

Comportamento do arsênio em perfis de solos do Sítio Ilha de Terra de Caxiuanã-Pará

(Arsenic behavior in soil Profiles on the Sítio Ilha de Terra from Caxiuanã-Pará)

Vanda Porpino Lemos

*Professora, Universidade Federal do Pará
Instituto de Ciências Exatas e Naturais
E-mail: vplemos@terra.com.br*

Marcondes Lima da Costa

*Professor, Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências. E-mail: mlc@ufpa.br*

Robson da Silva Gurjão

Universidade Federal do Pará. Instituto de Ciências Exatas e Naturais. E-mail: gurjao@terra.com.br

Dirse Clara Kern

*Pesquisadora, Museu Paraense Emílio Goeldi
E-mail: kern@museu_goeldi.br*

Cleide Samara Tavares Mescouto

*Universidade Federal do Pará
Instituto de Ciências Exatas e Naturais
E-mail: samaramescouto@yahoo.com.br*

Wivian Thais dos Santos de Lima

*Universidade Federal do Pará. Bolsista IC-CNPq.
E-mail: wivianthais@hotmail.com*

Taynara Lima Valentim

*Universidade Federal do Pará. Bolsista IC-CNPq
E-mail: taynara_valentim@yahoo.com.br*

Resumo

Concentrações de arsênio em perfis de solos com terra preta arqueológica (TPA) e solos de área adjacente (AD) do Sítio Ilha de Terra, Caxiuanã, no Estado do Pará, região Amazônica, podem dar informações sobre as atividades antropogênicas dos habitantes dessa região. Análises químicas e mineralógicas foram realizadas nas amostras desses perfis. Os dados obtidos mostram que as concentrações do Fe e As aumentam com a profundidade dos perfis de solos, enquanto que as concentrações de matéria orgânica (MO) decrescem; as concentrações mais elevadas de Fe e As são observadas no perfil AD. Esses resultados indicam interações entre Fe e As e sugerem que a MO nos solos promove a dissolução da goethita e lixiviação do Fe e As no perfil TPA.

Palavras-chave: Terra preta arqueológica, arsênio, Caxiuanã, Pará, região Amazônica.

Abstract

Arsenic concentrations in soil profiles with archaeological black earth (ABE) and surroundings (SA) from the Sítio Ilha de Terra, Caxiuanã, in the State of Pará, Amazon region, may provide information on anthropogenic activity in the Amazonian habitat. The samples of ABE and SA soil profiles were submitted to chemical and mineralogical analysis. The obtained data show that Fe and As concentrations increase with depth while organic matter (OM) decreases. The highest concentrations of Fe and As are observed in the SA profile. These results indicate interactions between Fe and As and suggest that OM promotes the dissolution of goethite and leaching of Fe and As in the ABE profile.

Keywords: Archaeological black earth, arsenic, Caxiuanã, State of Pará, Amazon region.

1. Introdução

A concentração do arsênio na crosta terrestre superior é igual a $2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Wedepohl, 1995) e ocorre na biosfera sob as formas elementar, inorgânica e orgânica. É o elemento principal em, aproximadamente, 200 espécies minerais, sendo os principais os arsenatos, sulfetos, sulfossais, arsenietos, arsenitos e óxidos e como elemento-traço em apatita e magnetita (Valberg et al., 1997) e em fosfatos do grupo da crandalita, descobertos em solos de alguns locais da Amazônia, como os da serra de Maicuru, onde as concentrações de As alcançam 2000 mg.kg^{-1} (Lemos & Costa, 1997).

Na região de Caxiuanã, o As está incluído em um dos grupos de elementos que vêm sendo investigados em solos com terra preta, a fim de se elucidarem hipóteses sobre o comportamento dos antigos habitantes dessa região (Kern, 1996; Costa & Kern, 1999; Gurjão, 2003; Carmo, 2008). A região é formada pela baía de Caxiuanã e por suas terras vizinhas, as quais são integrantes dos municípios de Portel e Melgaço. Nessa região, está situada a Floresta Nacional de Caxiuanã, administrada pelo IBAMA. Ainda na referida região, há uma grande área (aproximadamente 33.000 ha) cedida ao Museu Paraense Emílio Goeldi, denominada Estação Científica Ferreira Penna (Figura 1), que dá suporte de campo às mais diversas pesquisas realizadas na região.

A geologia da região de Caxiuanã é representada por sedimentos lateritizados da Formação Alter do Chão, que foram truncados no Terciário e posteriormente até o nível do horizonte caulinitico. A drenagem principal está representada pela baía de Caxiuanã e seu rio formador, o Anapu. Na área, predominam latossolos amarelos desenvolvidos sobre perfis lateríticos truncados e ocupando as partes mais elevadas do terreno, enquanto solos hidromórficos ocupam as porções mais baixas. As ocorrências de solos ricos em matéria orgânica, conhecidos como terra preta arqueológica (TPA), estão ocupando as áreas mais elevadas. Esses solos com TPA mostram evidências de ocupação humana pré-his-

tórica, como fragmentos cerâmicos microgranulares e elevadas concentrações de Ca, Mg, Zn, Mn, P e C (Kern, 1996). Os solos com essas características foram descobertos em outros locais bem drenados às margens de vários rios da Amazônia e foram denominados Terra Preta de Índio ou Terra Preta Amazônica (Smith, 1980).

No sítio Manduquinha, em Caxiuanã, foram observadas associações de elementos que deram as seguintes informações: 1) P, Mg, Ca, Cu, Cl, Mn, Sr e Zn - elementos adicionados ao solo; 2) Fe, Na, As, Cd, Co, Cr, F, Ga, Pb e V - concentrações modificadas pela atividade humana pré-histórica; 3) B, Hg, Nb, Sc e Y - elementos que não sofreram alterações significativas em decorrência da ocupação humana pré-histórica (Costa & Kern, 1999). As concentrações de arsênio obtidas, nesse sítio, estão compreen-

didadas nos intervalos $1,26\text{-}5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em perfis de solos com TPA e $3,0\text{-}4,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ em perfis de áreas adjacentes-AD (Kern, 1996). Em outros sítios arqueológicos da região de Caxiuanã, foram obtidas concentrações de As compreendidas entre $0,36\text{ a }5,66 \text{ mg.kg}^{-1}$ em perfis de solos em áreas com TPA e $0,84\text{ a }2,38 \text{ mg.kg}^{-1}$ em perfis de solos AD (Carmo, 2008).

No sentido de dar continuidade ao estudo sobre concentrações de elementos que podem ser modificadas pelas atividades humanas pré-históricas foi feito então, um estudo sobre a variação da concentração total de As em relação aos principais atributos químicos e mineralógicos em perfis de solos, um perfil com TPA e outro perfil em área adjacente (perfil AD) em um sítio arqueológico denominado Ilha de Terra na região de Caxiuanã, município de Melgaço-Pará (Figura 1).

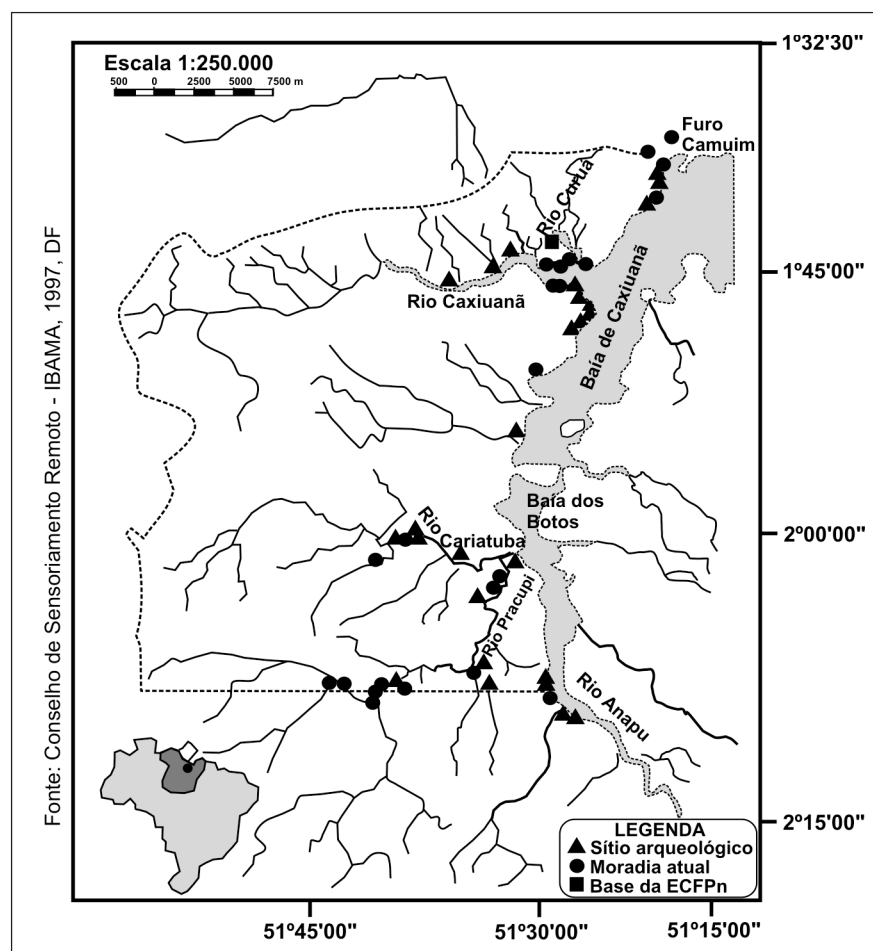


Figura 1 - Localização da região de Caxiuanã com indicações de vários sítios arqueológicos (Projeto RADAM Brasil, 1974; Kern, 1996).

2. Materiais e métodos

Às margens da baía de Caxiuanã, foram descobertos 27 sítios arqueológicos com TPA (Figura 1). O sítio Ilha de Terra está situado às margens do Furo Camuim, no município de Melgaço-Pará, sob as coordenadas geográficas 1°42' 30" S e 51° 31' 45" W. Nesse sítio, foram efetuadas amostragens em dois perfis de solos: perfil com terra preta arqueológica, denominado perfil TPA, e perfil em área adjacente, denominado perfil AD. Nesse trabalho, foram obedecidas as normas recomendadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para as técnicas de amostragens (Lemos & Santos, 1996), para a caracterização das cores dos horizontes dos perfis de solos com base nos códigos da carta de Munsell (2000) e para a classificação textural (Vieira, 1988).

A fração menor que 2 mm de diâmetro, após secagem ao ar, denominada terra fina seca ao ar (TFSA), foi utilizada nas análises mineralógica e químicas. A análise mineralógica foi efetuada por difração de raios X através de um difratômetro Philips, modelo PW 1050, com sistema de controle PW 3710, e anodo de cobre. O pH em água e em KCl, a matéria orgânica e os outros componentes dos solos foram determinados de acordo com os métodos da USDA (1996). O pH das amostras em água e em solução de KCl foi determinado através do método potenciométrico direto, utilizando razão sólido: líquido igual a 1 g: 25 mL e repouso por 30 minutos. A diferença entre os valores de pH, $pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$, dá uma estimativa da carga líquida do solo. A matéria orgânica foi determinada pelo método de oxidação-redução, usando-se o dicromato de potássio como oxidante da matéria orgânica. Os outros componentes químicos analisados foram: SiO₂ total e perda ao fogo (PF) por gravimetria; o Al₂O₃ total por complexometria com EDTA; o Fe₂O₃ total por espectrofotometria, sob a forma do complexo ortofenantrolina ferrosa, após redução dos íons Fe³⁺ (provenientes da goethita) e reação entre os íons Fe²⁺ e orto-fenantrolina em pH=3,76; o TiO₂ total por espectrofotometria como peróxido complexo; o As total, nas amostras, foi analisado por espectrometria de ab-

sorção atômica com sistema de geração de hidretos-HG-AAS (Dedina & Tsalev, 1995).

3. Resultados e discussão

O perfil TPA, com 161 cm de profundidade, é representado pelos horizontes A₁ (0-7 cm), A₂ (7-14 cm), A₃ (14-29 cm), AB (29-57 cm), BA (57-89 cm), B₁ (89-110 cm), B₂ (110-135 cm) e B₃ (135-161 cm). O horizonte A apresenta as colorações: preta (10YR 2/1), nos horizontes A₁ e A₂, e marrom-escuro (7,5 YR 3/2), em A₃. Os horizontes de transição AB e BA apresentam cores variando entre marrom-forte (7,5 YR 4/6) a marrom (7,5 YR 4/3). No horizonte B, as colorações variam entre marrom-amarelado (10 YR 5/4) a amarelo-amarronzado (10YR 6/6). O perfil AD, com 180 cm de profundidade, apresenta os horizontes A₁ (0-8 cm), AB (8-20 cm), BA (20-59 cm), B₁ (59-100 cm), B₂ (100-162 cm) e B₃ (162-180 cm). O horizonte A é marrom-acinzentado-escuro (10 YR 4/2) e os outros horizontes são marrom-amarelado-escuro (10 YR 4/4). Os resultados das análises granulométricas indicaram predominância da fração areia grossa sobre as demais frações em todos os horizontes dos perfis e os seguintes tipos de texturas: no perfil TPA, a textura é arenosa, nos horizontes A₁ a BA, e a textura é média, no horizonte B; no perfil AD, a textura é média em todo o perfil.

A mineralogia dos horizontes, nos dois perfis, é composta, principalmente, por quartzo, caulinita, goethita e anatásio. A caulinita e o quartzo são os minerais mais abundantes em ambos os perfis. Os teores de caulinita aumentam com a profundidade nos dois perfis, sendo mais pronunciados no perfil AD (Figuras 2 e 3). Goethita, matéria orgânica (MO) e anatásio apresentam concentrações semelhantes entre si e bem inferiores às concentrações da caulinita e do quartzo em todos os horizontes dos perfis. Entre os outros componentes indicados nas Figuras 2 e 3, é muito provável a ocorrência da hidroxiapatita ou outro fosfato de cálcio, representando pos-

síveis fragmentos de ossos, haja vista a descoberta de vestígios de cemitério-habituação na região de Caxiuanã (Costa & Kern, 1999).

Os resultados das análises químicas realizadas nos materiais dos perfis TPA e AD (Tabelas 1 e 2) indicam como principais componentes químicos os óxidos de Si, Al e Fe. Nos horizontes A do perfil TPA, encontram-se os teores mais altos de SiO₂ e matéria orgânica (MO), bem como os teores mais baixos de Al₂O₃ e Fe₂O₃, quando comparados com os horizontes A do perfil AD. A diferença entre os valores de pH_{KCl} e pH_{H₂O} é negativa nos dois perfis, indicando predomínio de cargas negativas nesses solos. As concentrações de arsênio, nos perfis TPA e AD, do Sítio Ilha de Terra e de outros sítios arqueológicos da região de Caxiuanã, como os de S. Raimundo e Conceição (Carmo, 2008) e o Manduquinha (Kern, 1996), encontram-se indicadas na Tabela 3. Comparando-se as concentrações de As entre os horizontes dos perfis TPA e AD do Sítio Ilha de Terra com as obtidas nos sítios S. Raimundo e Conceição (Carmo, 2008), verifica-se que há uma tendência para o aumento das concentrações de As dos horizontes A₁ para os horizontes B, nos perfis TPA e AD; observa-se que a concentração de As do horizonte A₁, no perfil AD de Ilha de Terra, encontra-se próxima à do A₁, no perfil AD, do sítio Manduquinha (Kern, 1996) e essas concentrações são superiores às indicadas para os horizontes A₁, nos perfis TPA desses dois sítios; não são observadas diferenças significativas entre as concentrações de As dos horizontes A₁, nos perfis TPA e AD dos sítios S. Raimundo e Conceição, e nem entre as concentrações dos horizontes AB e BA, nos perfis TPA e AD do sítio Manduquinha; verifica-se que há diferenças significativas entre as concentrações de As nos perfis TPA e AD correspondentes aos horizontes B₁ a B₃ do Sítio Ilha de terra; as concentrações mais elevadas de As, no Sítio Ilha de Terra, foram obtidas nos horizontes B₁ a B₃ no perfil AD, onde foram, também, obtidas as maiores concentrações de Fe₂O₃; no sítio S. Raimundo, a concen-

tração de As em B₂ é maior no perfil com TPA do que AD, mas, no Sítio Conceição, a concentração de As em B₂ AD é maior do que em B₂ TPA.

Avaliando-se a distribuição das concentrações de matéria orgânica (MO) em relação às do arsênio e dos outros componentes investigados nos dois perfis, verifica-se que a da MO (Figura 4) tende a ser inversa à do arsênio, nos dois perfis (Figura 5), e aproxima-se com as da caulinita e goethita, em ambos perfis (Figuras 2 e 3). A semelhança entre os comportamentos do arsênio e dos óxidos-hidróxidos de ferro, nos perfis, resalta-se na Figura 6. A semelhança entre estes dois componentes, nos perfis TPA e AD, do Sítio Ilha de Terra está de acordo com os resultados obtidos por Kern (1996), nos perfis de solos do sítio Manduquinha, onde foi verificado que o comportamento do arsênio apresenta semelhança com o dos elementos do grupo do ferro (Fe, Hg, Nb, Ga, V, Sc, Na, Cd, Co, Cr, e Pb) e que o arsênio deve se encontrar, especialmente, adsorvido na goethita. Os comportamentos semelhantes entre arsênio e ferro (Figuras 5-6) e os comportamentos inversos entre esses elementos e a matéria orgânica (Figura 4) indicam forte correlação positiva e significativa entre Fe e As. Já a correlação negativa desses elementos com a MO e demonstra que o As está intrinsecamente relacionado com a goethita. Esse mineral é conhecido como portador de metais como Al, Mn, Ni, Cu, Cd, Zn, Cr, etc., substituindo Fe, e com grande potencial para adsorver As contido em solos contaminados com esse metal e cujo efeito é de longa duração (Hartley et al., 2004).

A capacidade de adsorção de As por óxidos-hidróxidos de ferro foi avaliada, experimentalmente, por Howell (1993). Tal avaliação aponta a faixa de pH=4-8 como o melhor intervalo para a adsorção do arsênio nesses minerais. Nessa faixa de variação, estão os solos aqui estudados. Em outros trabalhos experimentais, foi avaliada a adsorção do As em distintos tipos de minerais na mesma faixa de pH indicada anteriormente, sendo verificado que a adsorção de-

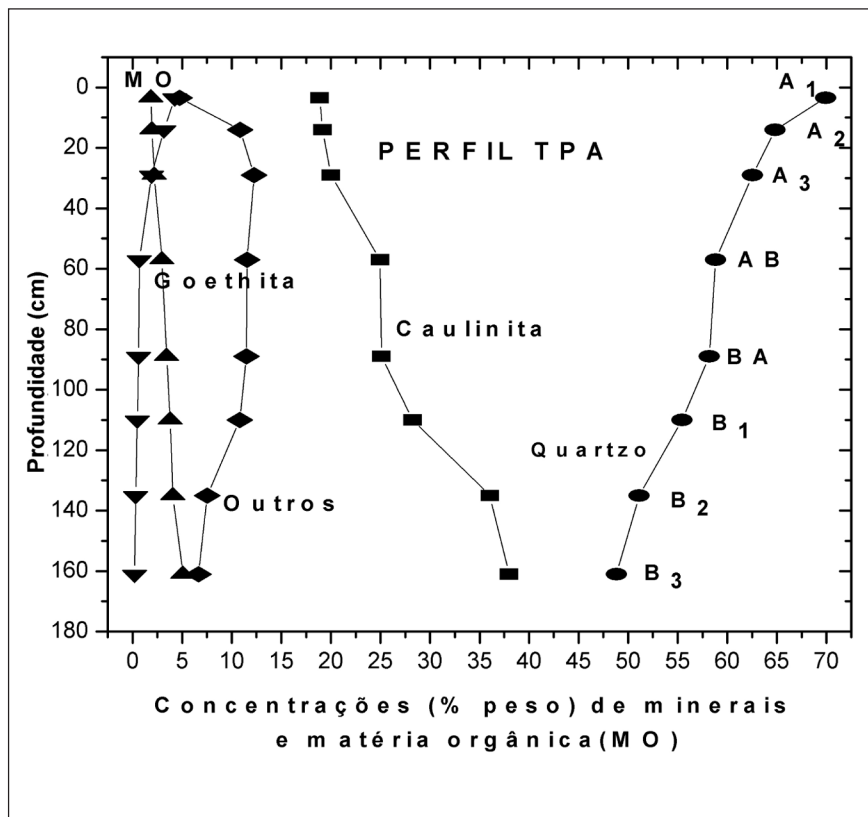


Figura 2 - Concentração dos minerais e matéria orgânica (MO) no perfil de solo TPA.

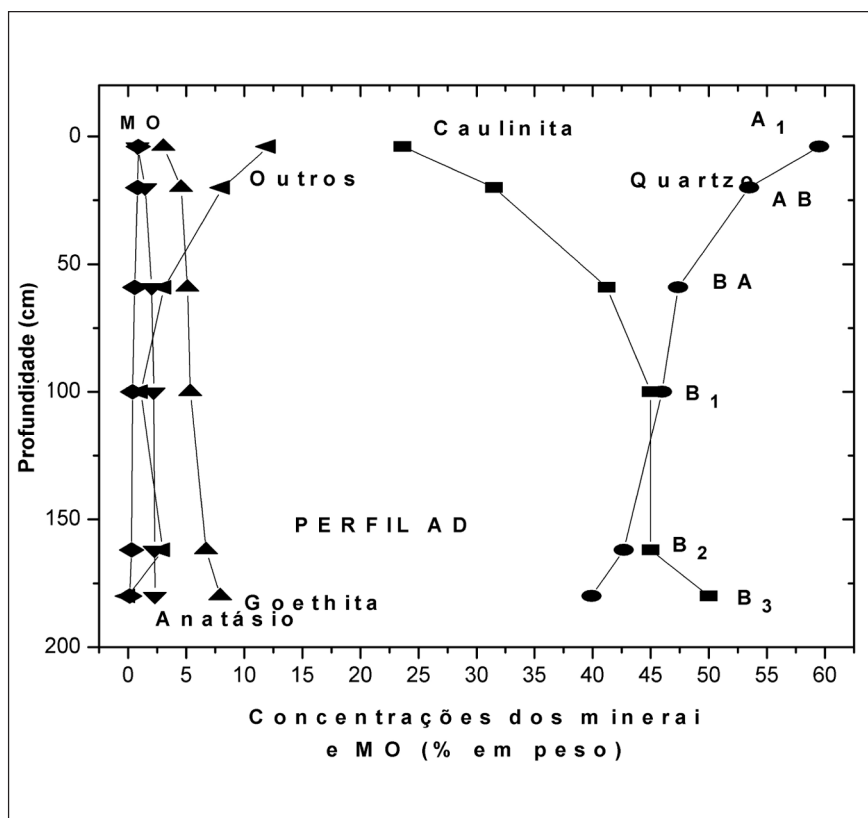


Figura 3 - Concentrações dos minerais e matéria orgânica (MO) no perfil de solo AD.

Tabela 1 - Componentes principais (% em peso) e valores de pH do perfil de solo TPA (fração menor que 2mm de diâmetro).

Hor.	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PF	MO	pH _{água}	pH _{KCl}	ΔpH
A ₁	1,85	7,38	78,36	0,55	4,78	4,28	4,50	3,83	-0,67
A ₂	1,96	7,57	73,71	0,77	3,70	3,16	4,90	3,89	-1,01
A ₃	2,21	7,91	71,85	0,99	3,60	1,93	5,11	4,18	-0,93
AB	2,98	9,86	70,43	1,02	1,50	0,68	5,26	4,38	-0,88
BA	3,46	9,88	69,84	1,16	1,44	0,62	5,26	4,36	-0,90
B ₁	3,81	11,16	68,57	1,20	1,40	0,50	5,36	4,61	-0,75
B ₂	4,03	14,25	67,88	1,24	1,00	0,31	5,59	4,69	-0,90
B ₃	5,08	15,02	66,50	1,24	1,00	0,20	5,87	4,91	-0,96

Tabela 2 - Componentes principais (% em peso) e valores de pH do perfil de solo AD (fração menor que 2 mm de diâmetro).

Hor.	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PF	MO	pH _{água}	pH _{KCl}	ΔpH
A ₁	3,05	9,34	70,50	0,82	1,38	0,87	4,06	3,60	-0,46
AB	4,58	12,46	68,13	1,46	1,82	0,81	4,13	3,73	-0,40
BA	5,10	15,28	65,92	2,05	2,00	0,58	4,22	4,00	-0,22
B ₁	5,36	16,29	65,13	2,21	3,02	0,37	4,24	4,02	-0,22
B ₂	6,72	17,81	63,64	2,28	2,60	0,31	4,46	4,05	-0,41
B ₃	7,93	19,72	63,20	2,31	3,45	0,13	4,58	4,05	-0,53

Tabela 3 - Concentrações de As (mg.kg⁻¹) em perfis de solos TPA e AD (fração menor que 2 mm de diâmetro) da região de Caxiuana.

Hor.	Perfis de solos TPA				Perfis de Solos AD			
	(a)	(b ₁)	(b ₂)	(c)	(a)	(b ₁)	(b ₂)	(c)
A ₁	2100	1580	1170	1250	3370	1260	1400	3000
A ₂	2380	2200	1200	3000	-	-	-	3000
A ₃	2460	-	-	-	-	-	-	-
AB	2630	5660	360	4000	3560	930	840	4000

(a) dados obtidos nesse estudo.

(b₁) e (b₂) dados obtidos para os Sítios S.Raimundo e Conceição, respectivamente (Carmo, 2008).

(c) Dados obtidos para o Sítio Manduquinha (Kern,1996).

crece da seguinte forma caulinita > minerais de ferro > quartzo. Também foi verificado que as espécies químicas solúveis e estáveis do As, em ambiente redutor, são as provenientes do H_3AsO_3 ($H_2AsO_3^-$ e $HAsO_3^{2-}$) e, em ambiente oxidante é a espécie $H_2AsO_4^-$ (Bowell, 1994). Observando-se os valores de pH, nos perfis de solo TPA e AD (Tabelas 1 e 2), e com base na diferença de pH, referida anteriormente, verifica-se que o pH dos solos encontra-se no intervalo indicado anteriormente e apresentam cargas negativas, não sendo favoráveis para a adsorção de espécies aniônicas do arsênio. No entanto, os solos atuais se desenvolveram sobre antigos perfis lateríticos, formados, no topo, por crostas de goethita e hematita, assim sendo as goethitas encontradas nos atuais perfis de solos são herdadas e estão sendo alteradas, parcialmente, pela pedogênese de formação de Latossolos e de TPA.

4. Conclusões

Os aspectos texturais e as principais características químicas e mineralógicas dos perfis de solos TPA e AD do Sítio Ilha de Terra enquadram-se nos dados obtidos em outros sítios da região de Caxiuana e, ao mesmo tempo, mostram afinidades entre si, pois os solos TPA se desenvolveram sobre os latossolos amarelos preexistentes. Por sua vez, estes derivaram da alteração de antigos perfis lateríticos. Os horizontes B dos perfis TPA e AD reforçam, ainda mais, a semelhança e a herança entre os dois perfis, pois não apresentaram variações significativas em relação aos atributos químicos e mineralógicos investigados. Portanto, antes da ocupação humana, os solos desses perfis deveriam constituir uma única unidade de solo. Estudos sobre os comportamentos de elementos como o Fe, As, Hg e outros elementos referidos anteriormente devem elucidar a herança geoquímica entre unidades de solos.

O comportamento do As foi avaliado aqui a partir da distribuição de suas concentrações em perfis de solos TPA

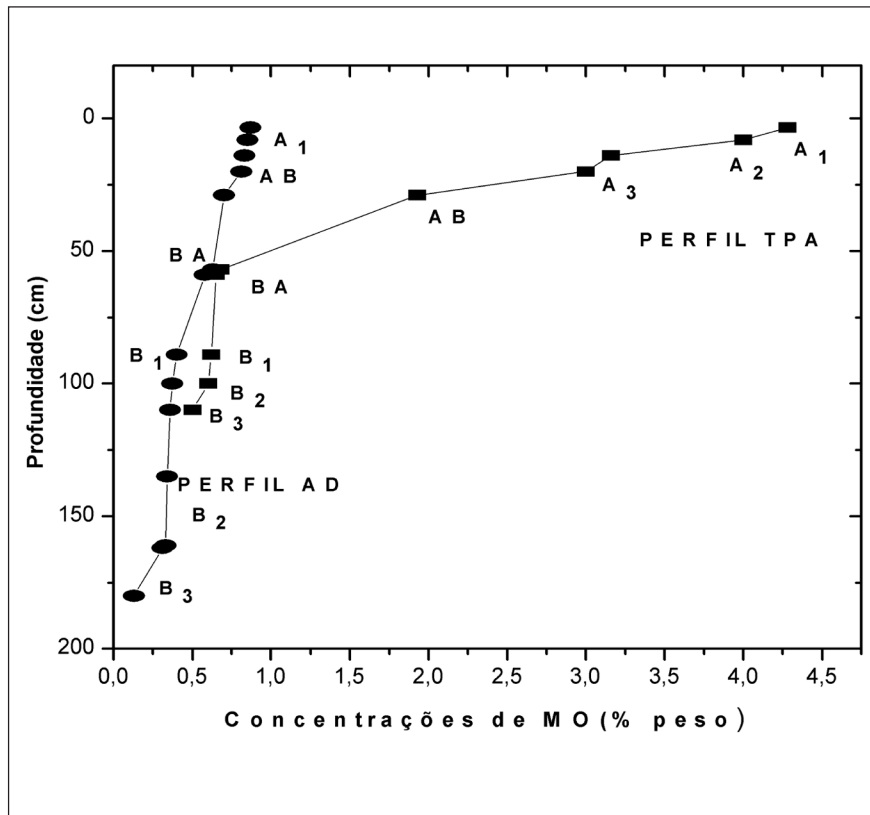


Figura 4 - Concentração da matéria orgânica (MO) nos perfis de solos TPA e AD.

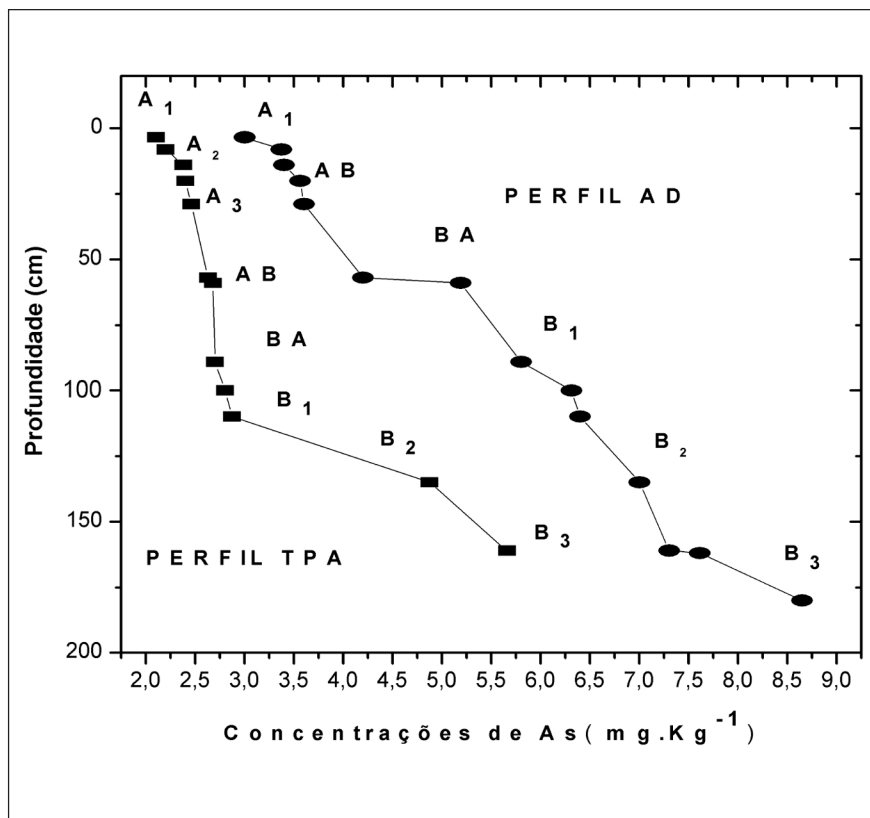


Figura 5 - Concentração do As nos perfis de solos TPA e AD.

e AD. Foi observado, que em toda a extensão do perfil AD, as concentrações de As são maiores do que as do perfil TPA. A concentração de As, no horizonte A₁, do perfil AD do Sítio Manduquina (Kern, 1996) é, também, maior do que a do TPA. As concentrações do As aumentam com a profundidade, portanto são mais elevadas nos horizontes B de ambos os perfis. Foi indicado, através das semelhanças entre os comportamentos do arsênio e ferro, ao longo dos perfis, que há forte correlação positiva entre As e goethita, único mineral de ferro presente. Os óxidos-hidróxidos de ferro mostram capacidade de absorver vários metais, bem como de fixar por adsorção o arsênio (Bowell, 1993; 1994).

A menor concentração de As no perfil TPA mostra que os óxidos-hidróxidos de ferro aí contidos, antes representados pelo antigo latossolo amarelo, do hoje perfil AD, foram, parcialmente decompostos, pela ação da matéria orgânica, acumulada em quantidade relativamente superior ao perfil AD. A matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) age de forma efetiva sobre os óxidos-hidróxidos de ferro, decompondo-os, reduzindo o Fe³⁺ para Fe²⁺ e originando complexos solúveis, os quais são lixiviados pelas águas superficiais dos solos (Aplin, 2000), o que vem indicar a adição desse elemento nos solos. Portanto o assentamento humano pré-histórico sobre solos tipo latossolo amarelo, como aqueles da AD, empregando e descartando grande quantidade de biomassa, que, transformada em húmus (ácidos húmicos e fúlvicos) pela pedogênese tropical, promoveu intensa decomposição dos óxidos-hidróxidos de ferro e, como consequência, liberação e lixiviação do Fe e do As contido nos mesmos. De forma indireta, a ocupação humana pré-histórica contribuiu para diminuição das concentrações de As nos solos TPA de Caxiuanã, muito abundantes, e, certamente, para o aumento de As e Fe nas águas subterrâneas e nas drenagens fluviais e lacustres da região. Enriquecimentos de arsênio em goethitas e lepidocrocitas reprecipitadas em solos ferruginosos são comuns e importantes para avaliação de impactos ambientais.

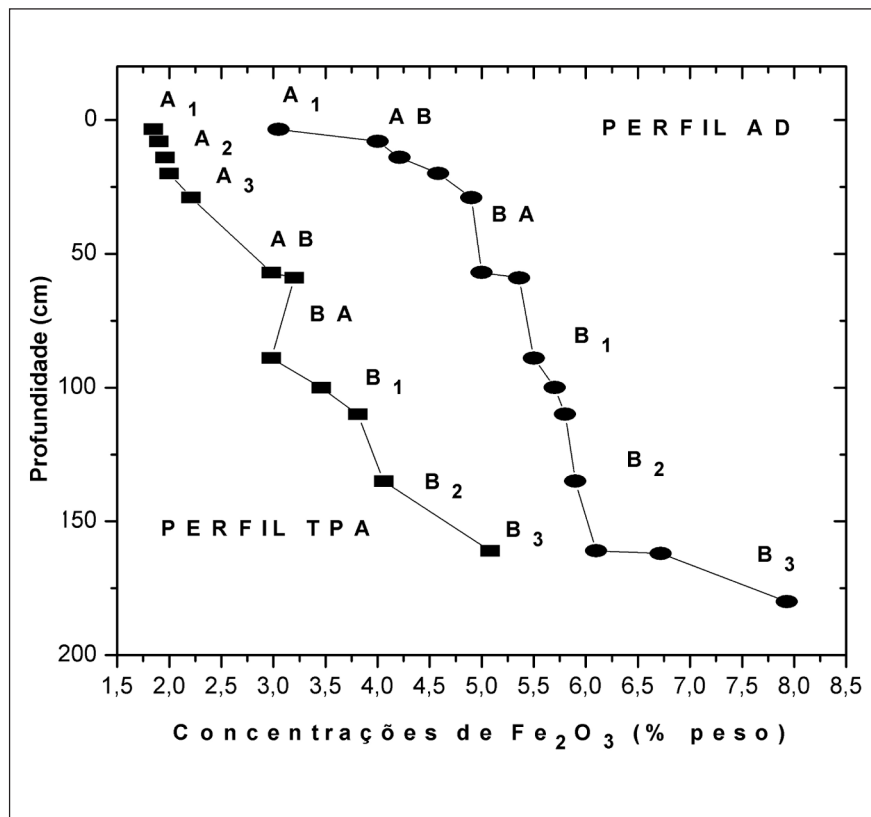


Figura 6 - Concentração do Fe₂O₃ nos perfis TPA e AD.

5. Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro e ao Museu Paraense Emílio Goeldi pelo apoio nos trabalhos de amostragens no Sítio Ilha Terra em Caxiuanã-Pará.

6. Referências bibliográficas

- APLIN, A.C. Mineralogy of modern marine sediments: a geochemical framework. In: VAUGHAN, D. V., WOGELIUS, R.A. (eds). *Environmental Mineralogy. European Mineralogical Union*, Budapest, p.125-172, 2000.
- BOWELL, R. J. Sorption of arsenic by iron-oxides and hydroxides in soils. *Applied Geochem.*, v.9, p.279-286, 1994.
- BOWELL, R.J. Mineralogy and geochemistry of tropical rain forest soils: Ashanti, Ghana. *Chemical Geology*, v. 106, p. 345-348, 1993.
- BOYLE, R.W., JONASSON, I.R. The geochemistry of As and its use as an indicator element in geochemical prospecting. *Journal of Geochemical Exploration*, v.2, p. 251-296, 1973.
- CARMO, M.S. *Transferência química na cadeia solo-mandioca-cabelo humano na região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância ambiental*. Belém: Instituto de Geociências, UFPA, 2008. (Tese de Doutorado).
- COSTA, M.L., KERN, D. C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, v.66, p.369-385, 1999.
- DEDINA, J., TSALEV, D.L. *Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry*. Orchester: John Wiley & Sons, 1995. p.183-245.
- GURJÃO, R.S. *Comportamento do Hg e As em solos com terra preta arqueológica no Sítio Ilha de Terra, região de Caxiuanã, Município de Melgaço-Pará*. Belém: Faculdade de Química, UFPA, 2003. 89p. (Tese de Mestrado).
- HARTLEY, W., EDWARDS, R., LEPP, N.W. Arsenic and heavy metal mobility in iron oxide-amended contaminated soils as evaluated by short-and long-term leaching tests. *Environmental Pollution*, v. 131, p.495-504, 2004.

- KERN, D. C. *Geoquímica e pedogeoquímica de Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-Pará)*. Belém, UFFa, 1996. 119p. (Tese de Doutorado).
- LEMOS, A., SANTOS, P. B. *Manual de descrição e coleta de solos em campo*. Campinas-SP: SBCS/SNLCS, 1996. 46p.
- LEMOS, V.P., COSTA, M.L. Evolução mineralógica e geoquímica de lateritos sobre rochas do complexo de Maicuru. *Geociências*, v.15, p.87-97, 1997.
- MUNSELL COLLORS COMPANY. *Munsell soil colors charts*. Baltimore: 2000.
- PROJETO RADAM BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Folha SA22 Belém*. Rio de Janeiro, 1974.
- SMITH, N. J. H. Anthrosols an human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 70, n.4, p. 553-566, 1980.
- USDA. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, 42, Version 3.0, Washington, USDA of Communications, 1996.
- VALBERG, P.A., BECK, B.D., BOWERS, T.S., KEATING, J.L., BERGSTROM, P.D., BOARDMANT, P.D. Issue en setting health based cleanup levels for arsenic in soil. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 26, p. 2210-229, 1997.
- VIEIRA, L.S. *Manual da Ciência do Solo com ênfase aos solos tropicais*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1988. 464p.
- WEDEPOHL, K.H. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.59, n.7, p.1217-1232, 1995.

Artigo recebido em 16/05/2008 e aprovado em 19/03/2009.

Descubra as muitas informações da: **Geologia, Mineração, Metalurgia & Materiais e Engenharia Civil.**



Assine e publique na Rem

Conheça o nosso site: **www.rem.com.br**