



Bragantia

ISSN: 0006-8705

editor@iac.sp.gov.br

Instituto Agrônômico de Campinas

Brasil

Costa Campos, Milton César; Ribeiro, Mateus Rosas; Severino Souza Júnior, Valdomiro; Ribeiro Filho, Mateus Rosas; Cordeiro Conceição Souza, Romulo Vinicius; Almeida, Maria Conceição
Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira
Bragantia, vol. 70, núm. 3, 2011, pp. 598-609
Instituto Agrônômico de Campinas
Campinas, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90821051006>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira

Milton César Costa Campos ⁽¹⁾; Mateus Rosas Ribeiro ⁽²⁾; Valdomiro Severino Souza Júnior ⁽²⁾; Mateus Rosas Ribeiro Filho ⁽²⁾; Romulo Vinicius Cordeiro Conceição Souza ⁽³⁾; Maria Conceição Almeida ⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Rua 29 de Agosto, 786, 69800-000 Humaitá (AM).

⁽²⁾ Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Departamento de Agronomia, 52171-900 Recife (PE).

⁽³⁾ UFRPE, Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo, 52171-900 Recife (PE).

(*) Autor correspondente: agromccc@yahoo.com.br

Recebido: 31/mai./2010; Aceito: 12/out./2010

Resumo

Apesar da existência de muitas pesquisas sobre as Terras Pretas Arqueológicas, poucos são os trabalhos que têm procurado entender e esclarecer dúvidas sobre a gênese e o comportamento destes solos. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi caracterizar e classificar terras pretas arqueológicas de quatro sítios na Região do Médio Rio Madeira. Nesses locais, foram abertas trincheiras e os perfis caracterizados morfológicamente e amostrados. Foram realizadas as seguintes análises físicas: textura, argila dispersa em água, densidades do solo e das partículas, porosidade total e condutividade hidráulica saturada. As análises químicas constaram de: pH em água e KCl, cátions trocáveis, Al trocável, P disponível, acidez titulável (H+Al) e C orgânico, Al_2O_3 e Fe_2O_3 e SiO_2 extraídos pelo método do ataque sulfúrico, e teor de C das substâncias húmicas. Para determinar óxidos de Fe foram utilizados o ditionito-citrato-bicarbonato (Fed) e o oxalato ácido de amônio (Feo). As análises mineralógicas das frações areia, silte e argila foram feitas por difratometria de raios-X. Os perfis foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como: Argissolo Vermelho Amarelo, Argissolo Acinzentado e Argissolo Amarelo. Os solos apresentaram horizonte A antrópico com características químicas e de profundidade semelhantes, sugerindo certa similaridade dos fatores antrópicos que promoveram sua formação. Os horizontes antrópicos de todos os perfis amostrados na região tinham caráter eutrófico e teores altos a muito altos de fósforo disponível, sempre maiores que os dos horizontes subjacentes. Sugere-se a inclusão do subgrupo antrópico no SiBCS.

Palavras-chave: pedogênese, taxonomia de solos, SiBCS, ambiente amazônico.

Characterization and classification of archaeological dark earths from the Middle Madeira River Region

Abstract

Although several studies have been published about the Archaeological Dark Earths, few of them tried to understand and elucidate questions about the pedogenesis and behavior of these soils. Thus, the objective of this study was to characterize and classify Archaeological Dark Earths in four sites, selected in the region of the Middle Madeira River. Four pedons were morphologically characterized and collected for chemical, physical and mineralogical analysis. Physical analysis involved particle size distribution, water dispersible clay, soil bulk and particle density, total porosity and saturated hydraulic conductivity. Chemical analysis involved pH in water and KCl, exchangeable cations, exchangeable aluminum, available P, extractable acidity (Al+H), organic carbon and, SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 extracted with H_2SO_4 . Free iron oxides were extracted with dithionite-citrate-bicarbonate and poor crystalline iron oxides were extracted using ammonium acid oxalate. Mineralogical analysis of sand, silt and clay fractions were carried out by X-ray diffraction. The studied soils were classified in the Brazilian System of Soil Classification as Red Yellow Argisol, Gray Argisol and Yellow Argisol. The presence of the anthropogenic A horizons with similar chemical properties and depths in all studied sites suggests that similar conditions have influenced their formation. All anthropogenic horizons studied in the region showed high base saturation and high to very high P availability as compared to subjacent horizons. The inclusion of the anthropogenic subgroup in the Brazilian System of Soil Classification was also suggested.

Key words: pedogenesis, soil taxonomy, SiBCS, Amazon environments.

1. INTRODUÇÃO

As terras pretas arqueológicas (TPA) ou Terras Pretas de Índio compreendem solos caracteristicamente de coloração escura e fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados aos seus horizontes mais superficiais (KAMPF e KERN, 2005). De acordo com GLASER (2007), estes solos normalmente são de elevada fertilidade natural, com elevados teores de P, Ca, Mg e matéria orgânica estável, além de maior atividade biológica, quando comparados aos solos adjacentes. Segundo CUNHA et al. (2007), a fertilidade desses solos é fortemente relacionada com as características moleculares da fração alcalino-solúvel do carbono orgânico, as substâncias húmicas.

A formação das TPAs ainda não é bem explicada, mas a hipótese mais aceita se baseia em um conjunto de evidências pedológicas e arqueológicas, sugerindo que teriam sido formadas, não intencionalmente, pelo homem pré-colombiano (KERN e KAMPF, 1989). LIMA et al. (2002) afirmam que as TPAs localizam-se em antigos assentamentos e que seus solos contêm artefatos culturais, são de coloração escura, devido ao material orgânico decomposto e, em parte, na forma de carvão, como resíduo de fogueiras domésticas e de queimadas para uso agrícola do solo.

Quanto à distribuição geográfica, GERMAN (2003) afirmou que estes solos distribuem-se na forma de manchas descontínuas por toda a Amazônia, estando normalmente associados aos cursos de água e a ambientes bem drenados ou em locais com posição topográfica que permitia boa visualização do terreno. Segundo SOMBROEK et al. (2003), as TPAs ocupam de 0,1% a 0,3% da bacia Amazônica, e as informações a respeito do tamanho dos sítios variam de menos de um hectare, em terraços elevados, paralelos aos rios, a 400 hectares. Estas maiores extensões de TPA apoiam a concepção de grandes sítios de assentamentos pré-históricos ocupados por longo tempo (KÄMPF e KERN, 2005).

KERN et al. (2003) relataram registros de sítios de TPA circundados por solos de cores bruno-acinzentadas e com elevado teor de matéria orgânica, porém com teores de Ca e P inferiores e menor quantidade ou mesmo ausência de artefatos de cerâmica. Esses solos possuem características diferentes dos solos não antropizados adjacentes, sendo resultantes da atividade agrícola pré-histórica, permanente ou semipermanente, sendo identificados como “terra mulata” (TM).

No SiBCS, a principal particularidade das TPAs e TMs é a presença de um horizonte A Antrópico, formado ou modificado pelo uso contínuo do homem, como lugar de residência ou cultivo por períodos prolongados, com adição de material orgânico, em mistura ou não com material mineral, contendo fragmentos de cerâmica e/ou artefatos líticos, e/ou restos de ossos e/ou conchas.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar e classificar Terras Pretas Arqueológicas na Região do Vale Médio do Rio Madeira, Amazonas, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do meio físico

A área de estudo localiza-se ao sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 319, rodovia Transamazônica, município de Manicoré. As coordenadas geográficas são 07° 59' 77,1" S e 61° 39' 51,2" W, com altitude média variando entre 60 e 150 metros acima do nível do mar.

O material de origem é proveniente da alteração de granitos Rondonianos, do Pré-Cambriano Superior, sedimentos coluviais, depositados nas partes mais baixas da paisagem, e coberturas terciárias (BRASIL, 1978). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso, com um período seco de pequena duração (Am), e temperaturas variando entre 25 °C e 27 °C, e com precipitações pluviais entre 2.250 e 2.750 mm, com chuvas concentradas no período de outubro a junho (BRASIL, 1978).

O relevo é constituído por platôs com superfícies planas, sendo a zona de borda marcada por colinas e cristas alinhadas e localmente escarpadas, enquanto as áreas planas têm como principal característica a presença de uma superfície pediplanada (CPRM, 2001). A vegetação característica desta região é a Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 e 50 metros de altura (ZEE-AM, 2008).

Foram selecionados quatro locais em posições distintas da paisagem. Os perfis P1 e P3 localizam-se em posições de topo, sendo o P1 sob vegetação secundária (capoeira) e o P3 sob vegetação primária de floresta densa. O perfil P2 (3,5% de declividade) localiza-se no sopé de transporte da vertente, cujo formato representa uma suave concavidade, sob capoeira, e o P4 (5% de declividade), em posição de meia encosta, com suave inclinação linear, sob pastagem em área recentemente desmatada e queimada para sua implantação. Nesses locais foram abertas trincheiras, sendo os perfis do solo caracterizados morfologicamente e amostras de seus horizontes coletadas segundo SANTOS et al. (2005). Nelas foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pelo SiBCS (EMBRAPA, 2006).

Na etapa de amostragem todo o material foi coletado (incluindo fragmentos cerâmicos e material lítico) e levado para laboratório. Após secagem ao ar as frações grossas e a terra fina foram separadas e quantificadas via pesagem.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico, e agitação mecânica em aparato de

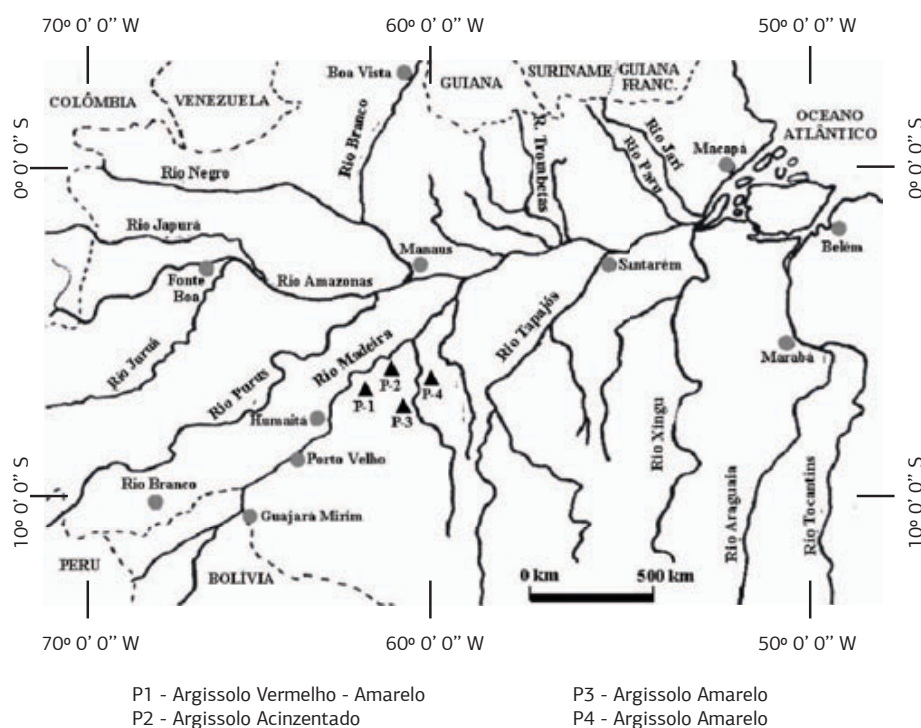


Figura 1. Mapa com a localização das áreas de ocorrência das Terras Pretas Arqueológicas (TPA), na Região do Médio Rio Madeira, Amazonas.

alta rotação por 10 minutos. A fração argila foi separada por sedimentação, as areias grossa e fina por tamisação e o silte calculado por diferença. Foi determinada a argila dispersa em água e calculado o grau de floculação, segundo EMBRAPA (1997).

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico e a densidade das partículas pelo método do balão volumétrico, conforme EMBRAPA (1997). A porosidade total foi calculada a partir dos dados obtidos das densidades do solo e das partículas, empregando-se a seguinte expressão: $Pt = 100(1 - Ds/Dp)$.

A condutividade hidráulica saturada dos solos foi determinada em amostras deformadas (TFSA), utilizando-se cilindro plástico com 23 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro, com permeâmetro de carga constante. A condutividade hidráulica foi calculada conforme a lei de Darcy e expressa em cm h^{-1} (EMBRAPA, 1997).

Os elementos cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$; o potássio, sódio e fósforo disponível foram extraídos com solução de *Mehlich-1*; e a acidez potencial (H^+ +Al) com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio (EMBRAPA, 1997). Com base nos resultados das análises químicas foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) e por alumínio.

O pH foi determinado potenciometricamente utilizando-se relação 1:2,5 de solo: água e KCl (EMBRAPA, 1997).

O carbono orgânico total foi determinado pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988).

O fracionamento químico da matéria orgânica do solo foi executado com base na solubilidade em meio ácido e alcalino, utilizando-se $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$, na relação solo: extrator de 1:20 p/v. Foram obtidas as frações: ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM), (SWIFT, 1996). O teor de carbono orgânico foi quantificado em cada fração através da oxidação utilizando solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido sulfúrico concentrado, com aquecimento em bloco digestor (YEOMANS e BREMNER, 1988). A relação C-FAH:C-FAF foi obtida por cálculo.

Na terra seca ao ar (TFSA), os elementos Al e Fe foram extraídos por digestão com H_2SO_4 1:1, e o Si por posterior dissolução alcalina. Os resultados foram expressos na forma de óxidos (Al_2O_3 , Fe_2O_3 e SiO_2), segundo método descrito por EMBRAPA (1979).

As formas cristalinas de ferro (Fe_d), alumínio (Al_d) e silício (Si_d) foram extraídas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) conforme proposto por MEHRA e JACKSON, (1960) e os óxidos pouco cristalinos de ferro (Fe_o), alumínio (Al_o) e silício (Si_o) por oxalato ácido de amônio (CAMARGO et al., 1986).

Para as determinações mineralógicas foram utilizados apenas os horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais de cada um dos perfis estudados. Após as separações

das frações areia, silte e argila, os minerais foram identificados por difratometria de raios X (DRX), empregando-se difratômetro Shimadzu, operando a uma tensão de 40 kv, com corrente de 20 mA, radiação de $\text{CuK}\alpha$, com monocromador de grafite. A amplitude de varredura foi de 5 a 70° (2 θ) e uma velocidade de registro de 3° 2 θ min⁻¹ para areia e silte; amplitude de 3 a 70° (2 θ) e mesma velocidade para a argila em pó. Para as amostras saturadas com KCl (temperatura ambiente e aquecidas a 550 °C) e saturadas com MgCl_2 com posterior solvatação com glicerol, a amplitude de varredura foi de 3 a 35° (2 θ) e uma velocidade de registro de 2° 2 θ min⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos morfológicos

Constatou-se que em todos os horizontes antropogênicos do presente estudo havia material lítico e fragmentos cerâmicos, em quantidades que variaram de 11,8 a 310 g kg⁻¹ (Tabela 1), corroborando os resultados observados por KERN e KAMPF (1989) em áreas de TPA no Pará.

Os horizontes superficiais tinham cores úmidas variando de bruno-acinzentado muito escuro a preto, com matiz de 10YR, valores entre 2 e 3 e cromas entre 1 e 2, enquanto os horizontes subsuperficiais, de cores amareladas ou avermelhadas, marcando uma nítida diferenciação entre o horizonte A escuro (antropogênico) e os horizontes diagnósticos subsuperficiais (Tabela 1).

A intensidade da cor e a profundidade de ocorrência dos horizontes antropogênicos são produtos do tempo e da continuidade da ocupação dos sítios. Assim, a pequena variação na profundidade de ocorrência dos horizontes antropogênicos, entre 37 e 50 cm, sugere que esses sítios contêm semelhanças entre si, refletindo tempo de ocupação e densidade populacional similares (Tabela 1). O mesmo foi constatado por KERN et al. (2003), os quais afirmam que a maioria das TPAs possui a espessura do horizonte A variando entre 30 e 60 cm.

A classe de textura dos horizontes antropogênicos variou entre franco-arenosa, franca e franco-argilo-arenosa, enquanto nos horizontes diagnósticos subsuperficiais foram observadas as classes argilo-arenosa, argila e muito argilosa, corroborando com o trabalho realizado por LIMA et al. (2002) em que destacam que as TPAs são bem drenadas e com textura variando de arenosa a muito argilosa, devido aos aspectos genéticos destes solos.

Os horizontes antropogênicos possuem estrutura com agregados granulares com grau de desenvolvimento forte, de tamanho variando de pequeno a muito pequeno. Este comportamento foi atribuído à ação do carbono pirogênico (particulado, livre, protegido e em complexos organo-minerais), que tem papel importante na formação e estabilização dos agregados (CUNHA et al., 2007). Para

os demais horizontes, a estrutura variou desde a presença de blocos angulares e subangulares nos perfis P1 e P4, a estrutura maciça moderadamente coesa nos perfis P2 e P3.

A consistência do solo seco nos horizontes antropogênicos variou de macia a ligeiramente dura, passando nos horizontes subsuperficiais a muito dura ou extremamente dura, justificada pela diminuição do teor de matéria orgânica e a maior quantidade de frações mais finas. Para a consistência do solo úmido, observou-se nos horizontes antrópicos uma variação de friável a muito friável, enquanto nos horizontes subsuperficiais predominou a consistência firme. Para a consistência do solo molhado, observou-se que os horizontes antrópicos foram ligeiramente plásticos, em função do conteúdo de argila, sendo este mesmo comportamento observado para a pegajosidade. Nos horizontes subsuperficiais, tanto a plasticidade como a pegajosidade tenderam a aumentar proporcionalmente ao conteúdo das frações finas.

Atributos Físicos

Observou-se dominância da fração areia, em particular da areia grossa no horizonte antrópico, em todos os perfis. Entretanto, verificou-se nítida variação da textura em função da posição de ocorrência da TPA no relevo. No P2, em posição de sopé de vertente, a textura mais arenosa provavelmente se deve à influência de materiais coluviais, provenientes das partes mais altas da encosta. Esta posição de sopé de transporte também é responsável pela coloração acinzentada do horizonte Bt, levando a classificação do solo como Argissolo Acinzentado, tendo em vista que este ambiente favorece maior acúmulo de água. Para os demais sítios de TPA (P1, P3 e P4) há, na fração areia, contribuição de pequenos fragmentos líticos e cerâmicos, corroborando resultados obtidos por GERMAN (2003).

Em relação aos horizontes diagnósticos subsuperficiais, observou-se que, excetuando-se o perfil P2, de natureza coluvial, nos demais perfis (P1, P3 e P4) há dominância da fração argila (Tabela 2) refletindo a característica argilosa dos Argissolos da região, corroborando com resultados avaliados por LIMA et al. (2006).

Na maioria dos solos da Amazônia, a argila dispersa em água possui valores mais elevados com o aumento da profundidade, corroborando com os resultados da pesquisa em questão. O grau de floculação tem maior expressão nos horizontes A antrópico, especialmente nos perfis P2 e P4. (Tabela 2). Estes resultados estão em concordância com LIMA et al. (2002) os quais afirmam que em TPAs apesar das condições climáticas favoráveis à destruição dos agregados do solo, o estado de organização da estrutura é tão fortemente desenvolvido que não propicia este comportamento. Além disso, a elevada atividade biológica e o teor de matéria orgânica, especialmente os ácidos húmicos e fúlvicos favorecem a maior agregação.

Tabela 1. Características morfológicas dos perfis de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira (AM)

Horiz.	Prof.	Material Lítico	Fragmentos de Cerâmica	Cor (úmida)	Textura	Estrutura (¹)	Consistência (²) (seco, úmido, molhado)	Transição (³)
cm g kg⁻¹								
P1 – Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média argilosa								
A ₁	0-19	14,8	310	10YR 2/2	franca	fo., peq. a mpeq. gran.	mac., mfri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
A ₂	19-37	11,8	110	10YR 3/2	franca	fo., peq. a méd. gran.	mac., fri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
Bt ₁	37-70	0	0	5YR 4/6	argila	fo. peq. a méd. bl. ang. e sub.	mac., mfri., lig.plás. lig.peg.	cla. e pla.
Bt ₂	70-100	0	0	5YR 4/6	argila	mod. méd. a gr. bl. ang. e sub.	lig.dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	cla. e pla.
BC	100-120	0	0	-	-	-	-	-
P2 – Argissolo Acinzentado Eutrófico antrópico, textura média-argilosa;								
A ₁	0-32	74	112	10YR 2/1	franco-arenosa	fo. mpeq. gran.	lig.dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
A ₂	32-50	53	96	10YR 3/1	franco-arenosa	fo. mpeq. gran.	lig.dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
AB	50-75	0	0	10YR 4/2	franco-arenosa	maçica moderadamente coesa	-	gra. e pla.
Bt	75-105+	0	0	10YR 6/3	argilo-arenosa	maçica moderadamente coesa	-	-
P3 – Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média-argilosa								
A ₁	0-20	33	120	10YR 2/1	franco-arenosa	fo. mpeq. a peq. gran.	lig.dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
A ₂	20-40	23	65	10YR 3/1	franco-arenosa	fo. mpeq. a peq. gran.	lig.dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
BA	40-70	0	0	10YR 5/6	franco-argilo-arenosa	maçica a moderadamente coesa	mdr., fir, lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
Bt ₁	70-110	0	0	10YR 5/6	argilosa	maçica a moderadamente coesa	ext.dr., fir, plás. peg.	dif. e pla.
Bt ₂	110-150+	0	0	10YR 5/6	argilosa	maçica a moderadamente coesa	ext.dr., fir, plás. peg.	-
P4 – Argissolo Amarelo Distrófico abrupto, textura argilosa/muito argilosa, epieutrófico.								
A ₁	0-20	59	185	10YR 3/1	franco argilosa	fo. mpeq. a peq. gran.	lig.dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	cla. e pla.
A ₂	20-42	51	165	10YR 3/2	franco argilosa	fo. mpeq. a peq. gran. e bl. ang.	lig.dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
AB	42-63	0	0	10YR 4/3	franco argilosa	mod. mpeq. a peq. gran. e bl. sub.	dr., mfri., lig.plás. lig.peg.	gra. e pla.
BA	63-108	0	0	10YR 4/6	argila	fr. mpeq. a peq. bl. sub.	dr., fri, plás. peg.	dif. e pla.
Bt ₁	108-153	0	0	10YR 5/6	muito argilosa	fr. mpeq. a peq. bl. sub.	dr., fri, plás. peg.	-
Bt ₂	153-170	0	0	10YR 6/6	muito argilosa	-	-	-

(¹) fr.: fraca, mod.: moderada; fo.: forte; peq.: pequena, mpeq.: muito pequena; méd.: média; gr.: grande; mgr.: muito grande; gran.: granular; bl. sub.: blocos subangulares; prsm.: prismática. (²) so.: solto; mac.: macio; lig.dr.: ligeiramente duro; dr.: duro; mdr.: muito duro; ext.dr.: extremamente duro; mfri.: muito firme; fri.: frável; fir.: firme; mfr.: muito firme; ext.fri.: extremamente firme; nplás.: não plástico; lig.plás.: ligeiramente plástico; plás.: plástico; mpls.: muito plástico; npeg.: não pegajoso; lig.peg.: ligeiramente pegajoso; peg.: pegajoso; mpeg.: muito pegajoso. (³) cla.: clara; pla.: plana; gra.: gradual; ond.: ondulada; dif.: difusa; abr.: abrupta.

Tabela 2. Caracterização física dos perfis de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira (AM)

Horizonte	Profundidade	A.G.	A.F.	Silte	Argila	AD	G. F.	S/A	Ds	Dp	Pt	CHS
	cm	g kg ⁻¹				%		kg dm ⁻³			%	cm h ⁻¹
P1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média argilosa												
A ₁	0-19	271	167	319	243	28	84	1,3	0,7	2,5	69	19,8
A ₂	19-37	267	153	343	237	28	88	1,4	0,8	2,7	69	14,8
Bt ₁	37-70	123	95	261	521	36	93	0,5	0,9	2,8	65	12,2
Bt ₂	70-100	105	92	248	555	8	99	0,4	1,0	2,8	63	11,6
BC	100-120								-	-	-	
P2 – Argissolo Acinzentado Eutrófico antrópico, textura média-argilosa												
A ₁	0-32	528,	138	147	187	29	84	0,7	1,0	2,5	60	21,4
A ₂	32-50	565	171	105	159	37	77	0,6	1,1	2,5	57	22,2
AB	50-75	534	174	100	192	96	50	0,5	nd	2,5	nd	23,6
Bt	75-105+	447	117	81	355	169	52	0,2	nd	2,7	nd	32,1
P3 – Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média-argilosa												
A ₁	0-20	577	107	140	176	35	80	0,8	1,0	2,6	61	30,7
A ₂	20-40	553	144	129	174	56	67	0,7	1,2	2,6	51	30,2
BA	40-70	352	127	144	377	136	64	0,3	1,5	2,6	43	29,7
Bt ₁	70-110	222	73	140	565	16	97	0,2	1,4	2,7	48	28,1
Bt ₂	110-150+	229	70	116	585	19,0	97	0,2	-	2,6	-	25,3
P4 – Argissolo Amarelo Distrófico abrupto, textura argilosa/muito argilosa, epieutrófico												
A ₁	0-20	236	104	247	413	22	95	0,6	0,8	2,6	68	24,6
A ₂	20-42	277	95	280	348	26	92	0,8	0,8	2,6	68	24,4
AB	42-63	195	104	307	394	24	94	0,7	1,0	2,6	60	12,5
BA	63-108	156	62	182	600	36	94	0,3	1,1	2,7	59	9,3
Bt ₁	108-153	121	53	189	637	15	98	0,3	1,1	2,7	59	7,8
Bt ₂	153-170	121	53	145	681	131	81	0,2	-	2,74	-	7,5

A.G. = areia grossa; A.F. = areia fina; AD = argila dispersa em água; G.F. = grau de floculação; S/A = relação silte/argila; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partícula; Pt = porosidade total; CHS = condutividade hidráulica do solo saturado.

A relação silte/argila revelou valores semelhantes em todos os perfis estudados (Tabela 2), dados comuns em solos amazônicos.

A densidade do solo indicou valores mais baixos para os horizontes antropogênicos em todos os perfis (Tabela 2) e os valores aumentam com a profundidade. Segundo STEINBEISS et al. (2009), este comportamento é resultante dos elevados teores de carbono orgânico e de intensa atividade biológica (fauna e raízes), que constrói canais, cavidades e galerias. Por outro lado, a densidade de partícula com valores semelhantes em todos os perfis, evidencia a presença de partículas de mesma natureza mineral (Tabela 2). Já a porosidade total nos horizontes antropogênicos é mais elevada que nos demais horizontes subsuperficiais. Essa mesma tendência foi observada para a condutividade hidráulica, também devido aos elevados teores de matéria orgânica e à intensa atividade biológica (fauna e raízes).

Atributos Químicos

Os valores de pH em água variaram de 5,9 a 7,0 nos horizontes antropogênicos, e os de pH em KCl, foram sempre menores, entre 4,8 a 6,9 (Tabela 3). Esses valores são similares aos analisados por SOLOMON et al. (2007), porém contrariam os valores de MOREIRA (2007), evidenciando a natureza heterogênea de ocorrência das TPAs, pelas con-

dições pedoambientais e as atividades humanas em cada local.

Os teores de fósforo disponível foram elevados nos horizontes antropogênicos, entretanto com valores muito dispersos. Foram avaliados teores de 143,5 a 230,7 mg kg⁻¹ no P1, 15,5 a 16,9 mg kg⁻¹ no P2, 26,1 a 35,4 mg kg⁻¹ no P3 e 24,0 a 25,7 mg kg⁻¹ no P4. Estes resultados disparem são provavelmente decorrentes da intensidade da incorporação de detritos pelos antigos habitantes, conforme destacam FRASER e CLEMENT (2008) em estudo sobre solos de TPAs na região amazônica.

Os valores do Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis foram mais elevados nos horizontes superficiais, o que está de acordo com STEINER et al. (2004), os quais afirmaram que as TPAs exibem elevados níveis de nutrientes, principalmente Ca e P, provavelmente, proveniente de restos de ossos humanos e de animais, além da formação de complexos matéria orgânica-cálcio, de alta estabilidade (elevados teores de Ca), associados ao carvão pirogênico (NOVOTNY et al., 2007). Por outro lado, verificou-se que os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ variaram entre as áreas estudadas, o que pode ser reflexo da variação do tempo e da densidade da ocupação humana nas áreas.

Os maiores valores de soma de bases foram observados nos horizontes antropogênicos quando comparados aos horizontes subsuperficiais. Entretanto, também foram notadas diferenças entre os perfis de TPAs estudados, com valores mais elevados nos perfis P2 e P3, de 29,9 e 26,4

M.C.C. Campos et al.

C.C. Campos et al.

$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ respectivamente, e 16,0 e 14,5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, para os perfis P4 e P1, respectivamente, concordando com os resultados de LEHMANN et al. (2003).

Com relação à CTC, verificou-se também que os perfis P2 e P3 ocorrem os maiores valores quando comparados aos perfis P1 e P4. Para todos os perfis estudados há nítida tendência de decréscimo de CTC com a profundidade do solo, comportamento também observado por GLASER et al. (2000) em estudos de TPAs na Amazônia. A saturação por bases revelou valores mais elevados nos horizontes antrópicos, valendo ressaltar que nos perfis P1, P2 e P3 os valores do V% foram também elevados nos horizontes subsuperficiais, comportamento que não foi observado para o perfil P4, provavelmente, o impacto da ação antrópica não se limita aos horizontes superficiais, mas pode alterar o solo em profundidade, contando com a contribuição de processos pedogênicos (melanização, lessivagem e bioturbação) (KERN e KAMPF, 2005).

Observou-se que os valores totais de Fe_2O_3 e Al_2O_3 tinham comportamento semelhante, com valores maiores nos perfis P1, P3 e P4, (Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos), e menores no P2 (Argissolo Acinzentado) (Tabela 4). Este fato deve-se, possivelmente, ao regime de umidade associado aos teores de matéria orgânica e carência do material de origem do sítio do perfil P2 que favorece a mobilização, redistribuição e exportação do ferro e alumínio na forma amorfa (Fe_o e Al_o) para outros locais, incidindo diretamente na expressão de cores de cromas mais baixos, em relação aos perfis P1, P3 e P4.

Os valores da relação $\text{Fe}_{\text{ox}}/\text{Fe}_d$ distribuíram-se semelhantemente para todos os perfis estudados, exceção feita ao P2 com valores ligeiramente mais elevados. Este comportamento deve-se, possivelmente, às maiores quantidades de matéria orgânica, combinadas com os maiores teores de umidade dificultando assim a cristalização dos óxidos de Fe (Tabela 4). Quanto aos valores da relação $\text{Al}_{\text{ox}}/\text{Al}_d$ verificaram-se relações similares, com maiores valores da relação no P2, evidenciando conteúdo de Al ainda na estrutura dos óxidos de ferro. Segundo DEMATTÊ et al. (1994) à medida que os óxidos vão ficando menos cristalinos, em superfície, eles são mais facilmente removidos do solo e transportados para as partes mais baixas do terreno.

A relação (Fed/Fet) tem sido utilizada como indicador auxiliar do grau de desenvolvimento do solo, sendo maior nos solos mais intemperizados. No presente estudo verificou-se que os valores desta relação (Fed/Fet) são maiores nos perfis P1, P3 e P4 quando comparados ao P2, indicando que estes solos estão em estágio mais avançado de intemperismo.

Atributos Mineralógicos

Em relação à mineralogia da fração areia, nos perfis P1 e P3 verificou-se comportamento semelhante, com pre-

domínio de quartzo e traços de feldspatos em seus horizontes diagnósticos, e no caso do P1 ocorreram traços de feldspato no horizonte Bt_1 e no perfil P3 no horizonte A_1 . No perfil P2 notou-se maior expressão de quartzo e traços de feldspatos nos dois horizontes diagnósticos (A_1 e Bt). Já no perfil P4 havia exclusivamente quartzo em ambos os horizontes diagnósticos (Tabela 5).

A composição mineralógica da fração silte é bastante semelhante, com presença marcante de quartzo e anatásio, e reflexos de feldspatos e ilmenita. Esta composição mineralógica dos solos reflete, de certo modo, a pobreza de minerais máficos do material de origem (granitos e sedimentos terciários) (BRASIL, 1978), associada ao intenso intemperismo químico, que predomina na região amazônica.

A mineralogia da fração argila das TPAs é também bastante semelhante, com dominância de caulinita e gibbsita, além de traços de mica (Tabela 5), não diferindo dos resultados analisados por COUCEIRO e SANTANA (1999) que estudaram a mineralogia de solos da Amazônia. Para HORBE e COSTA (1997), essa mineralogia se repete na grande maioria dos solos bem drenados da região Amazônica brasileira, e é reflexo da pobreza do material de origem, das boas condições de drenagem e do tempo de exposição dos sedimentos aos agentes bioclimáticos.

Carbono orgânico total e fracionamento químico da MOS

Nos horizontes antropogênicos, os teores de carbono orgânico total (COT) oscilaram entre 43,7 e 80,3 g kg^{-1} , entre os perfis, verificando-se os maiores valores nos perfis P2, P1 e P3 (Tabela 6). Apesar do valor de COT estar conceitualmente superior ao limite de 8%, o qual por definição seria de horizonte e/ou camada orgânica EMBRAPA (2006), esses resultados podem ser atribuídos ao carbono pirogênico (carvão) proveniente das atividades dos povos indígenas pré-colombianos, conforme destaca GLASER (2000), ou à dominância de estruturas aromáticas, com baixo grau de substituição de oxigênio (CUNHA et al., 2007).

Observou-se maior teor de carbono associado à fração húmica (C-FHUM), seguido da fração ácido húmico (C-FAH), que são mais estáveis, em detrimento de carbono associado à fração ácido fúlvico (C-FAF), mais solúvel e móvel (Tabela 6). Segundo MADARI et al. (2009) este fato deve-se à maior presença de grupamentos aromáticos e de anéis benzênicos, do maior grau de polimerização e menor suscetibilidade ao ataque microbiano.

Quanto aos valores da relação C-FAH/C-FAF, estes oscilaram entre 1 a 2,5, indicando predominância de melhores características do húmus, demonstrando a melhor qualidade do solo mesmo em condições que favoreçam a rápida mineralização, conforme destaca MOREIRA (2007).

De forma geral, constatou-se que em todas as frações orgânicas houve decréscimo com a profundidade do solo,

Tabela 4. Teores dos óxidos do ataque sulfúrico (Fe_2O_3 e Al_2O_3) e SiO_2 , óxidos livres extraídos com ditonito-citrato-bicarbonato (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3) e formas pouco cristalinas extraídas com oxalato ácido de amônio (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3) e relações entre eles, dos perfis de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira (AM)

Horizonte	Óxidos do Ataque Sulfúrico			Relações			Ditionito Citrato Bicarbonato			Oxalato Ácido de Amônio			Relações			
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ki	Kr		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe _{ox} Fe _d	Al _{ox} Al _d	Si _{ox} Si _d	
	dag kg ⁻¹						dag kg ⁻¹			dag kg ⁻¹						
P1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média argilosa																
A ₁	6,3	5,8	5,8	1,83	1,12		3,11	3,47	3,07	2,85	1,72	2,26	0,50	0,74	0,92	0,59
A ₂	7,7	6,3	8,8	1,50	1,02		4,53	4,62	5,74	3,05	1,39	2,01	0,30	0,35	0,67	0,73
Bt ₁	19,0	11,7	20,8	1,55	1,14		15,55	9,34	13,88	2,17	0,97	2,19	0,10	0,16	0,14	0,79
P2 - Argissolo Acinzentado Eutrófico antrópico, textura média-argilosa																
A ₁	8,6	1,4	6,1	2,38	2,08		4,74	0,68	3,16	3,37	0,47	2,93	0,69	0,93	0,71	0,49
A ₂	8,9	1,4	5,5	2,76	2,36		4,24	0,76	2,89	2,97	0,31	2,16	0,41	0,75	0,70	0,52
Bt	15,9	2,5	17,0	1,59	1,45		9,91	1,33	11,12	2,65	0,23	2,11	0,17	0,19	0,27	0,51
P3 - Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média-argilosa																
A ₁	6,4	5,2	5,5	1,98	1,23		3,22	3,13	2,7	2,97	1,92	2,32	0,61	0,86	0,92	0,60
A ₂	6,5	5,4	5,6	1,97	1,22		4,01	3,61	3,05	2,22	1,65	2,01	0,46	0,66	0,55	0,66
Bt ₁	17,8	16,9	19,8	1,53	0,99		11,81	11,13	16,23	2,01	1,47	1,97	0,13	0,12	0,17	0,66
P4 - Argissolo Amarelo Distrófico abrupto, textura argilosa/muito argilosa, epieutrófico																
A ₁	12,9	5,7	22,6	0,97	0,84		6,22	3,22	17,3	4,08	1,84	4,81	0,57	0,28	0,66	0,56
A ₂	10,5	5,1	19,1	0,93	0,79		5,94	3,64	14,58	2,32	1,41	4,06	0,39	0,28	0,39	0,70
Bt ₁	19,9	13,8	27,2	1,24	0,94		9,87	10,19	18,24	3,8	1,17	3,96	0,11	0,22	0,39	0,74

Ki: relação $\% \text{SiO}_2 \times 1,7 / (\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0,64)$; Kr: Fe_2O_3 extraído pelo oxalato ácido de amônio; Si_d : SiO_2 extraído pelo oxalato ácido de amônio; Al_d : Al_2O_3 extraído pelo oxalato ácido de amônio; Fe_d : Fe_2O_3 extraído pelo ditonito citrato bicarbonato; Si_i : SiO_2 extraído pelo ditonito citrato bicarbonato; Fe_i : Fe_2O_3 extraído com ácido sulfúrico.

Tabela 5. Composição mineralógica das frações areia, silte e argila dos horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais dos perfis de terras pretas arqueológicas na região do Médio Rio Madeira (AM)

Horizonte	Areia	Silte	Argila
P1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média argilosa			
A ₁	Q	Q, An, Fd e Im	Ct e Gb
Bt ₁	Q e Fd	Q, An, Fd e Im	Ct e Gb
P2 - Argissolo Acinzentado Eutrófico antrópico, textura média-argilosa			
A ₁	Q e Fd	Q, An, Fd e Im	Ct e Gb
Bt	Q e Fd	Q, An, Fd e Im	Ct e Gb
P3 - Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média-argilosa			
A ₁	Q e Fd	Q, An, Fd e Im	Ct e Gb
Bt ₁	Q	Q, An, Fd e Im	Ct, Gb e M
P4 - Argissolo Amarelo Distrófico abrupto, textura argilosa/muito argilosa, epieutrófico			
A ₁	Q	Q, An, e Im	Ct e Gb
Bt ₁	Q	Q, An, Fd e Im	Ct e Gb

Q = quartzo; Gb = gibbsita; Ct = caulinita; An = anatásio, Im = ilmenita, Fd = fedspatos; M = mica.

Tabela 6. Teores do carbono total e frações das substâncias húmicas: fração ácido fúlvico (C-FAF), fração ácido húmico (C-FAH) e fração humina (C-FH) e a relação entre elas das terras pretas arqueológicas, na região do Médio Rio Madeira (AM)

Horizonte	Profundidade cm	C-FAF	C-FAH	C-FH	COT	C-FAH/C-FAF
P1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média argilosa						
A ₁	0-19	9,4	16,5	27,9	77,2	1,7
A ₂	19-37	5,8	15,0	12,4	62,4	2,5
Bt ₁	37-70	4,7	7,5	9,4	19,2	1,5
Bt ₂	70-100	2,5	4,6	8,0	18,0	1,8
P2 - Argissolo Acinzentado Eutrófico antrópico, textura média-argilosa						
A ₁	0-32	5,4	9,3	11,8	80,3	1,7
A ₂	32-50	3,2	8,6	8,6	45,9	2,6
BA	50-75	2,1	6,4	8,3	34,1	2,9
Bt	75-105+	1,0	2,1	7,4	19,4	1,9
P3 - Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média-argilosa						
A ₁	0-20	6,1	7,2	15,5	71,0	1,1
A ₂	20-40	3,2	5,0	11,8	56,7	1,5
BA	40-70	2,1	3,5	8,5	18,0	1,6
Bt ₁	70-110	1,8	2,1	7,1	5,3	1,1
Bt ₂	110-150+	1,0	0,7	6,2	4,5	0,6
P4 - Argissolo Amarelo Distrófico abrupto, textura argilosa/muito argilosa, epieutrófico						
A ₁	0-20	8,3	16,5	17,1	43,7	1,9
A ₂	20-42	6,9	13,3	13,8	44,0	1,9
AB	42-63	4,3	9,3	10,1	28,2	2,1
BA	63-108	3,2	5,0	8,0	18,4	1,5
Bt ₁	108-153	2,1	2,8	6,0	10,9	1,3
Bt ₂	153-170	0,7	2,1	4,8	8,0	2,9

seguindo a tendência do COT. Individualmente os teores das substâncias húmicas têm o seguinte comportamento: a) os maiores valores das três frações (C-FAH, C-FAF e C-FH) foram encontrados nos perfis P1 e P4 e b) os menores valores observados nos perfis P2 e P3, pois nestes também ocorreram menores valores de carbono orgânico total. Estes resultados estão acima dos avaliados por LIMA et al. (2002) e foram similares aos apresentados por CUNHA et al. (2007), que estudou solos antropogênicos da Amazônia.

De maneira geral, os valores da fração humina (C-FHUM) são elevados em solos antrópicos e não antrópicos, fato também observado neste estudo. A fração ácido fúlvico (C-FAF) foi aquela com menores valores em comparação às demais frações sendo, segundo MADARI et al. (2009), dominante em solos não antrópicos. Na fração ácido húmico (C-FAH), por sua vez, os valores foram expressivos. Segundo NOVOTNY et al. (2007) e CUNHA et al. (2009) as propriedades que determinam a função e as transformações dos ácidos húmicos são sua estabilidade

(baixa decomposição e lixiviação aumentando a persistência do carbono orgânico no solo), reatividade (formação de complexos organo-metálicos, cujas ligações formadas entre a fase mineral e orgânica do solo favorecem a acumulação de carbono orgânico) e suscetibilidade à mineralização no solo (quantidades das estruturas alifáticas hidrofílicas nas associações moleculares dessa fração).

Classificação dos Solos

Com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), os quatro perfis foram classificados até o 4.º nível categórico, sendo utilizado para o 5.º nível o agrupamento textural e o caráter epieutrófico (apenas para o perfil distrófico). No agrupamento textural, a textura média foi subdividida em média-arenosa, para separar os solos com teor de argila menor que 20% e média-argilosa para os solos com teor de argila igual ou maior que 20%.

Dessa maneira, os solos foram assim classificados: P1 - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média argilosa; P2 - Argissolo Acinzentado Eutrófico antrópico, textura média-argilosa; P3 - Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto antrópico, textura média-argilosa, e P4 - Argissolo Amarelo Distrófico abrupto antrópico, textura argilosa/muito argilosa, epieutrófico. As classes de solos encontradas são concordantes com as identificadas por LIMA (2001), que afirma que as TPAs taxonomicamente podem enquadrar-se como Argissolos.

4. CONCLUSÃO

As TPAs estão adequadamente enquadradas nos diversos níveis categóricos do SiBCS. Entretanto, neste trabalho, sugere-se a inclusão do subgrupo antrópico, a exemplo do subgrupo úmbrico, utilizado para a presença de a proeminente;

Na área estudada nas TPAs há semelhanças nas características químicas e na profundidade do horizonte A antrópico, sugerindo certa similaridade dos fatores antrópicos que promoveram sua formação;

Os horizontes antrópicos de todos os solos amostrados na região são de caráter eutrófico e teores altos a muito altos de fósforo disponível, sempre maiores que os dos horizontes subjacentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a concessão de bolsa de pesquisa ao segundo autor.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- COUCEIRO, P.R.C.; SANTANA, G.P. Caulinita em solo da Amazônia: caracterização e permutabilidade. *Acta Amazônica*, v.29, p.267-275, 1999.
- CPRM. Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens. Manaus, 2001. 93p. (Relatório Técnico)
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G.A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica*, v.37, p.91-98, 2007.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; CANELAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, V.M.; SANTOS, G.A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.85-93. 2009.
- DEMATTÊ, J.A.M.; ALOISI, R.R.; DEMATTE, J.L.I. Sequência Latossolo Amarelo - Podzólico Amarelo - Areias Quartzosas sob material da formação barreiras na região de Tucuruí, Estado do Pará. *Scientia Agricola*, v.51, p.345-356, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 2006. 354p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 247p.
- FRASER, J.A.; CLEMENT, C.R. Dark Earths and manioc cultivation in Central Amazonia: a window on pre-Columbian agricultural systems? *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi de Ciências Humanas*, v.3, p.175-194, 2008.
- GERMAN, L.A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. *Geoderma*, v.111, p.307-331, 2003.
- GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v.362, p.187-196, 2007.
- 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.
- HORBE, A.M.C.; COSTA, M.L. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas silicoferruginosas. *Acta Amazônica*, v.27, p.241-256, 1997.
- KÄMPF, 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.. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p.277-320.
- KERN, D.C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T.E.; FRAZÃO, F.J.L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E.G.; MYERS, T.P. Distribution of anthropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). *Amazonian dark Earths: origin, properties, management*. 1.ed. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.51-76.
- KERN, D.C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológicas na região de Oriximiná – PA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, p.219-225, 1989.
- LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GERMAN, L.A.; McCANN, J.; MARTINS, G.C.; MOREIRA, A. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J., KERN, D.C., GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). *Amazonian dark earths: origin, properties and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.105-124.
- LIMA, H.N.; SCHAEFER, C.E.R.; MELLO, J.W.V.; GILKES, R.J.; KER, J.C. Pedogenesis and pre-Columbian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. *Geoderma*, v.110, p.1-17, 2002.
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.59-68, 2006.
- MADARI, B. E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. (Ed.). *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: 2009. Cap. 13, p.172-188.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7., Washington, 1960. *Proceedings...* New York, 1960. p.317-327.
- MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. *Bragantia*, v.66, p.307-315, 2007.
- NOVOTNY, E.H.; DEAZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; HAYES, M.H.B. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian dark earth soils. *Environmental Science and Technology*, v.41, p.400-405, 2007.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5.ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; THIES, J.; SCHAFER, T.; LIANG, B.; KINYANGI, J.; NEVES, E.G.; PETERSEN, J.; LUIZÃO, F.J.; SKJEMSTAD, J. Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian Dark Earths. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.71, p.2285-2298, 2007.
- SOMBROEK, W.G.; RUIVO, M.L.; FEARNSIDE, P.M.; GLASER, B.; LEHMANN, J. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). *Amazonian Dark Earths: origin, properties, and management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.125-139.
- STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, v.41, p.1301-1310, 2009.
- STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian dark earths in Central Amazonia – preliminary results. In: GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed.). *Amazonian dark earths: explorations in space and time*. New York: Springer, 2004. p.195-212.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Ed.) *Methods of soil analysis: chemical methods*. Madison: Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, 1996. vol. 3, p.1011-1020. (SSSA. Book Series, 5)
- YOEMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. v.19, p.1467-1476, 1988.
- ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO SUL-SUDESTE DO AMAZONAS – ZEE, AM. Zoneamento Ecológico Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas. IPAAM, 2008. 53p.