

# Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia

Any Kelly Terra da SILVA<sup>1a\*</sup>, José Tasso Felix GUIMARÃES<sup>2</sup>, Vanda Porpino LEMOS<sup>1b</sup>, Marcondes Lima da COSTA<sup>1c</sup>, Dirse Clara KERN<sup>3</sup>

## RESUMO

A comparação de dados morfológicos, mineralógicos e químicos de solo com horizontes antrópicos - Terra Preta Arqueológica (TPA) com Argissolos adjacentes permitiu identificar os principais processos responsáveis pela formação da TPA em um sítio arqueológico no Município de Bom Jesus do Tocantins, sudeste do Estado do Pará. A similaridade entre os dados dos horizontes subsuperficiais do solo com TPA e solos adjacentes indica que o horizonte antrópico do solo TPA foi provavelmente desenvolvido a partir de um horizonte similar aos Argissolos adjacentes com posterior transformação pedogenética através da introdução de materiais orgânicos e inorgânicos por antigas colonizações humanas, resultando no espessamento do horizonte superficial e em concentrações maiores de CaO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (teores totais), Zn (teor traço), P e Zn disponível (teores disponíveis), além de Ca e Mg trocáveis (teores trocáveis) em relação aos Argissolos adjacentes. Além disso, essa intervenção antrópica antiga também provocou modificações no horizonte subsuperficial do Argissolo com TPA, como concentrações altas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e principalmente P disponível. O *Soil Taxonomy* e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) são adequados para a identificação de solo com horizonte antrópico (p.ex. TPA), uma vez que priorizam nas ordens do solo os principais processos pedogenéticos atuantes na formação do solo, relacionados aos horizontes subsuperficiais, além das transformações pedogenéticas posteriores no horizonte superficial. Contudo, este trabalho recomenda o acréscimo de alguns atributos diagnósticos como quantidade de artefatos cerâmicos e líticos, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P e Zn disponíveis, C orgânico, Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup> (teores trocáveis), CTC e índice de saturação por bases no horizonte superficial para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos antigos da Amazônia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mineralogia, Pré-história, Região Amazônica, Pedologia.

## Mineralogy and geochemistry of soil profiles with Archeological Black Earth from Bom Jesus do Tocantins, southeastern Amazon

### ABSTRACT

The comparison of morphological, mineralogical and chemical data of a soil with anthropic horizons - Archeological Black Earth (ABE) and surrounding *Argissolos* (Typic Kandiodox or Ultisols) allowed the identification of the main process acting on the ABE formation from the town of Bom Jesus do Tocantins, southeastern Pará State. The similarity between the data in the subsurface horizons of ABE and surrounding soils indicates that the former was likely developed from *Argissolos* with later pedogenetic transformation by the input of organic and inorganic materials from ancient human settlements, which resulted in thickness of the surface horizon and higher concentrations of CaO and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (total content), Zn (trace content), available P and Zn (available content), and exchangeable Ca and Mg (exchangeable content) compared to surrounding *Argissolos*. Furthermore, such anthropic disturbance also resulted in changes in the subsurface horizon of *Argissolos* with ABE, such as high concentrations of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and available P. The Soil Taxonomy and Brazilian System of Soil Classification (BSSC) are suitable to identify soils with ABE, as they prioritize at the highest categorical level the main pedogenetic process acting on soil development and formation, related to the subsurface horizons, and later pedogenetic transformations in the surface horizon. However, this study proposes the addition of diagnostic properties such as ceramic and lithic artifacts, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and available P and Zn, organic C, Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup> (exchangeable content), CEC and base saturation in the surface horizon to classify and discriminate several kinds of anthropic soils in the Amazon region.

**KEYWORDS:** Mineralogy, Pre-history, Amazon region, Pedology.

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências – Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Corrêa 01, Guamá, CEP: 66075-900, Belém (PA), Brasil. E-mail: <sup>1a</sup> anyterra@ufpa.br. \*Este trabalho foi extraído da dissertação de mestrado da autora. <sup>1b</sup> vplemos@ufpa.br; <sup>1c</sup> mlc@ufpa.br

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável - ITVDS. Trav. Dr. Moraes 78, 3º andar, Nazaré, Belém (PA), Brasil. E-mail: tassoguimaraes@gmail.com

<sup>3</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG. Av. Perimetral 1901, Terra Firme, CEP: 66077-530, Belém (PA), Brasil. E-mail: kern@museu-goeldi.br

## INTRODUÇÃO

Alguns atributos como textura, cor, estrutura, composição química e mineralógica, capacidade de troca catiônica (CTC) e índice de saturação por bases (V), são largamente utilizados para a distinção e subdivisão das classes de solos. Por exemplo, solos muito profundos, constituídos por material mineral com horizonte subsuperficial B latossólico e pobres em nutrientes são atributos dos Latossolos, enquanto que horizonte subsuperficial B textural com atividade da fração argila baixa ( $\leq 27 \text{ cmol kg}^{-1}$ ) ou alta ( $\geq 27 \text{ cmol kg}^{-1}$ ) combinada com  $V \geq 50\%$  ou caráter alítico é típico dos Argissolos. O horizonte B textural encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plantissolos ou Gleissolos (Embrapa 2006). Estas classes de solo abrangem grande parte da região Amazônica (Lima 2001). Entretanto, algumas áreas apresentam solos com grandes alterações nas características primárias do solo em razão da colonização humana antiga (Pabst 1991). Os horizontes superficiais dos solos destas áreas apresentam coloração escura, restos de material arqueológico (artefatos cerâmicos e líticos) e alta concentração de Ca, Mg, Zn, Mn, P e C orgânico. Smith (1980), Eden *et al.* (1984) e Kern e Kämpf (1989) definiram estes solos como Terra Preta Arqueológica (TPA) ou Terra Preta de Índio (TPI). A TPA pode ser encontrada em planícies de inundação (várzea e igapó) e terra firme em áreas que variam de um até centenas de hectares (Kern e Kämpf 2005).

Aspectos texturais e características químicas e mineralógicas de solos dos sítios arqueológicos de Caxiuanã indicam que a TPA foi formada sobre Latossolos Amarelos pré-existentes, nos quais derivaram da alteração de antigos perfis lateríticos. Antes da ocupação humana os solos desses perfis deveriam constituir uma única unidade de solo, mas as atividades desenvolvidas pelos antigos habitantes da região durante longo período de tempo provocaram mudanças nos horizontes superiores desta unidade de solo (Gurjão *et al.* 2010).

A fertilidade da TPA é geralmente superior às outras classes de solos da Amazônia (p. ex. Kern e Kämpf 1989; Lima *et al.* 2002). Além disso, diversos estudos têm mostrado que as taxas de mineralização do carbono e as perdas de nutrientes por lixiviação são baixas (p. ex. Lehmann *et al.* 2003), o que contribui para a preservação natural da TPA. Assim, estes solos são freqüentemente utilizados pelas populações locais para o cultivo de hortaliças, cereais, frutas, mandioca e legumes (Kim *et al.* 2007).

Os sítios arqueológicos com TPA podem corresponder a horizontes superficiais de várias classes de solos como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos e Espodossolos (Kern *et al.* 2003). Entretanto, Kämpf *et al.* (2003) consideram as classificações pedológicas tradicionais impróprias para o

agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos uma vez que estas enfatizam os horizontes subsuperficiais que são menos sensíveis a modificações por atividades humanas. A influência da atividade humana (antiga e atual) é definida pelo do horizonte superficial no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa 2006) e *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff 2010). Por exemplo, o solo com TPA pode ser classificado como Latossolo Amarelo distrófico antrópico no SiBCS, onde a influência antrópica é reconhecida a partir dos subgrupos (quarto nível categórico). A *Food and Agriculture Organization-World Reference Base For Soil Resources* (FAO-WRB) agrupa o solo com TPA em Hortic Anthrosols (FAO 2007). Esta classe apresenta solos formados ou profundamente modificados por atividades humanas, como cultivo ou adição de materiais orgânicos (resíduos domésticos). Os solos com TPA da Amazônia podem abranger tipos diferentes de Hortic Anthrosols (Sombroek *et al.* 2002), mas segundo Kämpf *et al.* (2003) grande parte é excluída dos Anthrosols em virtude da espessura  $\geq 50 \text{ cm}$  requerida para o horizonte superficial. Na tentativa de classificar o solo com TPA, Sombroek *et al.* (2002) listaram alguns critérios como espessura da camada escura, textura, concentração de C orgânico, CTC, V, P disponível (extrator de Mehlich-1), Mn e Zn disponível.

As características químicas do solo, efetivamente empregadas na classificação do solo com TPA, têm sido intensamente estudadas na região de confluência entre os rios Amazonas, Negro e Solimões (p.ex. Kern e Costa 1997; Major *et al.*, 2005), mas informações sobre solos com TPA na região dos rios Araguaia e Tocantins ainda são poucas. No Município de Bom Jesus do Tocantins ocorrem Argissolos com a presença de horizontes antrópicos. Portanto, o objetivo deste trabalho é caracterizar o comportamento geoquímico dos solos com TPA e Argissolos adjacentes e os principais processos responsáveis pela formação da TPA por meio de características morfológicas, composição mineralógica e química dos perfis de solo de um sítio arqueológico no Município de Bom Jesus do Tocantins, sudeste do Estado do Pará. Além disso, este estudo interdisciplinar pode contribuir para o aperfeiçoamento dos sistemas de classificação de solos com horizontes superficiais antropicamente modificados.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Bom Jesus do Tocantins. Esta região apresenta relevo caracterizado por áreas acidentadas, dissecadas, tabuliformes, colinosas com rebordos erosivos, superfícies aplainadas, serras de pequena extensão e várzeas, que estão inseridas nas unidades morfoestruturais da Depressão Periférica do Sul do Pará e do Planalto Setentrional Pará-Maranhão (Sepof 2008). A drenagem da região faz parte da bacia hidrográfica Araguaia-

Tocantins que abrange a bacia do Rio Tocantins, Araguaia e Itacaiunas. A rede de drenagem deste município apresenta uma densidade baixa a moderada, padrão do tipo dentrítico e principais tributários com sentido NE-SW. Os tributários mais importantes são os Rios Flexeira, Mãe Maria, Jacundá, Jacundazinho, Boa Sorte, Cajueiro e Grapiá. Os tipos de solos do município de Bom Jesus do Tocantins podem ser classificados como Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos e Gleissolos Háptico (Sepof 2008). As unidades de vegetação são a Floresta Ombrófila Densa Submontana, principalmente representada pela *Manilkara huberi* Ducke (Sapotaceae), *Bertholletia excelsa* H.B.K (Lecythidaceae) e *Hymenobolium petraeum* Ducke (Fabaceae), Floresta Ombrófila densa aluvial que ocorre em planícies de inundação e possui espécies como *Carapa guianensis* Aublet. (Meliaceae), *Protium tenuifolium* Engl. (Burseraceae) e *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae), e coberturas antrópicas (Figura 1a). O clima é equatorial superúmido, tipo Am-Aw na classificação de Köppen, com temperaturas e umidade relativa médias anuais de 26 °C e 78% respectivamente. O período chuvoso ocorre entre os meses de novembro e maio, e o período seco nos meses de junho a

novembro, com índice pluviométrico médio anual em torno de 2,000 mm (Fisch *et al.* 1998).

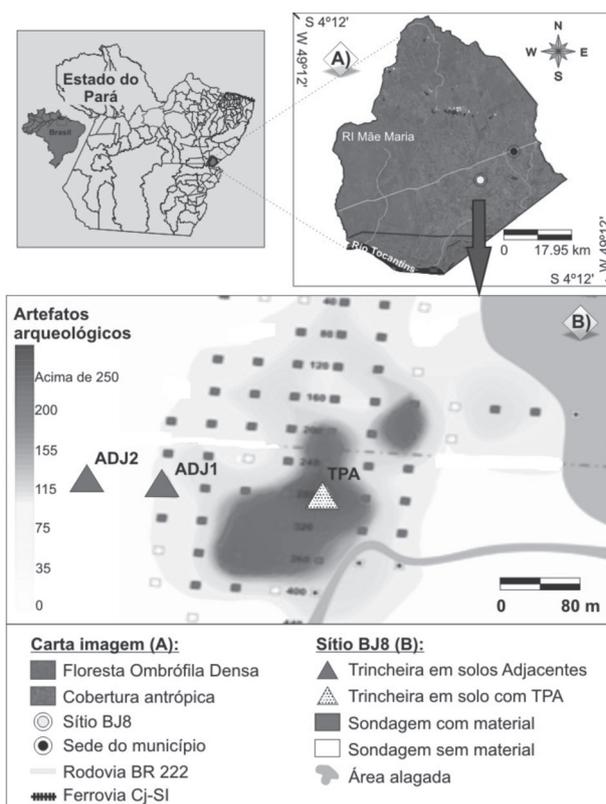
### Amostragem e procedimentos laboratoriais

As amostras de solo analisadas neste estudo foram obtidas em um sítio arqueológico (BJ8; 05° 06' 42" S, 48° 40' 27" W) que compreende um perfil de Argissolo com horizonte A antrópico (TPA), e dois perfis adjacentes de Argissolos a 160 m (ADJ1) e 280 m (ADJ2) de distância, respectivamente. No trabalho de delimitação, a área de ocorrência foi vistoriada e limpa, e posteriormente selecionada a área de maior abundância de artefatos, na qual foram abertas trincheiras em malha ortogonal com espaçamento regular de 40 m (Figura 1b). As trincheiras foram abertas até atingir o horizonte B (~ 1,5 m), e 19 amostras de solo foram coletadas dos horizontes descritos (A, AB, BA e B). Em cada perfil de solo foram descritos a textura, estrutura, cor, profundidade, consistência e presença de raízes segundo a metodologia de Lemos e Santos (2002). Amostras com material arqueológico foram peneiradas, e os fragmentos ( $\leq 20$  cm) analisados com uma lupa portátil conforme recomendações de Kämpf *et al.* (2003).

As amostras de solos de cada horizonte foram secas ao ar e posteriormente destorroadas e homogeneizadas. Em seguida, foi separada uma alíquota de 50g para análise granulométrica (Soil Survey Staff 1993). Uma adaptação do método da pipeta de Kilmer e Alexander (1949) foi aplicada para análise do tamanho das partículas conforme as recomendações do USDA (Soil Survey Staff 1993). Para as análises mineralógicas e químicas, as amostras foram desagregadas, trituradas e pulverizadas ( $< 0,0625$  mm) e para análise de fertilidade foram desagregadas e passadas em peneira com malha  $< 2$  mm obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA).

As análises mineralógicas foram realizadas por difração de raios-X (DRX) através do PANalytical *diffractometer model PW 3040*, com anodo de cobre ( $k\alpha 1 = 0,154$  nm), ajustado a 40 kV e 30 mA. As amostras foram analisadas pelo método do pó e em lâminas orientadas pelo *pipette-on-glass* (Thorez 1976) para os argilominerais. Três tipos de lâminas foram preparadas: normal, saturada com etilenoglicol e sob aquecimento a 550 °C por 2 horas. Os registros foram obtidos no intervalo de 5 a 75 ° 2 $\theta$  para as amostras totais pulverizadas e no intervalo 3 a 36 ° 2 $\theta$  para os argilominerais. Os resultados foram interpretados com auxílio do *software X'Pert HighScore 2.1* com banco de dados do ICDD (International Center for Diffraction Data) e apresentados como símbolos segundo Kretz (1983).

As análises químicas foram realizadas nas amostras de solo com  $\emptyset < 2$  mm por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Aclopado Indutivamente (ICP-OES) na sequência de uma fusão metaborato/tetraborato de lítio e digestão em ácido nítrico diluído no laboratório da SGS



**Figura 1-** A) Composição: Landsat/TM-5R4G3B com a delimitação das áreas vegetadas e alteradas e B) sítio arqueológico BJ8 com pontos de amostragem no Município de Bom Jesus do Tocantins-PA.

GEOSOL, Complexometria, Colorimetria e Espectrometria de Absorção Atômica (EAA) no Laboratório de Análises Químicas e Absorção Atômica no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (Tabela 1). P, K e Na trocáveis foram obtidos através do extrator de Mehlich-1 e colorimetria, Ca e Mg trocáveis pelo extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e EAA. A carga líquida do solo ( $\Delta pH$ ) foi estimada pela Potenciometria através da diferença entre  $pH_{H_2O}$  e  $pH_{KCl}$ . A partir do K, Na, Ca e Mg trocáveis e acidez potencial (Al + H) foram obtidos a soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e índice de saturação por bases (V). O C orgânico foi analisado através do Walkley-Black (Walkley e Black 1934). Cálculos estequiométricos foram realizados para semi-quantificar a distribuição dos minerais identificados por DRX.

Os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Embrapa 2006), *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff 2010), FAO-WRB (FAO 2007) e *Archaeo-pedological Classification* - APC (Kämpf *et al.* 2003).

As concentrações dos elementos maiores e traços foram normalizados com a Crosta Continental Superior – UCC (Wedepohl 1995) e folhelhos australianos Pós-Arqueanos – PAAS (Taylor e MacLennan 1985). Adicionalmente, as concentrações dos solos TPA foram normalizadas com os solos adjacentes. A análise estatística do grau de similaridade dos dados, para avaliação das associações geoquímicas associadas à Argissolos com e sem horizonte antrópico, foi realizada por meio do método da ligação simples (*Single Linkage*) e correlação  $\rho$  de Pearson (coeficiente produto-momento).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características morfológicas

A análise granulométrica do solo TPA indicou a predominância da fração areia sobre as frações mais finas (silte e argila), e uma diminuição relativa destas do horizonte subsuperficial para o superficial (Tabela 2). O horizonte subsuperficial (73-150 cm) é composto por areia (648-760 g kg<sup>-1</sup>), silte (135-193 g kg<sup>-1</sup>) e argila (105-167 g kg<sup>-1</sup>), textura franco-arenosa, bruno-forte (7.5YR 5/6) a bruno (7.5YR 4/4), blocos subangulares a granular, friável a firme, enquanto o horizonte superficial (73-0 cm) é constituído por areia (765-885 g kg<sup>-1</sup>), silte (96-138 g kg<sup>-1</sup>) e argila (18-97 g kg<sup>-1</sup>), textura classificada como areia a franco-arenosa, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2) a preto (10YR 2/1), blocos subangulares a granular, friável (Tabela 2). No sítio como um todo, foram catalogados 1920 fragmentos cerâmicos e líticos, raízes, marcas de raízes, folhas e outros materiais vegetais.

Os solos adjacentes são representados basicamente pela fração areia, mas os teores de silte e argila são maiores que o perfil do solo TPA (Tabela 2). A quantidade da fração fina

também diminui do horizonte subsuperficial para o superficial. O horizonte subsuperficial (25-150 cm), mais espesso que o horizonte correspondente no solo TPA, contém areia (501-638 g kg<sup>-1</sup>), silte (222-344 g kg<sup>-1</sup>) e argila (80-223 g kg<sup>-1</sup>), textura franco argilo-arenosa a franco-arenosa, bruno-forte (7.5YR 4/6) a marrom escuro (7.5YR 3/4), blocos subangulares a granular, friável a firme. A espessura do horizonte superficial (0-25 cm) é menor que o horizonte correspondente no solo TPA, e contém areia (557-709 g kg<sup>-1</sup>), silte (239-380 g kg<sup>-1</sup>) e argila (52-67 g kg<sup>-1</sup>), textura franco-arenosa, bruno-escuro (7.5YR 3/3) a bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2), blocos subangulares a granular, friável, muitas raízes finas a médias e folhas (Tabela 2). A análise granulométrica das amostras de solo pode indicar um processo de argiluviação que ocorre nos perfis estudados.

### Características mineralógicas

Os minerais identificados no perfil de solo com TPA foram o quartzo, caulinita, goethita, hematita, anatásio e illita, equivalente à mineralogia encontrada em outros solos com TPA na região de Caxiuanã (Lemos *et al.* 2009). A albita não faz parte da composição dos solos, porém foi encontrada no horizonte A, oriunda dos artefatos cerâmicos que são abundantes neste horizonte (Figura 1b). Os difratogramas obtidos na fração argila pelo método *pipette-on-glass* reforçam a presença de illita e caulinita no solo e os picos mais desenvolvidos de caulinita ocorrem no horizonte B (Figura 2). Quartzo, caulinita e anatásio são provavelmente derivados do intemperismo de rochas do Grupo Itapecuru (Nascimento e Góes 2007), sobreposto pelos solos analisados neste trabalho. Hematita e goethita podem ser originárias da oxidação de argilominerais durante os processos pedogenéticos. Os dados semi-quantitativos obtidos por cálculos estequiométricos revelam que os maiores valores de quartzo estão no horizonte A, enquanto que a caulinita está concentrada no horizonte B.

**Tabela 1** - Procedimentos de análises químicas e de fertilidade empregados nas amostras de solo.

Parâmetros	Métodos Analíticos
Perda ao Fogo, SiO <sub>2</sub>	Gravimetria e ICP-OES
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Colorimetria e ICP-OES
CaO, Na <sub>2</sub> O, MgO, K <sub>2</sub> O	Digestão Total HClO <sub>4</sub> + HF, EAA e ICP-OES
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Complexometria com EDTA e ICP-OES
Carbono Orgânico (CO)	Walkley-Black
Ba, Sr, Sc, Y, Zr, V, Be, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Pb	Digestão Total HF + HClO <sub>4</sub> , EAA e ICP-OES
P, Zn, Fe, Mn, Cu	Extrator de Mehlich-1 e EAA
P disponível	Extrator de Mehlich-1 e colorimetria
Ca <sup>2+</sup> e Mg <sup>2+</sup> trocáveis	Extrator KCl 1N e EAA
K <sup>+</sup> e Na <sup>+</sup> trocáveis	Extrator de Mehlich-1 e EAA
pH-KCl 1 N, pH-H <sub>2</sub> O	1:2,5 - Potenciômetro

**Tabela 2-** Descrição morfológica dos solos do sítio BJ8.

Horiz.	Prof. (cm)	Cor	Estrutura (1)	Consistência (2)	Transição (3) Areia	Granulometria g kg <sup>-1</sup>		Textura (4)	
						Silte	Argila		
Solo com TPA									
A1	0-3	10YR 2/1	fc, gr	mf	gl, pn	885	96	18,4	A
A2	3-33	10YR 2/1	fc, gr	mf, npl, npj	gl, pn	859	116	25,2	AF
A3	33-42	10YR 3/2	fc, gr	mf, npl, npj	gl, pn	824	126	50,0	AF
AB	42-73	10YR 3/2	mod, pq/gd, bsa/ gr/g	f, lpl, lpj	gl, pn	765	138	97,0	FA
BA	73- 88	7.5YR 4/4	mod, pq/gd, bsa/ gr/g	f, pl, lpj	gl, pn	760	135	105	FA
B1	88-110	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/ gr/g	f, pl, pj	df, pn	715	161	124	FA
B2	110-150	7.5YR 5/6	ft, pq/gd, bsa/gr	fm, pl, mpj	-	640	193	167	FA
ADJ1									
A1	0-11	10YR 3/2	gr	mf, lpl, pj	cl, pn	709	239	52	FA
AB	11-25	10YR 3/4	fc, pq/med, bsa/gr	mf, lpl, pj	cl, pn	645	288	67	FA
BA	25-40	10YR 3/4	fc, pq/med, bsa/gr	f, pl, pj	gl, pn	576	344	80	FA
B1	40-74	7.5YR 4/4	pq/gd, bsa/gr	f, lpl, pj	gl, pn	638	222	140	FA
B2	74-95	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/gr	fm, npl, npj	gl, pn	561	259	180	FA
B3	95-150	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/gr	fm, npl, npj	gl, pn	560	250	190	FA
ADJ2									
A1	0-10	7.5YR 3/2	mfc, gr	mf, mpl, lpj	cl, pn	647	287	67	FA
AB	10-22	7.5YR 3/3	fc, pq/gd, bsa/gr	f, pl, lpj	cl, pn	557	380	64	FA
BA	22-32	7.5YR 3/4	fc, pq/med, bsa/gr	f, lpl, lpj	gl, pn	535	338	127	FA
B1	32-52	5YR 4/4	fc, pq/med, bsa/gr	f, pl, pj	gl, pn	524	335	141	F
B2	52- 64	5YR 4/6	fc, pq/gd, bsa/gr	f, lpl, pj	gl, pn	501	289	211	F
B3	64-100	7.5YR 4/6	mod, pq/gd, bsa/gr	fm, lpl, lpj	gl, pn	505	272	223	FAA

O quartzo corresponde a 74%, caulinita a 17%, illita a 1,2%, hematita + goethita, anatásio e albita mostram concentrações inferiores a 1% (Tabela 3).

Os perfis de solos adjacentes 1 e 2 são constituídos também por quartzo, caulinita, goethita, hematita, anatásio e illita. No entanto, illita foi reconhecida somente nas lâminas orientadas. O horizonte subsuperficial também mostra os picos mais desenvolvidos de caulinita (Figura 3 e 4). Os dados semi-quantitativos revelam valores altos de quartzo e caulinita nos horizontes A e B, respectivamente. O quartzo apresenta 73%,

caulinita 19%, hematita + goethita e illita em torno de 1,7% enquanto que o anatásio apresenta concentração média menor que 1% (Tabela 3).

### Elementos maiores, menores e traços

#### Solo com TPA

Os solos são compostos principalmente por SiO<sub>2</sub> (820-878 g kg<sup>-1</sup>), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (42-119 g kg<sup>-1</sup>), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,2-12 g kg<sup>-1</sup>), TiO<sub>2</sub> (5,5-8,8 g kg<sup>-1</sup>), CaO (0,7-5,1 g kg<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (1,3-1,8 g kg<sup>-1</sup>). Além disso, MgO (0,5-0,8 g kg<sup>-1</sup>), Na<sub>2</sub>O (0,2-0,9 g kg<sup>-1</sup>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,2-0,6 g kg<sup>-1</sup>) e MnO (0,1 g kg<sup>-1</sup>) ocorrem em concentrações

mais baixas (teores totais). O C orgânico apresenta teores de 72 g kg<sup>-1</sup> no horizonte superficial, e uma diminuição para 69 g kg<sup>-1</sup> e 11 g kg<sup>-1</sup> no horizonte subsuperficial. Os elementos traços (teores traço) apresentam três perfis de concentração distintos: Cu, Ba, Sr e Zn aumentam do horizonte subsuperficial para o superficial, V, Ni, Cr e Zr diminuem do subsuperficial para o superficial e Be, Sc, Y, Co e Pb são relativamente similares ao longo do perfil de solo (Tabela 4).

As concentrações de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminuem do horizonte B até o horizonte A e são inversamente proporcionais ao C orgânico (Figura 5a), reflexo de uma influência relativamente menor de argilominerais (caulinita) desestabilizados pelo conteúdo elevado de matéria orgânica no horizonte superficial (e.g. Costa e Kern 1999). Em geral, as concentrações de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são inversamente proporcionais, uma vez que é produto do antagonismo entre quartzo e argilominerais. Os picos menos desenvolvidos da caulinita no horizonte A e o coeficiente de correlação entre SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,59) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CO (-0,81) sustentam estas interpretações. As concentrações de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e o coeficiente entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O (0,65) podem indicar uma contribuição da presença de illita que se distingue dos outros minerais de argila do grupo da mica pela concentração mais elevada em potássio.

As concentrações de TiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminuem do horizonte B para o horizonte A (Figura 5a) e podem estar relacionadas

com anatásio e hematita/goethita, respectivamente. Além disso, correlações são esperadas entre os metais de transição como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ni (0,95), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e V (0,95), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Cr (0,82) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Zr (0,62), que devem ocorrer associados aos oxidrilos de ferro. O coeficiente de correlação entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Na<sub>2</sub>O (0,92) sugere uma contribuição parcial da albita, uma vez que concentrações de Na<sub>2</sub>O também são menores no horizonte A (Figura 5b). As concentrações altas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e a correlação negativa entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (-0,37) podem indicar uma correspondência forte com resíduos orgânicos. Adicionalmente, as concentrações altas de CaO no horizonte A (Figura 5b) e os coeficientes entre CaO e Sr (0,84) e CaO e Ba (0,80) podem também estar relacionados aos artefatos cerâmicos, resíduos vegetais e animais (Costa *et al.* 2004a e b).

O empobrecimento de K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni, V, Cr e Zr no horizonte A é típico de perfis de solos Amazônicos (Lima 2001). Entretanto, as concentrações relativamente altas de CaO, MgO, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zn, Cu, Ba e Sr sugerem modificação do horizonte A através da formação da TPA.

### Solos adjacentes

As amostras de solo apresentam principalmente SiO<sub>2</sub> (796-866 g kg<sup>-1</sup>), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (62-96 g kg<sup>-1</sup>), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11-29 g kg<sup>-1</sup>), TiO<sub>2</sub> (3,6-5,1 g kg<sup>-1</sup>) e K<sub>2</sub>O (1,7-2,5 g kg<sup>-1</sup>) e MnO (1,1-2,9

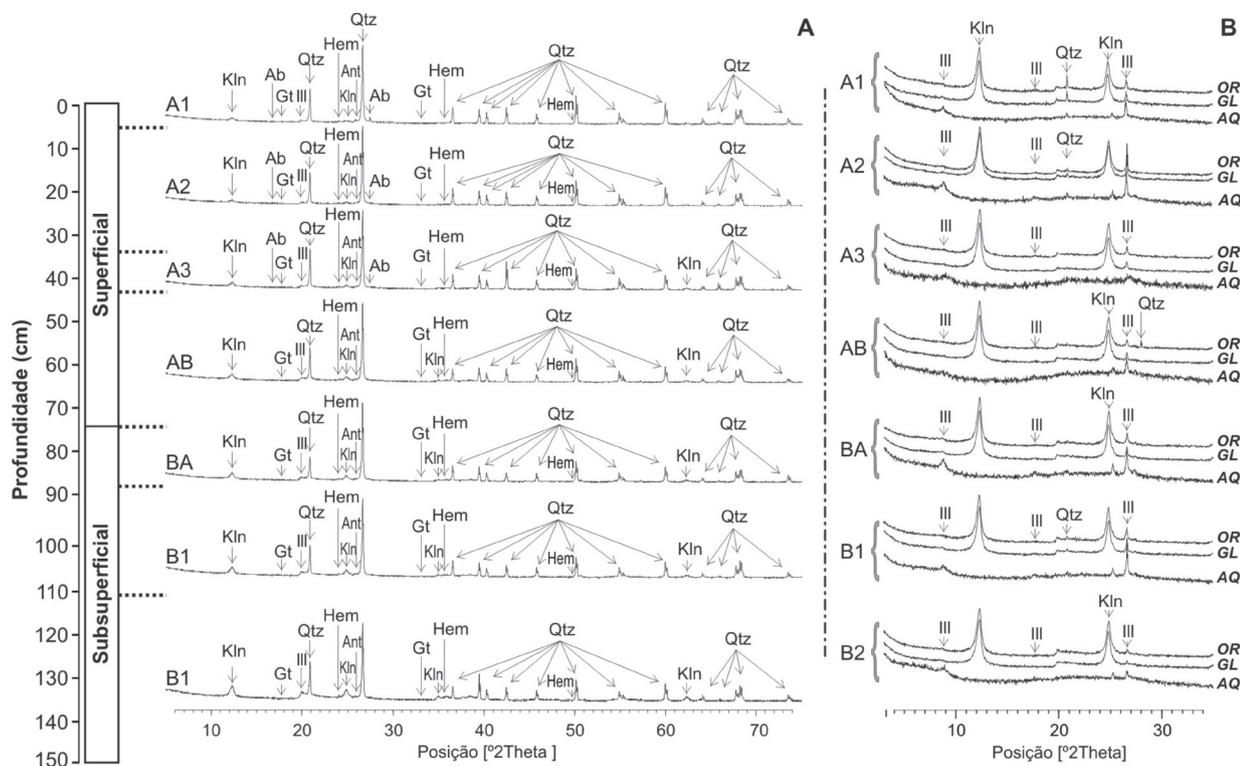
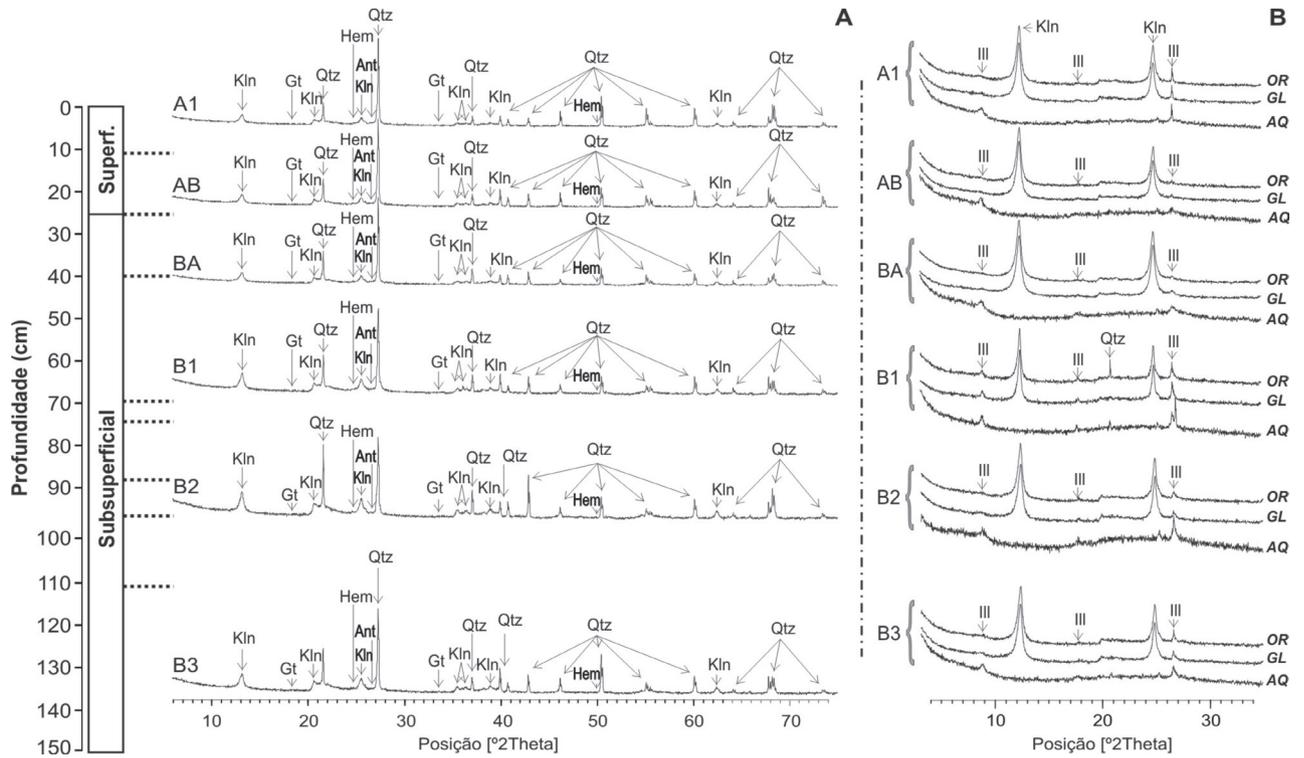
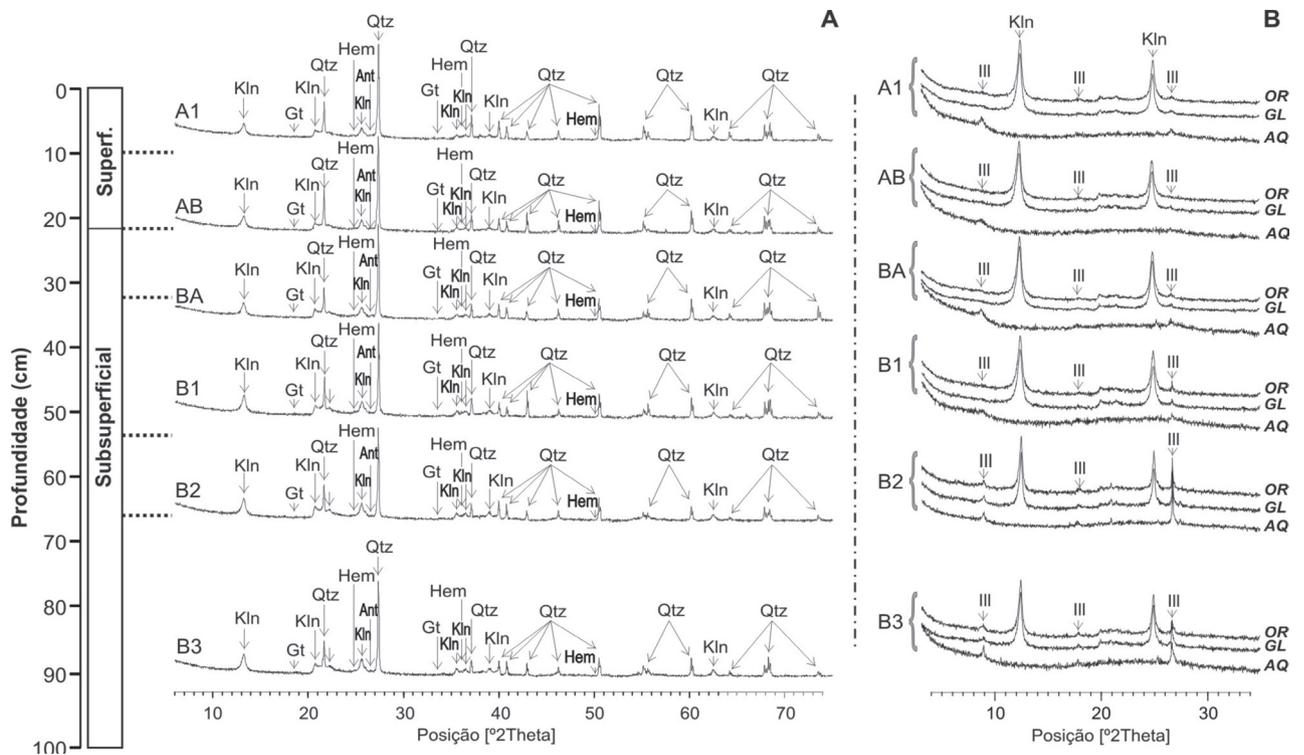


Figura 2- Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (A) método do pó e (B) pipette-on-glass do solo com Terra Preta Arqueológica (TPA). Klin: caulinita; Ab: albita; Gt: Goethita; Ill: illita; Qtz: quartzo; Hem: hematita; Ant: anatásio; OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.



**Figura 3-** Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (A) método do pó e (B) *pipette-on-glass* do solo adjacente 1. Kln: caulinita; Gt: Goethita; Ill: illita; Qtz: quartzo; Hem: hematita; Ant: anatásio; OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.



**Figura 4-** Padrões de DRX com os principais minerais identificados através do (A) método do pó e (B) *pipette-on-glass* do solo adjacente 2. Kln: caulinita; Gt: Goethita; Ill: illita; Qtz: quartzo; Hem: hematita; Ant: anatásio; OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.

Tabela 3- Composição mineralógica dos perfis de solo do sítio B.J8.

Horizonte	Quartzo	Caulinita	Hematita + Goethita	Illita	Anatásio	Albita
Solo com Terra Preta Arqueológica (TPA)						
A1	80,58	9,67	0,53	1,27	0,55	0,17
A2	83,49	7,44	0,42	1,10	0,57	0,17
A3	76,59	13,92	0,58	1,10	0,71	0,17
AB	69,63	21,36	0,84	1,10	0,70	0
BA	72,16	18,43	0,75	1,10	0,69	0
B1	71,95	22,96	1,01	1,35	0,84	0
B2	66,13	29,19	1,22	1,52	0,88	0
Solos adjacentes						
A1	77,08	14,88	1,40	1,52	0,47	
AB	74,90	16,88	1,71	1,52	0,43	
BA	72,55	19,06	1,83	1,69	0,47	
B1	70,60	20,15	1,84	1,78	0,44	
B2	70,99	20,96	2,01	1,86	0,42	
B3	71,91	22,35	2,24	2,03	0,44	

Tabela 4-Concentração dos elementos maiores, menores e traços ao longo dos horizontes do solo com Terra Preta Arqueológica (TPA).

Elementos	g kg <sup>-1</sup>						
	A1	A2	A3	AB	BA	B1	B2
SiO <sub>2</sub>	820,0	833,6	824,5	804,9	830,4	877,9	875,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41,8	32,5	58,1	87,2	75,6	94,2	119,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,3	4,2	5,8	8,4	7,5	10,1	12,2
TiO <sub>2</sub>	5,50	5,70	7,10	6,95	6,90	8,35	8,75
CaO	5,10	3,00	1,50	1,20	0,60	0,80	0,70
K <sub>2</sub> O	1,45	1,30	1,30	1,30	1,25	1,60	1,75
MgO	0,81	0,47	0,50	0,60	0,55	0,64	0,68
Na <sub>2</sub> O	0,20	0,20	0,20	0,40	0,40	0,50	0,90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,56	0,23	0,20	0,19	0,15	0,22	0,26
MnO	1,11	0,94	0,70	0,43	0,23	0,23	0,15
CO	72,30	68,10	69,30	63,70	68,70	18,90	10,60
mg kg <sup>-1</sup>							
Zr	111	172	171	212	114	203	218
Zn	107	84	79	80	68	87	80
Ba	90	87	70	72	39	65	65
V	20	21	25	36	23	39	48
Sr	33	24	18	21	12	20	23
Cu	28	29	22	20	19	19	19
Cr	14	12	16	23	11	21	25
Ni	12	11	13	21	13	23	30
Pb	11	9	10	11	8	12	10
Y	7	8	8	9	5	9	7
Sc	5	5	6	8	5	8	9
Co	8	8	8	8	8	8	8
Be	3	3	3	3	3	3	3

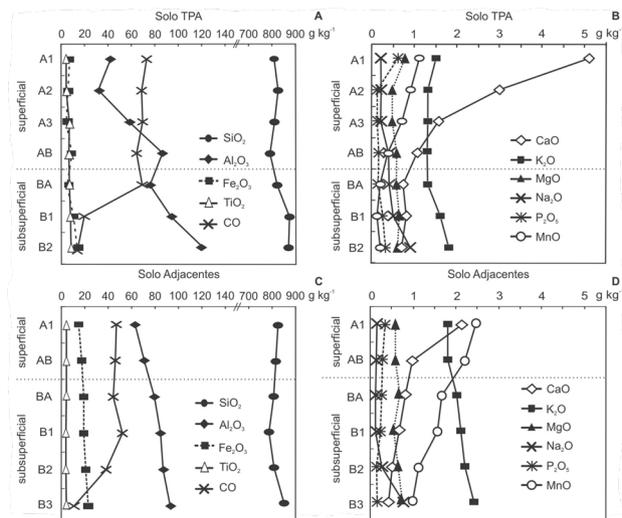


Figura 5- A) Concentrações dos elementos maiores (teores totais) no solo com TPA; B) Concentrações dos elementos menores (teores menores) no solo com TPA; C) Concentrações médias dos elementos maiores (teores totais) nos solos adjacentes; D) Concentrações médias dos elementos menores (teores menores) nos solos adjacentes.

g kg<sup>-1</sup>). CaO (0,3-2,3 g kg<sup>-1</sup>), Na<sub>2</sub>O (0,2-1,2 g kg<sup>-1</sup>), MgO (-0,6 g kg<sup>-1</sup>) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,1-0,3 g kg<sup>-1</sup>) possuem concentrações menores (teores menores). O C orgânico varia entre de 7,4 g kg<sup>-1</sup> a 69 g kg<sup>-1</sup> no horizonte B, seguido de teores em torno de 30 g kg<sup>-1</sup> e 70 g kg<sup>-1</sup> no horizonte A. Os elementos traços (teores traços) revelam concentrações homogêneas em todo o perfil de solo, com diferenças pequenas de Zr, Cu, Cr, Ni, V, Ba e Zn do horizonte B para o A (Tabela 5).

SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> são os mais abundantes (Figura 5c), e constituem o quartzo e argilominerais como a caulinita e illita. Os maiores teores da fração fina e o coeficiente de correlação entre SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-0,01) e SiO<sub>2</sub> e Zr (0,05) correspondem a menor contribuição da fração areia que o solo com TPA. As concentrações de SiO<sub>2</sub> e carbono orgânico, e o coeficiente entre SiO<sub>2</sub> e CO (-0,82) evidenciam a sinergia entre a matéria orgânica e argila. As concentrações de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminuem suavemente do horizonte B para o horizonte A (Figura 5c), mas os coeficientes entre Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O (0,96) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO (0,85) ainda comprovam a presença de illita. As concentrações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, os coeficientes entre Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ni (0,94), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e V (0,64) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Cr (0,34) podem ser correlacionados com hematita e goethita. TiO<sub>2</sub> não demonstrou oscilações significativas e provavelmente corresponde ao anatásio. As concentrações de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> são menores que o solo com TPA (Figura 5d). Além disso, o coeficiente entre P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-0,91), o aumento de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e MnO do horizonte B para o horizonte A e correlação positiva destes elementos com carbono orgânico (-0,40) revelam correspondência maior com a fração orgânica do solo, enquanto que Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Ni, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zn e Cr mostram concentrações mais baixas no horizonte superficial.

**Tabela 5**-Concentração média dos elementos maiores, menores e traços ao longo dos horizontes dos solos adjacentes.

Elementos	A1	AB	BA	B1	B2	B3
g kg <sup>-1</sup>						
SiO <sub>2</sub>	830,8	823,2	815,8	797,8	817,9	856,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62,7	70,6	79,6	84,2	87,6	93,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,0	17,1	18,3	18,4	20,1	22,4
TiO <sub>2</sub>	4,65	4,32	4,69	4,44	4,15	4,35
CaO	2,10	1,02	0,80	0,61	0,49	0,44
K <sub>2</sub> O	1,77	1,83	1,97	2,07	2,20	2,36
MgO	0,60	0,59	0,65	0,64	0,65	0,70
Na <sub>2</sub> O	0,18	0,17	0,18	0,17	0,21	0,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,23	0,18	0,13	0,14	0,13
MnO	2,39	2,05	1,72	1,57	1,23	1,01
CO	46,50	45,55	43,95	51,90	37,60	10,30
mg kg <sup>-1</sup>						
Zr	171	165	167	159	148	175
Ba	96	89	87	86	87	95
Zn	56	61	62	66	68	71
Cu	56	47	31	29	28	30
V	37	42	45	46	48	57
Ni	30	34	35	36	41	44
Sr	32	27	26	27	28	30
Cr	16	18	17	17	19	18
Co	13	14	14	15	14	13
Y	11	12	12	12	12	13
Pb	11	13	11	12	9	10
Sc	8	9	10	11	11	13
Be	3	3	3	3	3	3

Os elementos Ba, Sr, Zn e MgO foram relacionados a resíduos vegetais e animais no solo TPA, contudo o coeficiente negativo entre estes elementos e o C orgânico podem indicar uma associação maior com argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro.

### Associações químicas

A análise estatística do grau de similaridade dos dados identificou três principais associações no solo com TPA (Figura 6a): associação 1 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-V-Ni-Na<sub>2</sub>O-Cr-TiO<sub>2</sub>-Zr-K<sub>2</sub>O) com elementos que estão bem correlacionados com argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro; associação 2 (MgO-CaO-MnO-Cu-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Ba-Sr-Zn-CO) com as concentrações mais altas no horizonte A e indica os materiais que podem ter sido introduzidos pela população pré-histórica (utensílios de cozinha, alimentos e outros materiais de origem vegetal e animal) com alteração parcial após o descarte, além dos processos pedogenéticos subsequentes relacionados com os teores altos de carbono orgânico; e a associação 3 (Be-Sc-Y-Co-Pb) mostra concentração e padrão de distribuição similar ao longo do perfil de solo, e não foi influenciada pela formação da TPA.

Nos solos adjacentes (Figura 6b) as três principais associações identificadas foram: associação 1 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-K<sub>2</sub>O-Ni-MgO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zn-Na<sub>2</sub>O-V-TiO<sub>2</sub>-Zr-Cr-Ba) correlacionada com caulinita, illita e hematita/goethita; associação 2 (CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-MnO-Cu-CO) possui relação maior com material orgânico do solo; associação 3 (Be-Sc-Y-Co-Pb-Sr) não demonstrou variações significativas entre os horizontes do solo, características estas que são semelhantes aos solos amazônicos com cobertura vegetal (Lima 2001).

### Parâmetros de fertilidade

O pH do solo com TPA em KCl ( $\bar{x}$  = 5,3) e H<sub>2</sub>O ( $\bar{x}$  = 6,3) resultou em ΔpH negativo. Contudo, valores de pH ligeiramente maiores que a média e ΔpH foram encontrados no horizonte superficial. Os elementos disponíveis (teores disponíveis) Mn e Zn possuem concentrações maiores no horizonte superficial, mas o P disponível revela comportamento relativamente inverso e influência nos horizontes subsuperficiais do solo. Fe, Cu disponível não mostram variações significativas. Com relação à concentração dos elementos trocáveis (teores trocáveis), Ca, Mg, K e Na aumentam levemente em direção ao horizonte superficial, enquanto Al não foi detectado. Assim, a acidez potencial (0,6-1,9 cmol kg<sup>-1</sup>), Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> (2,3-9,6 cmol kg<sup>-1</sup>), SB (2,1-9,9 cmol kg<sup>-1</sup>), CTC (2,7-11,7 cmol kg<sup>-1</sup>) apresentam padrão similar aos elementos trocáveis que resultou em V≥75% (Tabela 6). A presença de argilominerais, os teores de C orgânico e ΔpH negativo indicam capacidade elevada de adsorção de cátions no solo. Os argilominerais caulinita 1:1 e illita 2:1 identificados no solo com TPA possuem CTC baixa e moderada, respectivamente. Além disso, Mn, Zn e Cu disponível apresentam coeficiente de correlação positiva com o C orgânico (-0,50), assim como Ca, Mg e K trocável (-0,40), mas Fe demonstra correlação positiva com Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,76) e o P disponível com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,30). Ca e Mg trocáveis também apresentam coeficiente alto com CaO (0,99) e MgO (0,69), respectivamente. Desta forma, a distribuição desses elementos pode estar relacionada com carbono orgânico, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, MgO e argilominerais, principalmente illita.

Com relação aos solos adjacentes, o pH em KCl ( $\bar{x}$  = 6,2) e H<sub>2</sub>O ( $\bar{x}$  = 5,1) é menor que o solo com TPA e também resultou em ΔpH negativo. Os elementos disponíveis Mn, Fe, Zn, P e Cu apresentam concentrações relativamente maiores no horizonte superficial. Os elementos trocáveis possuem concentrações semelhantes ao solo com TPA, exceto Ca e Mg trocável. Al trocável também não foi detectado. Acidez potencial (1-3,4 cmol kg<sup>-1</sup>) e CTC (2,9-11 cmol kg<sup>-1</sup>) são levemente maiores, enquanto Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> (1,5-7,4 cmol kg<sup>-1</sup>), SB (1,7-7,7 cmol kg<sup>-1</sup>) e V (60-69%) apresentam concentrações menores que o solo com TPA (Tabela 7). P, Mn e Cu disponível, Ca e Mg trocável podem ser correlacionados

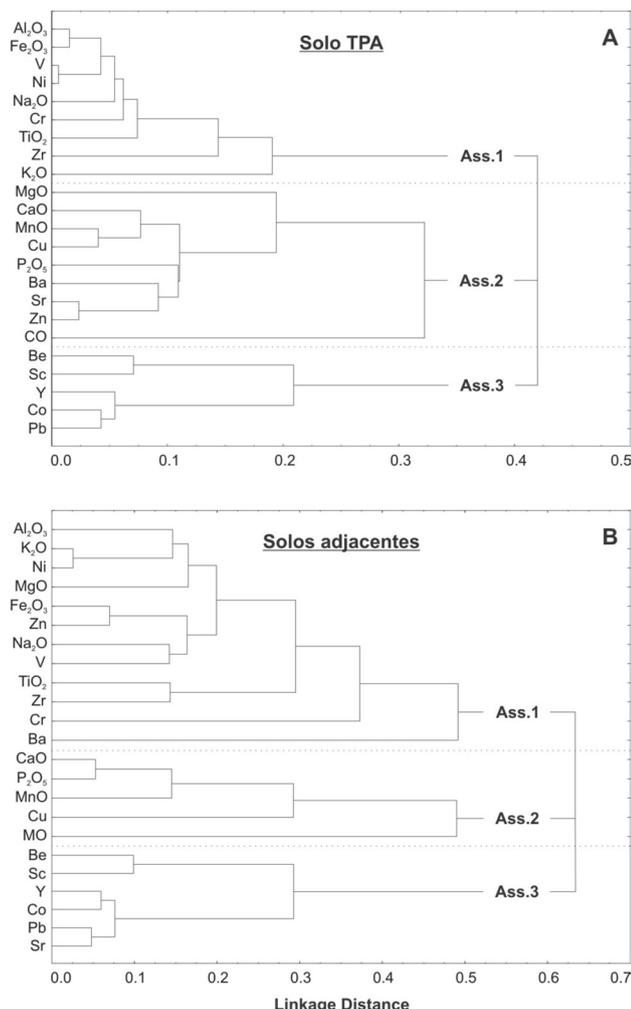


Figura 6- Análises de agrupamento para os elementos maiores, menores e traços no solo com Terra Preta Arqueológica (TPA) (A) e solos adjacentes (B).

com o C orgânico (-0,35). Além disso, Mn, Cu, P disponível e Ca trocável também mostraram coeficiente relativamente alto com MnO (0,95), Cu total (0,46), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,82) e CaO (0,99), respectivamente.

A concentração de P disponível, assim como a concentração total nos solos com TPA e adjacentes são inferiores aos obtidos em outros sítios com TPA, tais como sítio Manduquinha (Kern 1996) e Ilha de Terra (Meiros 2004) na região de Caxiuanã. As maiores concentrações de P disponível foram obtidas nos horizontes superficiais dos perfis, especialmente no perfil TPA. Este tipo de distribuição indica que a maior parte do P disponível provém da matéria orgânica, que é constituída principalmente por carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e fósforo. A concentração de fósforo de origem inorgânica deve ser negligenciável, uma vez que as rochas que deram origem aos solos da região de Bom Jesus do Tocantins devem ser pobres em fósforo.

### Sistemas de classificação de solos e taxonomia da tpa e solos adjacentes

Com base na presença do horizonte B textural abaixo do horizonte A, argila de atividade baixa ( $\bar{x} = 23,6 \text{ cmol kg}^{-1}$ ), matiz 7.5YR, V ( $\bar{x} = 70\%$ ) no horizonte subsuperficial, e ausência de plintita, gleização, caráter plânico e sódico, os solos TPA e adjacentes podem ser classificados conforme o SiBCS até o subgrupo como ARGISSOLOS AMARELOS Eutróficos típicos. Além disso, a textura média, horizonte superficial com 25 cm de espessura e estrutura granular permitiram a definição de um horizonte A chernozêmico para os solos adjacentes. Textura arenosa/média, concentrações mais elevadas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $\bar{x} = 0,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) e a presença de artefatos líticos e cerâmicos no horizonte superficial definem um horizonte A antrópico para o solo com TPA.

Segundo a correspondência aproximada com o *Soil Taxonomy*, os solos TPA e adjacentes podem ser considerados como *Typic Kandiodox*. No solo TPA, o horizonte diagnóstico superficial não pode ser descrito como antrópico, uma vez que os critérios para esta classificação requerem 1,5 g kg<sup>-1</sup> ou mais de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e diminuição progressiva até uma profundidade de 125 cm (Soil Survey Staff 2010). Com relação à legenda FAO-WRB, os solos adjacentes são classificados como *Haplic Lixisols*. Requisitos desta legenda como Munsell *value* e *chroma* de 3 ou menos, 10 g kg<sup>-1</sup> ou mais de C orgânico, 0,1 g kg<sup>-1</sup> ou mais de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nos 25 cm superiores, V ≥ 50% indicam a

Tabela 6-Concentração dos parâmetros de fertilidade ao longo dos horizontes do solo com Terra Preta Arqueológica (TPA).

Elementos/ Horizontes	A1	A2	A3	AB	BA	B1	B2
pH-H <sub>2</sub> O	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,3
pH-KCl	5,6	5,4	5,3	5,1	5,1	5,1	5,2
ΔpH	-0,7	-0,9	-1,0	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
mg kg <sup>-1</sup>							
Mn disponível	94	44	31	25	11	9	7
P disponível	20	4	3	4	10	17	51
Fe disponível	9	5	6	9	10	9	10
Zn disponível	8	3	2	1	0	0	0
Cu disponível	0	2	2	2	2	1	1
cmol kg <sup>-1</sup>							
Ca <sup>2+</sup>	8,3	5,3	3,4	2,6	2,2	2,0	2,2
Mg <sup>2+</sup>	1,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K <sup>+</sup>	0,23	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Na <sup>+</sup>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al <sup>3+</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	1,9	1,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
SB	9,9	5,6	3,5	2,8	2,4	2,1	2,3
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	9,6	5,6	3,5	2,8	2,3	2,1	2,3
CTC efetiva (t)	9,86	5,59	3,51	2,78	2,35	2,11	2,32
CTC potencial (T)	11,76	7,39	4,31	3,58	3,13	2,71	2,92
CTC (argila) %	639,13	293,25	86,20	36,91	29,81	21,85	17,49
V	84	76	81	78	75	78	80

presença de um horizonte *hortic* (FAO 2007). Desta forma, o solo com TPA pode ser classificado como *Hortic Anthrosols*.

Conforme a classificação da TPA através da legenda APC (Kämpf *et al.* 2003), o solo TPA corresponde aos requisitos do *Culto-Hortic Archaeo-anthrosols, ebonic, sandy, mesotrophic, cumulic*. Uma das problemáticas levantadas por estes autores para criação da legenda APC é a exclusão de diversos solos com TPA da classe *Anthrosols* pelo FAO-WRB (FAO 1998) devido à espessura ( $\geq 50$  cm) requerida para o horizonte diagnóstico superficial. Entretanto, o critério diagnóstico proposto pela FAO-WRB (FAO 1998) envolve a identificação dos horizontes superficiais e subsuperficiais “antropodogênicos”: *terric, irrigric, plaggic, hortic, anthraquic* e *hydragric*, mas as espessuras limitantes são somente exigidas nos horizontes *hortic* e *hydragric*. O horizonte *hortic* deve apresentar C orgânico ( $\geq 10$  g kg<sup>-1</sup>) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $>0,1$  g kg<sup>-1</sup>) nos 25 cm superiores (Gong *et al.* 1997) e o *hydragric* espessura  $\geq 10$  cm. O *hortic* é um horizonte superficial modificado pelo homem através de um cultivo profundo, adubação intensiva e/ou introdução contínua de dejetos humanos e animais, e outros resíduos orgânicos e inorgânicos (e.g. utensílios cerâmicos de cozinha). O *hydragric* é um horizonte subsuperficial antrópico associado com cultivo úmido e apresenta geralmente feições redoximórficas. Na atualização da FAO-WRB (FAO 2007) o horizonte *Hortic*

**Tabela 7**-Concentração média dos parâmetros de fertilidade ao longo dos horizontes dos solos adjacentes.

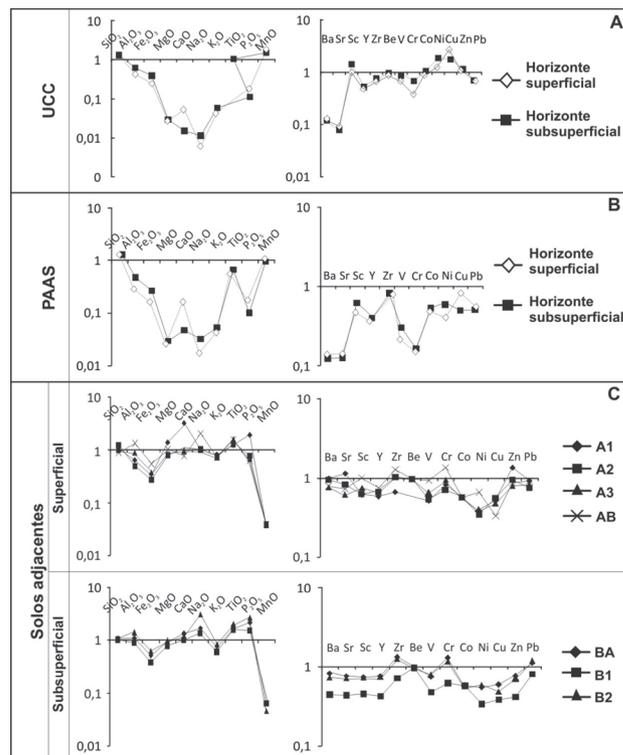
Elementos/ Horizontes	A1	AB	BA	B1	B2	B3
pH-H <sub>2</sub> O	6,1	6,1	6,3	6,2	5,9	5,9
pH-KCl	5,2	5,1	5,1	5,1	4,9	5,0
$\Delta$ pH	-0,9	-1,0	-1,3	-1,1	-1,0	-0,9
mg kg <sup>-1</sup>						
Mn disponível	163	114	82	51	41	31
Fe disponível	13	21	19	15	14	14
P disponível	4	1	1	1	1	1
Zn disponível	4	1	1	0	0	0
Cu disponível	2	2	2	2	1	1
cmol kg <sup>-1</sup>						
Ca <sup>2+</sup>	6,5	3,1	1,9	1,5	1,1	1,0
Mg <sup>2+</sup>	0,9	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5
K <sup>+</sup>	0,26	0,08	0,06	0,11	0,17	0,15
Na <sup>+</sup>	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al <sup>3+</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	3,4	2,4	1,6	1,3	1,2	1,3
SB	7,7	3,7	2,5	2,2	1,8	1,7
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	7,4	3,6	2,5	2,1	1,6	1,5
CTC efetiva (t)	7,69	3,71	2,54	2,16	1,81	1,68
CTC potencial(T)	11,09	6,06	4,09	3,46	3,01	2,98
CTC (argila)	187,90	93,12	41,51	24,61	15,46	14,48
%						
V	69	61	62	63	60	57

passou a ser limitado a uma espessura  $\geq 20$  cm e os critérios diagnósticos do horizonte *hydragric* permanecem inalterados.

### TPA: processos e produtos

Em geral, os solos do sítio arqueológico BJ8 são relativamente enriquecidos em SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, e MnO (teores totais), Cu, Sc, Ni e Zn (teores traços) em relação ao UCC e PAAS. Enquanto que MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (teores totais), Ba, Sr, Cr e V (teores traços) revelam empobrecimento elevado ( ). Estes perfis de concentração podem estar relacionados ao forte intemperismo do Grupo Itapecuru e outras feições geológicas locais que contribuíram para o desenvolvimento dos solos do município de Bom Jesus do Tocantins.

Em comparação com os solos adjacentes (Figura 7), o solo TPA apresenta concentrações mais elevadas de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, C orgânico e Zn no horizonte superficial e Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no subsuperficial, enquanto que as concentrações menores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Co, Ni e Cu ocorrem no horizonte superficial e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Co, Ni, Cu, Zn, Ba, Sr, Sc e Y no subsuperficial. Apesar destas diferenças, a similaridade entre as características morfológicas, mineralógicas e químicas dos



**Figura 7**-Concentrações dos elementos maiores, menores e traços do solo com Terra Preta Arqueológica (TPA) normalizados com: A) Crosta Continental Superior-UCC (Wedepohl 1995), B) Folhelhos Pós-Arqueanos Australianos – PAAS (Taylor e MacLennan 1985) e C) solos adjacentes do sítio BJ8. Valores maiores e menores que 1 indicam concentrações mais enriquecidas e empobrecidas, respectivamente, em comparação as referências descritas em A), B) e C).

horizontes subsuperficiais do solo TPA e solos adjacentes sugerem que a TPA foi provavelmente desenvolvida a partir de Argissolos com posterior transformação pedogenética através da introdução de materiais orgânicos e inorgânicos por uma colonização humana antiga, o que resultou no espessamento do horizonte superficial. Entretanto, esta influência antrópica antiga também resultou em modificações no horizonte subsuperficial, como as concentrações altas de  $P_2O_5$  e principalmente P disponível. Esta tendência não foi observada nos Argissolos adjacentes e informações sobre fosfatos de alumínio não são conhecidas nas rochas da região (e.g. Nascimento e Góes 2007). Assim, os sistemas de classificação de solos como o *Soil Taxonomy* e SiBCS podem ser mais adequados para a identificação da TPA, uma vez que priorizam nas ordens do solo os processos pedogenéticos atuantes na formação e desenvolvimento do solo, relacionados com os horizontes subsuperficiais, além das transformações pedogenéticas posteriores no horizonte superficial. Contudo, este trabalho recomenda a adição e revisão de alguns atributos diagnósticos como quantidade de artefatos cerâmicos e líticos,  $P_2O_5$ , P e Zn disponíveis, C orgânico,  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ , CTC e V no horizonte superficial do *Soil Taxonomy* e SiBCS para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos antigos da Amazônia.

## CONCLUSÕES

A semelhança entre as características morfológicas, mineralógicas e químicas dos horizontes subsuperficiais do solo TPA e solos adjacentes sugerem que a TPA foi desenvolvida a partir dos Argissolos com posterior transformação pedogenética pela introdução de materiais orgânicos e inorgânicos por antigas colonizações humanas. Assim, o *Soil Taxonomy* e SiBCS podem ser mais adequados para a identificação da TPA, uma vez que priorizam na ordem do solo os processos pedogenéticos atuantes na formação e desenvolvimento do solo, relacionados aos horizontes subsuperficiais, além das transformações pedogenéticas posteriores no horizonte superficial. Além disso, este trabalho recomenda a adição de alguns atributos diagnósticos como quantidade de artefatos cerâmicos e líticos,  $P_2O_5$  (teor total), P e Zn disponíveis (teor disponível), C orgânico,  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  (teor trocável), CTC e V no horizonte superficial do *Soil Taxonomy* e SiBCS, para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos antigos da Amazônia.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo apoio financeiro ao projeto “Assinaturas geoquímicas em terras pretas amazônicas e seu conteúdo cerâmico – AGTEPA, Processo: 484986/2007-4”, a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado, a Scientia Consultoria Científica pelo auxílio nas atividades de campo e aos membros dos laboratórios de Difração de Raios-X, Absorção Atômica,

Análises Químicas e Sedimentologia da UFPA/IG/PPGG pela colaboração nas análises laboratoriais.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Costa, M.L.; Kern D.C. 1999. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 66: 369-385.
- Costa, M.L.; Kern, D.C.; Pinto, A.H.E.; Souza, J.R. da T. 2004a. The ceramic artifacts in Archaeological black earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: mineralogy. *Acta Amazonica*, 34: 165-178.
- Costa, M.L.; Kern, D.C.; Pinto, A.H.E.; Souza, J.R. da T. 2004b. The ceramic artifacts in Archaeological black earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. *Acta Amazonica*, 34: 375-386.
- Eden, M.J.; Bray, W.; Herrera, L.; Mcewan, C. 1984. “Terra Preta” soils and their archaeological context in the Caqueta basin of southeast Colombia. *American Antiquity*, 49: 125-140.
- Embrapa. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. Centro Nacional de Pesquisa de solos. 306 pp.
- FAO. 1998. *World reference base for soil resources*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Soil Resource Report, 84. 109 pp.
- FAO. 2007. *World reference base for soil resources*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Soil Resource Report, 103. 145 pp.
- Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. 1998. Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, 28: 101-126.
- Gong, Z.; Zhang, X.; Luo, G.; Shen, H., Spaargaren, O.C. 1997. Extractable phosphorus in soils with a fmic epipedon. *Geoderma*, 75: 289-296.
- Gurjão, R.S.; Lemos, V.P.; Costa, M.L.; Dantas Filho, H.A.; Dantas, K.G.F.; Lima, W.T.S.; Kern, D.C. 2010. Comportamento do mercúrio em perfis de solos do sítio Ilha de Terra-Caxiuaná, Pará. *Química Nova*, 33: 821-826.
- Kämpf, N.; Woods, W.I.; Sombroek, W.; Kern, D.C.; CUNHA, T.J.F. 2003. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. p. 77-102. In: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B.; Woods, W.I. (Eds.). *Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kern, D.C.; Kämpf, N. 1989. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná - Pará. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 13: 219-225.
- Kern D.C. 1996. Geoquímica e pedogeoquímica de Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuaná (Portel-Pará). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. 119 pp.
- Kern, D.C.; Costa, M.L. 1997. Os solos antrópicos. p. 105-119. In: Lisboa, P. (Ed.). *Caxiuaná*. Belém-PA, Museu Paraense Emílio Goeldi, Capítulo III.

- Kern, D.C.; D'Aquino, G.; Rodrigues, T.E.; Frazão, F.J.; Sombroek, W.; Myers, T.P.; Neves, E.G. 2003. p. 51-75. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B.; Woods, W.I. (Eds.). *Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kern, D.C.; Kämpf, N. 2005. Ação antrópica e pedogênese em solos com Terra Preta em Cachoeira-Porteira, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 1:187-201.
- Kilmer, V.J.; Alexander, L.T. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. *Soil Science*, Baltimore, 68: 15-26.
- Kim, J.S.; Sparovek, Gerd.; Longo, R.M.; De Melo, W.J.; Crowley, D. 2007. Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 684-690.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68: 277-279.
- Lehmann, J.; da Silva, Jr.J.P.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W.; Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249: 343-357.
- Lemos, R.C.; Santos, R.D. 2002. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 4ed. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 83 pp.
- Lemos, V.P.; Costa, M.L.; Gurjao, R.S.; Kern, D.C.; Mescouto, C.S.; dos Santos, W.T.L.; Valentim, T.L. 2009. Comportamento do Arsênio em perfis de solos do Sítio Ilha de Terra de Caxiuanã, Pará. *Revista Escola de Minas*, 62: 39-146.
- Lima, H.N. 2001. *Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental*. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa. 176 pp.
- Lima, H.N.; Schaefer, C.E.R.; Mello, J.W.V.; Gilkes, R.J.; Ker, J.C. 2002. Pedogenesis and pre-Columbian land use of "Terra Preta Anthrosols" (Indian black earth) of Western Amazonia. *Geoderma*, 110:1-17.
- Major, J.; DiTommaso, A.; Lehmann, J.; Falcão, N.P.S. 2005. Weed dynamics on Amazonian Dark Earth and adjacent soils of Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 111: 1-12.
- Meireles A.R.O. 2004. Determinação de P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn em Terra Preta Arqueológica no sítio Ilha de Terra, região de Caxiuanã, Município de Melgaço-Pa. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. 90 pp.
- Nascimento, M.S.; Góes, A.M. 2007. Petrografia de arenitos e minerais pesados de depósitos cretáceos (Grupo Itapecuru), Bacia de São Luís-Grajaú, norte do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 37: 50-63.
- Pabst, E. 1991. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e seus significados para a discussão pedogenética. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7: 5-19.
- Sepof. 2008. *Estatística Municipal de Bom Jesus do Tocantins*. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. 46 pp.
- Smith, N.J. 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazon. *Annals of the Association of American Geographers*, 70: 553-566.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. *Department of Agriculture Handbook* 18.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA, Natural Resources Conservation Service. Washington-DC, 11 ed. 338 pp.
- Sombroek, W.G.; Kern, D.C.; Rodrigues, T.; Cravo, M.S.; Cunha, T.J.; Woods, W.; Glaser, B. 2002. Terra Preta and Terra Mulata: pre-Columbian Amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication. In: Dudal, R. (Ed.) *Anthropogenic factors of soil formation*, 17th World Congress of Soil Science. Bangkok: Transactions (CD-ROM).
- Taylor, S.R.; Maclennan, S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford, Blackwell. 312 pp.
- Thorez, J. 1976. *Practical identification of clay minerals*. Belgique, G. Lelotte. 90 pp.
- Walkley, A. ; Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science* 63:251-263.
- Wedepohl, K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 59:1277- 1232.

Recebido em: 23/07/2011

Aceito em: 30/12/2011

