neste trabalho. Particularmente, os CV deste trabalho e da literatura para pH ( $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CaCl}_2$ ) e micronutrientes (Fe, Mn e Zn) tiveram variações próximas. O mesmo não ocorre com outros atributos de TP, em especial para o teor de Cu, cujo CV é maior que o valor encontrado neste trabalho. Os elevados CV encontrados verificado é uma prova da grande variabilidade dos atributos das TP da Amazônia, fato que está relacionado com o tipo de atividade desenvolvida pelo homem do passado, no processo da gênese de solos antrópicos (MOREIRA, 2009).

Em termos de teores de fósforo total, a análise estatística ANOVA *one-way*, mostra no gráfico *Box-plot*, que apenas o sítio Tpl é diferente estatisticamente com nível de confiança de 95% (Figura 8) dos outros sítios estudados. Em relação aos resultados encontrados na literatura em seis sítios (KERN, 1988; KERN e KAMPF, 1989; LIMA, 2001; RODRIGUES, 2003; CANNAVAN, 2007; SOARES, 2007; MOREIRA et al. 2007), observa-se que os teores de fósforo total dos sítios de TP são variados. Particularmente no sítio Tpl foi encontrado alto teor de fósforo total, fato também observado por Lima (2002) e Oliveira Jr et al. (2002).

Sugere-se, neste caso, um estudo mais apurados para explicar o valor encontrado, uma vez que em TP ocorrem áreas de descarte de lixo, cujos valores de pH e nutrientes são elevados.

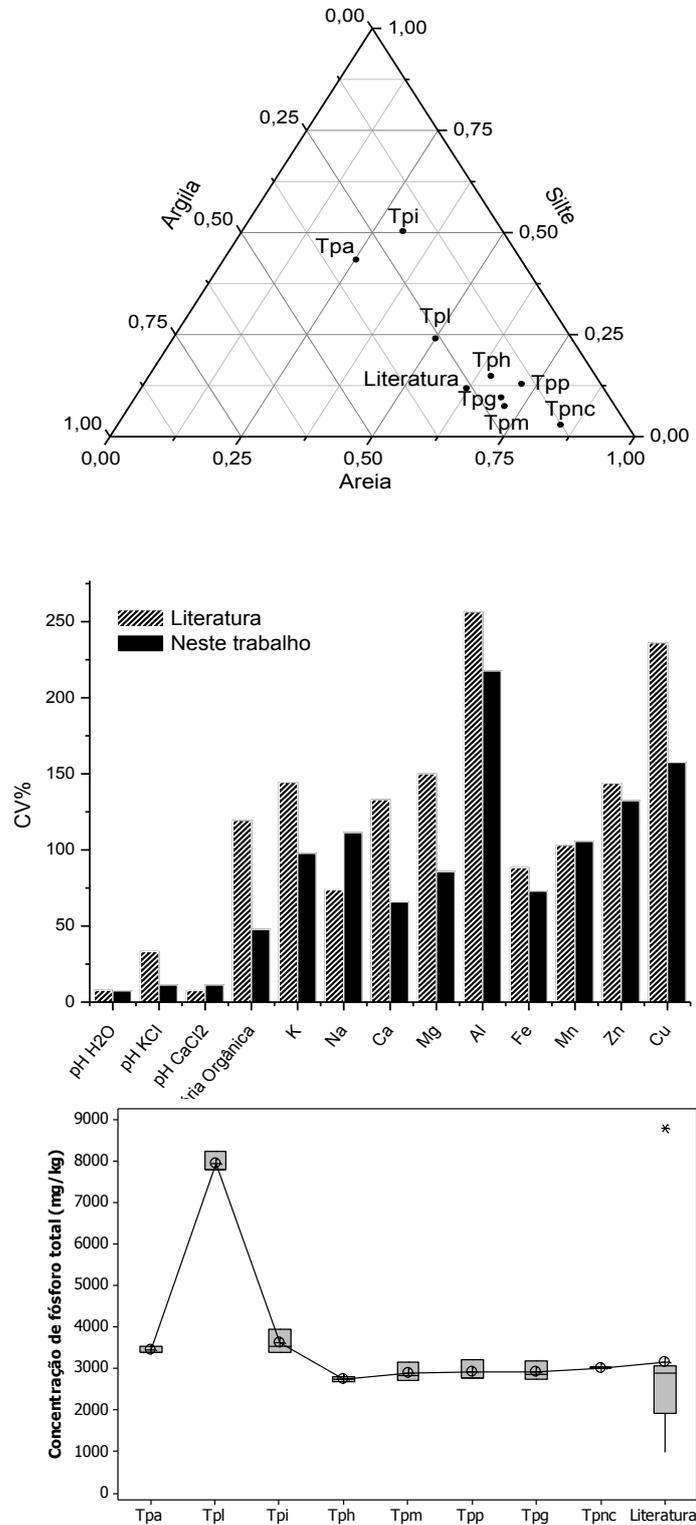


Figura 8: Gráficos comparativos dos atributos dos oitos sítios de TP estudados com a literatura.

## 5.2 EXTRAÇÃO DE FÓSFORO

### 5.2.1 Fracionamento das formas de fósforo

A Figura 9 mostra a distribuição das formas de fósforo das frações  $P_{FL}$ ,  $P_{Al}$ ,  $P_{Fe}$ ,  $P_{Ca}$  e  $P_o$  dos sítios de TP. Nota-se que a quantidade de cada fração varia de acordo com sítio de TP, entretanto o somatório dessas frações permanece praticamente constante na maioria dos sítios, com maior contribuição de  $P_o$ , com exceção do sítio Tpi, cuja maior contribuição foi do  $P_{Ca}$ . O percentual relativo médio dessas formas de fósforo, de forma geral, obedeceu à seguinte ordem:  $P_o$  (42,7%) >  $P_{Ca}$  (19,6%) >  $P_{Al}$  (17,2%) >  $P_{Fe}$  (16,3%) >  $P_{FL}$  (4,3%). Especialmente o caso da Tpi, esse comportamento não foi verificado, uma vez que o  $P_{Ca}$  foi predominante com um percentual de 52,3%, sendo o único sítio de TP em que o  $P_{Ca}$  teve valor superior a  $P_o$ . Por outro lado, as menores concentrações de fósforo foram observadas no  $P_{FL}$  indicando que o fósforo presente em TP é adsorvido em baixa quantidade nos colóides do solo.

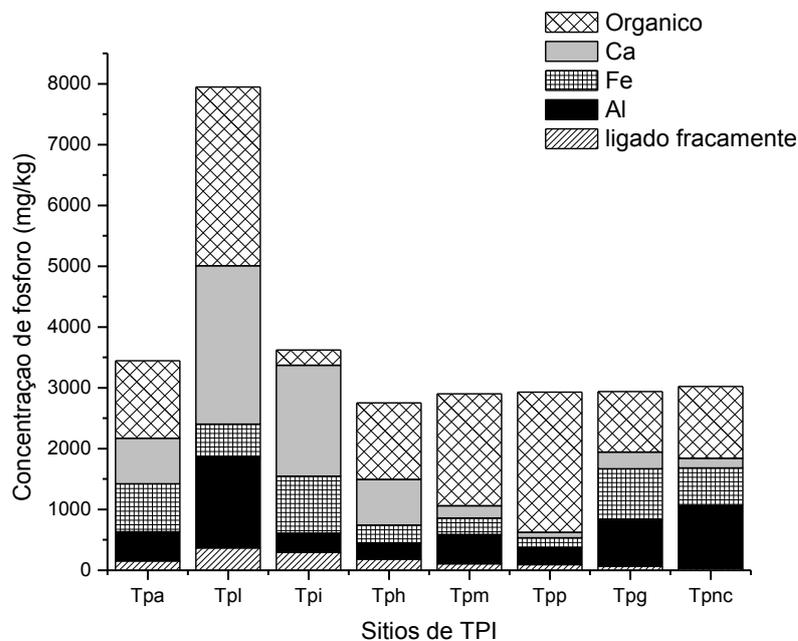


Figura 9: Concentrações do fósforo orgânico, fósforo ligado ao cálcio, ferro, alumínio, e fósforo francamente ligado.

### 5.2.2 Extração de fósforo com Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen

A Figura 10 mostra as concentrações do fósforo extraído segundo os métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen, sendo possível destacar a seguinte seqüência de extração: Mehlich-1 >> Mehlich-3 > Bray-1 > Olsen. Os teores de fósforo em TP obtidos pelo Mehlich-1 foram elevados e muito variados em relação os outros métodos de extração. Esse comportamento pode ser explicado pela extração seqüencial, cuja quantidade de fósforo extraído de  $P_{Ca}$  está diretamente relacionada a capacidade de extração do Mehlich-1 (Figura 9). Os valores elevados de  $P_{Ca}$  obtidos nos sítios de Tpa, Tpl, Tpi e Tph superestimam o fósforo disponível sugerido pelo Mehlich-1. Por apresentar quantidades baixas de  $P_{Ca}$ , apenas nos sítios Tpg (9,0%) e Tpsc (5,0%) o Mehlich-1 extraiu quantidades semelhantes aos outros extratores. Esses resultados confirmam o comportamento obtido por Lima (2001, 2005), e Moreira (2007 e 2009) na extração de fósforo com Mehlich-1, que atribuíram à maior quantidade extraída a relação preferencial pelo  $P_{Ca}$ .

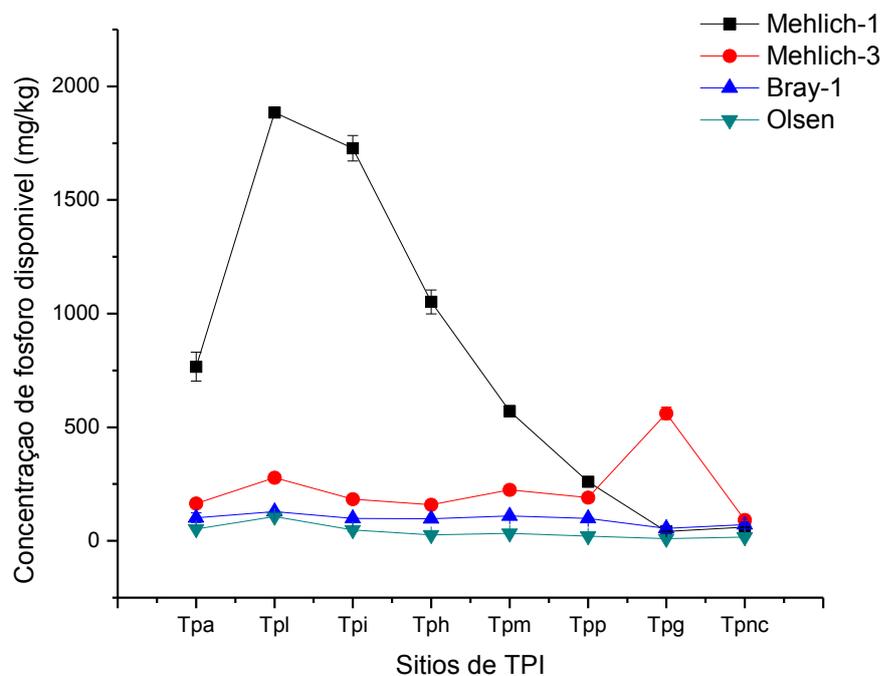


Figura 10: Concentrações de fósforo extraídas pelos métodos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen.

Os outros três métodos, praticamente, não apresentaram variação em função do sítio de TP, com exceção do sítio Tpg para o Mehlich-3. Este comportamento pode estar relacionado às características químicas do método, em extrair preferencialmente  $P_{Al}$  e  $P_{Fe}$ , uma vez que o sítio de Tpg apresentou 26,0 e 29,0 % dessas frações respectivamente (Figura 9), uma vez que este extrator tem sua ação baseada na presença do íon fluoreto, que forma um forte complexo com íon alumínio e ferro, liberando assim o fósforo do metal (SILVEIRA, 2000).

### ***5.2.3 Classificação hierárquica das TP segundo o fracionamento das formas de fósforo***

Os dados de extração das frações ligadas ao fósforo foram utilizados para fazer uma classificação dos sítios de TP estudados. A classificação dos solos segundo HCA e PCA é mostrada na Figura 11. O dendrograma obtido na HCA classifica os dados em três grandes grupos, assim formados: i) Grupo A, formado por: Tpa, Tpg, Tpsc e Tpi, que são amostras coletadas em Manaus, Parintins e Itacoatiara; ii) Grupo B, formado por: Tph, Tpm e Tpp coletadas somente Parintins; e iii) Grupo C, formado por: Tpl (Barreirinha). Essa classificação é confirmada no PCA, cujo *PC loading* foi construído para PC1 47,87% versus PC2 33,71%. Chama a atenção, nos resultados obtidos, a maior contribuição do  $P_{Ca}$  em PC1 ( $r=0,38$ ) e  $P_o$  em PC2 ( $r=0,48$ ), muito embora o fator coordenada da variáveis em PC1 seja formado por  $P_{Ca}$  ( $r = 0,96$ ),  $P_{FL}$  ( $r = 0,89$ ) e  $P_{Al}$  ( $r = 0,66$ ) e PC2 por  $P_o$  ( $r = 0,90$ ) e  $P_{Fe}$  ( $r = -0,87$ ). Destaca-se que a única correlação forte observada nos dados é entre  $P_{Ca}$  e  $P_{FL}$  ( $r = 0,971$ ), ou seja, possivelmente, o  $P_{Ca}$  seja a principal forma de fósforo em TP na manutenção da reposição de fósforo na solução do solo, muito embora Steffens (1994) tenha atribuído esse fato ao fósforo proveniente da matéria orgânica.

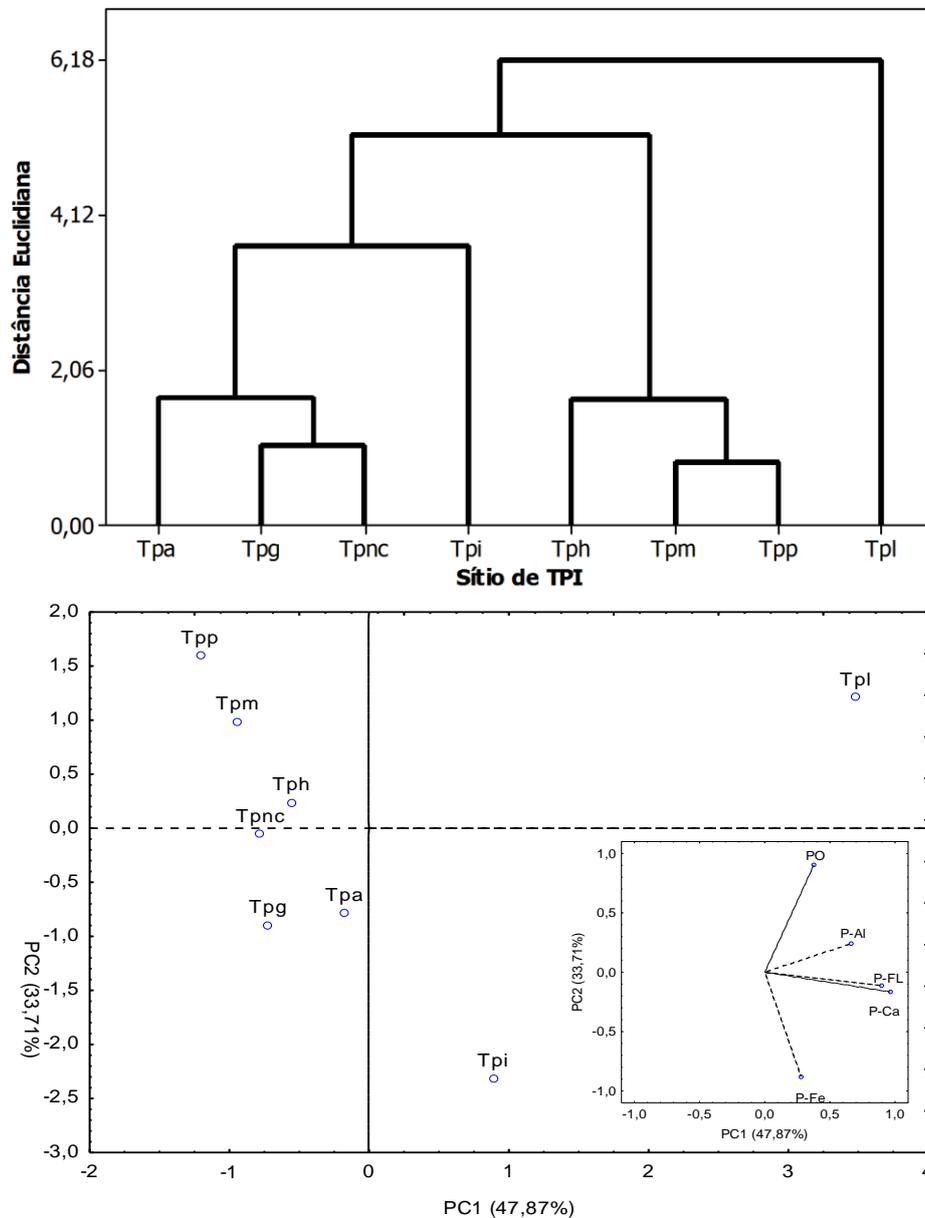


Figura 11: análise de HCA e PCA das frações de fósforo das TP.

### 5.3 EXTRAÇÃO DO FÓSFORO DISPONÍVEL EM FUNÇÃO DO TEMPO

Os sítios Tpl e Tpsc foram usados para estabelecer a cinética de desorção de fósforo pelos Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen. A razão da escolha dos dois sítios se deve à concentração extraída pelo método Mehlich-1, único extrator que apresentou grandes diferenças no teor de fósforo nos oito sítios de TP, cujos extremos são: máxima Tpl ( $P_{Ca} = 32,7\%$  e  $P_o = 37,0\%$ ) e mínima Tpsc ( $P_{Ca} = 5,3\%$  e  $P_o = 39,1\%$ ). Os melhores ajustes das

curvas cinéticas foram obtidos para os métodos Mehlich-1 e Olsen (Figura 12). Esse fato indica claramente que esses dois métodos dependem diretamente do tempo para extrair o fósforo. Entretanto, os parâmetros calculados sugerem que nos dois sítios, o Mehlich-1 foi o método com maior influência com o tempo, extraindo 20% a mais que o Olsen.

Os baixos valores da constante de dessorção ( $k$ ) revelam que tanto no Mehlich-1 quanto no Olsen esse processo é relativamente baixo confirmando a baixa capacidade de adsorção da TP, ou seja, o  $P_{FL}$  (Tabela 9). No caso do método Olsen, os valores de  $k$  permanecem praticamente o mesmo e a quantidade mínima e máxima extraída com valores de  $k$  mudam em função da quantidade de  $P_{ca}$ .

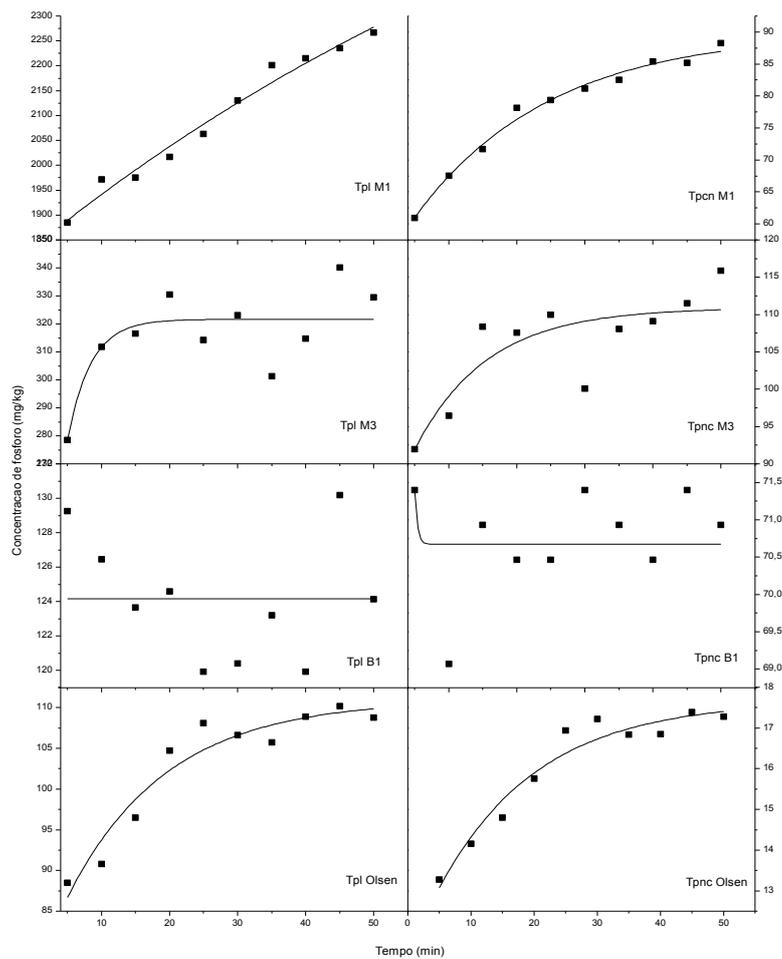


Figura 12: Curva cinética de extração de fósforo usando os Mehlich-1, Mehlich-3, Bray-1 e Olsen para os sítios de Tpl e Tpcn.

Tabela 9: Parâmetros cinéticos obtidos usando a equação McKean &amp; Warren para a extração de fósforo

Sítios de TP	Parâmetro de ajuste	Mehlich-1	Mehlich-3	Bray-1	Olsen
T <sub>pl</sub>	Mínimo	1835 (29)	135 (242)	-794,76 (1)	76,8 (5,2)
	Máximo	3003 (865)	322 (5)	124,18 (1)	111,0 (2,37)
	k	0,0095 (91)	0,29 (2)	35,47 (1)	0,068 (21)
	R <sup>2</sup>	0,97	0,51	-0,28	0,91
T <sub>pn</sub>	Mínimo	52,8 (2)	80,5 (13)	399886,0 (2,58)	11,35 (78)
	Máximo	90,1 (1,7)	111 (3)	70,67 (0,26)	17,67 (41)
	k	0,049 (8)	0,094 (60)	2,64 (133804)	0,063 (17)
	R <sup>2</sup>	0,98	0,6	-0,14	0,93

Os valores em parêntese são erros obtidos durante o ajuste da cinética de dessorção.

#### 5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS UTILIZADOS

Ao relacionar os resultados obtidos no fracionamento e extratores verifica-se que as diferenças observadas estão relacionadas às formas de fósforo. Nesse sentido, como esperado, se a quantidade cálcio for alta a extração do fósforo dependerá do P<sub>Ca</sub>. Em princípio, das formas de fósforo no solo, a fração do P<sub>o</sub> praticamente não interfere nos métodos de extrações utilizados, com também as formas de P<sub>Al</sub> e P<sub>Fe</sub>. Neste contexto, a mimetização de extração de fósforo pelas plantas em TP não pode ser feita com o Mehlich-1, pois esse método superestima a quantidade disponível deste elemento no solo. Além disso, por depender do tempo de extração o Olsen também não deve ser utilizado para verificar o fósforo disponível no solo. Neste caso específico, outros estudos devem ser realizados para estabelecer qual o melhor tempo para ser usado na extração de fósforo pelo método de Olsen que se aproxime a absorção das plantas. Dessa forma, a extração de fósforo no estudo de fertilidade é mais adequada com o uso dos métodos Mehlich-3 e/ou Bray-1.

Por outro lado, na área específica da arqueologia, etnoarqueologia que utiliza as quantidades de nutrientes, entre eles o fósforo disponível a interpretação da organização de unidades domésticas e a articulação de atividades diárias como, por exemplo, locais de preparação ou de consumo de alimentos, ou ainda, a localização de áreas de refugio, o Mehlich-1 é mais adequado. A razão para isso é o fato de que o tipo de atividade antrópica dos povos antigos era baseado na adição de resíduos orgânicos, como, ossos, urina, fezes, tecidos animais e vegetais etc. Esses resíduos são ricos em fósforo, matéria orgânica e cálcio, que ao serem combinados com ferro e alumínio no solo, associam-se entre si para comporem as principais formas de fósforo na TP.

## 6 CONCLUSÕES

Nas TP foram caracterizadas a predominância de quartzo e caulinita, alta variabilidade de fósforo total, atributos químicos de praticamente todos os sítios. A distribuição de fósforo nas cinco frações obedeceu à seguinte ordem percentual relativa:  $P_o > P_{Ca} > P_{Al} > P_{Fe} > P_{FL}$ . A quantidade de fósforo extraída pelos métodos utilizados foi maior no Mehlich-1 naqueles sítios com altas quantidade de  $P_{Ca}$ ; isto é, existe uma relação direta na capacidade de extração do fósforo com a quantidade de cálcio.

A análise estatística multivariada mostrou que o  $P_{Ca}$  e  $P_o$  são as duas formas de fósforo importantes no ciclo do fósforo em TP. O melhor ajuste da equação de cinética de dessorção em  $T_{pl}$  e  $T_{pnc}$  tenha sido do Mehlich-1 e Olsen, sugerindo que o tempo de extração de fósforo é uma variável importante para a aplicação dos dois métodos.

Por fim, os métodos Mehlich-3 e/ou Bray-1 podem ser mais adequados para os estudos de fertilidade do solo uma vez que são pouco influenciados pelo  $P_o$ ,  $P_{Ca}$ ,  $P_{Al}$ , e  $P_{Fe}$ . Por outro lado, o Mehlich-1 por apresentar diferenças entre as TP, pode ser o método mais adequado para o estudo de fósforo como “assinatura química”.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRHENIUS, O. *Die Phosphatmethode II. Zeitschrift für pflanzenernährung, Düngung, und Bodenkunde Tiel A* [S.I.], v. 14, p. 185-194, 1929.

ARRHENIUS, O. "*Die Bodenanalyse im Dienst der Archäologie.*" *Zeitschrift für Pflanzenernährung Düngung Bodenkunde* v. 10, p. 185-190, 1931.

BAHIA FILHO, A .F. C.; BRAGA, J. M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A. C. *Relação entre Adsorção de Fósforo e Componentes Mineralógicos da Fração Argila de Latossolos do Planalto Central.* *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, p. 221-226, 1983.

BARBER, S. A. *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach.* New York: John Wiley, p. 414, 1995.

BARBOSA FILHO, M. P.; KINJO, T. e MURAOKA, T. *Relações entre fósforo "extraível", frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação.* *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 11, p. 147- 155, 1987.

BARCELOS, I. F. Partição do fósforo em sedimento de solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho, Campinas - SP. Campinas: UNICAMP, 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônômicas) - Instituto Agrônômico de Pós-Graduação, Universidade Federal de Campinas, 2006.

BENITES, V. M. et al. Matéria orgânica do solo. In: WADT, P. G. S. (Ed.). Manejo do solo e recomendação de adubação para o estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2005. Cap.120. p. 93.

BRADY, N. C. *Matéria Orgânica dos Solos Minerais*. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1983.

BRAY, R. H.; KURTZ, L. T. *Determination of total, organic, and available for of phosphorus in soil*. Soil Science, v. 59, p. 39-45, 1945.

CAMARGO, F. C. *Estudos de alguns perfis de solos cadastrados em diversas regiões da Hiléia*. I (Inédito). Belém. 1941.

CANNAVAN, F. Diversidade das comunidades bacterianas em solo de Terra Preta Antropogênica da Amazônia Central e Ocidental. 2007. 115p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CATANI, R. A.; GARGANTINI, H. *Extração do fósforo do solo pelo método de Neubauer e por métodos químicos*. Bragantia, Campinas, v.13, n.4, p.55-62, 1954.

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

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. *Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto*. Ciência Rural, v. 34, n. 1, p. 281-284, 2004.

COSTA, J. A. *Caracterização dos sítios arqueológicos com terra preta de Caxiuanã*. MCT/MPEG. Belém, Pará, p.15. 2003.

CUNHA, E. F. *As terras pretas do planalto de Santarém*. Revista da Sociedade dos Agrônômicos e Veterinários do Pará, v. 8, p. 17, 1962.

DENEVAN, W. *Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes*. Oxford: Oxford University Press, 2001.

EDEN, M. J.; BRAY, W.; HERRERA, L. MC EVAN, C. *Terra Preta soils and their archaeological context in the Caquetá basin of south-east Colombia*. American Antiquity, v. 49, n. 1, p. 125-140, 1984.

ÉGNER, H.; RIEHM, H.; DOMINGO, W. R. *Untersuchungen über die chemische Bodenanalysen als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden*. II. Chemische Extraktionmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler, Stockholm, v.26, p.199-215, 1960.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA (EBRAPA). *Manual de análise de solos, plantas e fertilizantes*. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 2ª ed. rev. ampl. Brasília – DF: Embrapa informação tecnológica, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA (EBRAPA). *Manual de análise do solo*. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 2ª ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro. 212 p., 1999.

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

FALESI, I. *Soils of Brazilian Amazon*. In: WAGLEY, C. (Ed.). *Man in the Amazon*. Gainesville: University Presses of Florida, p. 201, 1974.

FALESI, I. *Solos de Monte Alegre*. Belém: IPEAN, 1970.

FIXEN, P. E.; GROVE, J. H. *Testing Soils for Phosphorus*. In: WESTERMAN, T. L., ed. *Soil testing and plants analysis*. 3.ed. Madison, Soil Science Society of America, p.141-180, 1990.

FIXEN, P. E.; LUDWICK, A. E. *Residual available phosphorus in near-neutral and alkaline soils: I. Solubility and capacity relationships*. Soil Science Society of American Journal, Madison, v 46, p. 332-334, 1982.

GERMAN, L. *Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth*. Geoderma [S.I.], n. 111, p. 307-331, 2003.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. *Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region*. *Organic Geochemistry*, v. 31, p. 669-678, 2000.

GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. *The Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics*. *Naturwissenschaften*, v. 88, n. 1, p. 37-41, 2001.

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 Science Society America Journal*. Madison. v. 46, n. 5, p. 970-976, 1982.  
Hokkaido University, Sapporo, Japao. 101 P, 1984.

HOSSEINPUR, A. R.; GHANEE, A. H. *Comparison of Iron Oxide-impregnated Paper Strips with other Extractants in Determining Available Soil Phosphorus*. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 37:889-897, 2006.

IDESP. *Recursos de Solos Estudos Integrados da Ilha de Marajó*. Belém: IDESP, p. 236-292, 1974.

KÄMPF, N. et al. *Classification of Amazonian dark earths and other ancient anthropic soils*. In Lehmann, J., KERN, D. C., Glaser, B., Woods, W. I. (eds) Amazonian dark earths. Origin, properties, management. Kluwer:Dordrecht. p. 77-102, 2003.

KAMPF, N.; KERN, D. C. *O solo como registro da ocupação humana pré – histórica na Amazônia*. In: VIDAL – TORRADO, P; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Org.). *Tópico em ciência do solo*. Viçosa, v. 6, p. 277 – 320, 2005.

KAMPRATH, E. J.; WATSON, M. E. *Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils*. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLES, E. C. e KAMPRATH, E. J. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy. p.433-469, 1980.

KERN, D. C. *Caracterização pedológica de solos com terra arqueológica na região de Oriximiná - PA*. 1988. 231f. Msc. Thesis - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Soils Department, Porto Alegre, 1988.

KERN, D. C. et al. *Geoquímica de sítio arqueológico com Terra Preta no centro da cidade de Quatipuru - PA*. In: VI Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus. SBG, 1999. p.408.

KERN, D. C. et al. *Pedogeoquímica de solos arqueológicos da região de Caxiuanã, no Estado do Pará*. In: XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife. SBCS, 2005.

KERN, D. C. *Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na floresta nacional de Caxiuanã (Portel-Pa)*. 1996. 124p . Tese de Doutorado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará Belém.

KERN, D. C.; COSTA, M. L. *Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo Amarelo derivados de lateritos*. Geociências, v. 16, n. 1, p. 141-156, 1997.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. *O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA*. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 13, p. 219-25, 1989.

KERN, D. C.; RODRIGUES; SOMBROEK, W. *Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon*. In: J. Lehmann, D.C.; Kern, B. Glaser. Amazonian Dark Earths: origin, properties, Management. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p. 51-75, 2003.

LABHSETWAR, V. K.; SOLTANPOUR, P. N. *A comparison of  $NH_4HCO_3$ -DTPA,  $NaHCO_3$ ,  $CaCl_2$ , and  $Na_2$ -EDTA soil tests for phosphorus*. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 49, p. 1437-1440, 1985.

LEHMANN, J. et al. Sequential Pfractionation of relict anthropogenic. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. (Ed.). Amazonian Dark Earths; exploration in space and time. Berlin: Sringer-Verlag, p. 113- 123, 2004.

LIMA, H. N. *Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental*. 2001. 176 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2001.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKS, R. J.; KER, J. C. *Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian Black Earth") of Western Amazonia*. *Geoderma*, Amsterdam, v. 110, p. 1 – 17, 2002.

McKEAN, J. & WARREN, G.P. *Determination of phosphate desorption characteristics in soils using successive resin extractions*. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 27:2397-2417, 1996.

MEHLICH, A. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub> by North Carolina Soil Testing Laboratoris*. Raleigh: University of North Carolina, 1953.

MEHLICH, A. *Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant*. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, v. 15, p. 1409-1416, 1984.

MEHLICH, A. *New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.9, n.6, p.477-492, 1978.

MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. *Phosphate Sorption as Related to Mineralogy of a Hydrosequence of Soils From the Cerrado Region (Brazil)*. *Geoderma*, v. 58, p.107-123, 1993.

MOREIRA, A. et al. Extratores e disponibilidade de micronutrientes em solos antrópicos da Amazônia. *Ciencia del Suelo* [S.I.], Argentina, v. 37, n. 1, p. 127-134, 2009a.

MOREIRA, A. et al. Métodos de Caracterização Química de Amostras de Horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio. In: *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso desde conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Embrapa Ocidental, 2009b. 420p. CD-RON.

MOREIRA, A. *Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental*. In: BRAGANTIA, p. 307-315, 2007.

MORGAN, M. F. *The universal soil testing system*. Communications in Agricultural Experimental Station Bulletin, p. 392, 1937.

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

NEVES Jr. A. F. *Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central*. 2008. 93p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

NEVES, E. G. et al. Historical and socio-cultural origins of Amazonian dark earths. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). *Amazonian dark earths: Origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 29-50.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fósforo em Solo e Planta em Condições Tropicais*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. p. 399, 1999.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. C; CORREA, J. R. V.; RODRIGUES, T. E. *Caracterização dos solos da Folha Itapacurá-Mirim, município de Trairão, Estado do Pará*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATENABE, F. S.; DEAN, L. A. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. Washington: USDA. p. 22, 1954.

OLSEN, S. R.; KHASAWNEH, F. E. *Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils*. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLES, E. C.; KAMPRATH, E. J. (Coords.). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: American Society of Agronomy. p. 361-410, 1980.

OTTO, M. *Chemometrics. Statistic and Computer Application in Analytical Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, 1999.

RAIJ, B.V. *Fertilidade do Solo e Adubação*. Piracicaba, Ceres/Potafos. p. 343, 1991.

REBELLATO, L. *Interpretando a Variabilidade Cerâmica e as Assinaturas Químicas e Físicas do Solo no Sítio Arqueológico Hatahara – AM*. 2007.197p. Dissertação (Mestrado em Arqueologia). Programa de Pós-graduação em Arqueologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ROCHA, A. T. DA; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. *Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores do P-disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.178-184, 2005.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. *Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 51, 2003.

ROOSEVELT, A. C. *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, Cap.159. p. 103, 1991.

SANCHES, P. A.; LOGAN, T. J. *Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics*. In: LAL, R. ; SANCHES, P. A. (Eds.) Myths and science of soils of the tropics. SSSA, Madison, p. 35-46, 1992.

SANCHEZ, P. A.; COCHRANE, T.T. *Soils constraints in relation to major farming systems of tropical America*. International Rice Research Institute, Los Banos. p.106-139, 1980.

SCHIFFER, M.B. "Formation processes of the archaeological record". Albuquerque: University of New Mexico Press, 1987.

SCHOFIELD, R. K. *Can a precise meaning be given to "available" soil phosphorus*. Soils and Fertilizers, Wallingford, v.18, p.373-375, 1955.

SERGIO, C. S.; SANTANA, G. P.; COSTA, G. M. DA; HORBE, A. M. C. *Identification and characterization of maghemite in ceramic artifacts and archaeological black earth of Amazon region*. Soil Science, v. 171, n. 1, p. 59-64, 2006.

SHAHANDEH, H.; HOSSNER, L. R.; TURNER, F. T. *Phosphorus relationships in flooded rice soils with low extractable phosphorus*. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 58, p. 1184- 1189, 1994.

SHARPLEY, A. N.; TIESSEN, H.; COLE, C. V. *Soil phosphorus forms extracted by soil tests as a function of pedogenesis*. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 51, p. 362-365, 1987.

SILVA, F. C. da; RAIJ, B. V. *Disponibilidade de Fósforo em Solos Avaliada por Diferentes Extratores*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, p. 267-288, 1999.

SILVEIRA, M. M. L. *Fracionamento seqüencial de fósforo em solos do semi-árido-nordestino*. 2000. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2000.

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

SOARES, R. *Agregação e distribuição da matéria orgânica em solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central*. 2007. 111p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Centro de Estudos Gerais, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

SOMBROEK, W. Amazon soils: *A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region*. Wageningen, Center for Agricultural Publications and Documentation. p. 292, 1966.

SOUZA, K. W. et al. *Phosphorous forms in cultivated Indian Black Earth (anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p.1347-1355, 2009.

SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A. *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*. In: KUO, S. *Phosphorus*, Wisconsin: Madison, 1996, p. 869-919, cap. XXXII.

STEFFENS, D. *Phosphorus release kinetics and extractable phosphorus after long-term fertilization*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 58, p. 1702-1708, 1994.

STEWART, J. W. B.; SHARPLEY, A. N. *Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur*. In: FOLLETT, R. F.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V.; POWER, J. F. (Eds.) *Soil Fertility and organic matter as critical components of production systems*. SSSA.

TANAKA, A., T.; SAKUMA, N.; OKAGAWA, H.; IMAI, S.; OGATA. *Agro-ecological condition of the oxisol-ultisol area of the amazon river system*. Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japao. 101 P, 1984.

TRUOG, E. *The determination of the readily available phosphorus of soils*. *Journal of the American Society of Agronomy*, Madison, v.22, n.10, p.874-882, Oct. 1930.

UNITED STATES. *Department of Agriculture*. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Washington, Soil Conservation Service, 1967. 50 p. (Soil Survey Investigation Report, 1)

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. In: *The Yearbook of the Conference of Latin American Geographers*, Austin. University of Texas, p.7-14, 1999.