



## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Na Tabela 01 observa-se que as Estações 2, 3 e 4, localizadas na área mineralizada, apresentam as maiores concentrações de Ba em todas as frações, além dos maiores teores desse elemento na fração trocável, prontamente disponível para absorção vegetal.

Na Figura 02 observa-se em todas as espécies um incremento no teor de Ba, nas estações localizadas onde há mineralização (Estações 1-5) e destaque na *Rhizophora mangle* para a Estação 13, localizada na zona urbana, próximo a embarque do mineral para comercialização. A *Avicennia schaueriana* apresenta concentrações variando de de 3,5 a 47 mg/g nas estações localizadas nas ilhas.

Os resultados obtidos permitiram mostrar que o Ba é assimilado pelas espécies estudadas proporcionalmente a sua concentração no sedimento, sendo a fração trocável responsável pela disponibilidade desse elemento.

Elevadas concentrações de Ba nas estações localizadas nas ilhas, para as folhas das espécies amostradas, notadamente a *Avicennia schaueriana*, indica que a vegetação nesse ambiente constitui-se em um provável bioindicador para esse elemento.

Agradecimentos: Esta pesquisa conta com apoio dos Laboratórios do Departamento de Geoquímica/Laboratório de Estudos Ambientais - Curso de Pós-Graduação em Geoquímica e Meio Ambiente/Instituto de Geociências e Instituto de Química da UFBA. Apoio financeiro da CAPES e do CADCT/BA. Agradecimentos especiais a Bióloga Bárbara Rosemar N. de Araújo, que auxiliou enormemente nos estudos vegetais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, E.G. (1984) Gênese e Controle do Depósito de Barita de Camamu-BA. Dissertação de Mestrado, UNB, 131p.  
OLIVEIRA, O.M.C; QUEIROZ, A.F. de S.; DAMASCENO, R.N.; FONTES, V.M.S.; FREITAS, U.R. (1998) Extração Sequencial de Metais Pesados em Sedimentos de Manguezais da Baía de Camamu-BA.. XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte-M.G, Anais, pg. 240.  
WHO (1990) Barium. Environmental Health Criteria 107. WHO/UNEP, Geneva, p. 148. In: MONACI, F. & BARGAGLI, R. (1997) Barium and other trace metals as indicators of vehicle emissions. Water, Air and Soil Pollution, 100: 89-98.

COLEÇÃO PTC  
Devolver no Balcão de Empréstimo

## O PAPEL DOS SOLOS AMAZÔNICOS COMO RESERVATÓRIOS DE MERCÚRIO

S.M.B. OLIVEIRA<sup>1</sup>; A. J. MELFI<sup>2</sup>; A.H. FOSTIER<sup>3</sup>; M. C. FORTI<sup>3</sup>;  
D.I.T. FAVERO<sup>4</sup>; R. BOULET<sup>1</sup>

1. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo CP 11348, São Paulo, SP, CEP 05422-970;  
2. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP Av. Pádua Dias, 11. CEP 13418-900, Piracicaba, SP;  
3. NUPEGEL-USP Campus USP Piracicaba Rua do Aviário 44. CEP 13418-900, Piracicaba, SP;  
4. IPEN-CNEN/SP CP 11049, São Paulo, SP.

### INTRODUÇÃO

A contaminação dos ecossistemas amazônicos por Hg vem sendo evidenciada pelos altos teores desse elemento em peixes e no sangue das populações que deles se alimentam, tanto em regiões de garimpo, onde o Hg é diretamente introduzido nos ecossistemas, como em regiões muito afastadas dessas fontes (Lacerda *et al.*, 1991). Esse fato coloca a questão da contribuição relativa da mineração e de outras fontes naturais e antropogênicas para a poluição ambiental por Hg na Amazônia.

Com o objetivo de contribuir para o esclarecimento dessa questão, foram estudados, no estado do Amapá, perfis de solo num ecossistema de referência, não afetado diretamente pela atividade garimpeira (Serra do Navio), e comparados com perfis desenvolvidos dentro de um ambiente diretamente afetado pela exploração do Au (Tartarugalzinho). Na área da Serra do Navio, o efeito da evolução lateral da cobertura pedológica no comportamento do Hg foi também avaliado.

### AMOSTRAGEM E TÉCNICAS ANALÍTICAS

Na Serra do Navio, selecionou-se a bacia de Igarapé Pedra Preta, localizada no vale do rio Amapari, onde foram amostrados 4 perfis de solo. O perfis SN10 e SN 5 estão localizados na vertente noroeste do Igarapé, estando o primeiro em posição mais alta (100m de altitude), e o segundo a meia encosta (30m de altitude), separados por uma distância horizontal de cerca de 300m; os perfis SN 100 e SN102 situam-se na vertente sul, em posições de topo (altitude de 30m) e base (altitude de 10m), respectivamente afastados por cerca de 300m. Os solos dessa região são tipicamente ferralíticos, praticamente sem acumulação de matéria orgânica na superfície. Em posições mais altas das vertentes, o perfil de solo incide por uma cobertura argilosa (Cob.Arg.), passa pelo horizonte rico em nódulos ferruginosos (H.Nod.), chegando a um nível encouraçado a cerca de 1m de profundidade, a partir do qual a amostragem não prosseguir. Nos perfis situados nas posições inferiores...



das encostas, a amostragem pôde prosseguir até cerca de 4 m de profundidade, atravessando uma cobertura argilosa, passando para um horizonte rico em nódulos ferruginosos, uma zona de transição (Z.Trans.) e um horizonte de argila mosqueada (H.Mosq.).

Nas imediações da vila de Tartarugalzinho, foi amostrado um perfil de solo dentro do Garimpo Fofoca. É um perfil de cerca de 5,5m de profundidade, capeado por um nível de aproximadamente 1 m de cobertura argilosa homogênea. Abaixo deste, até 4 m, segue-se um nível de argila mosqueada, cortado por uma *stone-line* quartzosa. A partir de 4 m, aflora saprolito derivado de rocha granítica (Saprolito).

Amostras de cerca de 1 kg foram coletadas em sacos plásticos e imediatamente congeladas. No laboratório, foram secas em estufa a 40°C, e peneiradas a < 2mm para remoção de restos vegetais. Após quarteamento, foram moídas a < 0,062mm e encaminhadas para análise química e mineralógica. Fragmentos de amostras indeformadas foram submetidos à determinação da densidade aparente. A análise mineralógica foi conduzida por difratometria de raios X, utilizando um difratômetro Philips com tubo de Cu, operando entre 3 e 80°, com velocidade de 0,02°/seg. O Hg foi analisado por espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio, após digestão em meio ácido e oxidante. O Fe foi analisado por ativação neutrônica.

#### A ACUMULAÇÃO DO Hg NOS SOLOS

Para os perfis SN5 e SN102 de Serra do Navio (Tab.1), os teores de Hg são mais elevados na cobertura superficial, da ordem de 300  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , declinando com a profundidade. A partir de 300cm em SN5 e 170cm em SN 102, nos horizontes de argila mosqueada, os valores caem a menos de 100  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , o que representaria o *background* para os solos não poluídos da Amazônia (Pfeiffer *et al.*, 1993). Nos horizontes nodulares desses perfis, os nódulos são caracterizados pela presença de hematita, e por apresentarem teores superiores de Fe e Hg em relação à matriz de solo pulverulento na qual estão envolvidos. Nos dois perfis mais rasos (Tab.1), SN 10 e SN 100, a amostragem termina ainda no horizonte nodular e, confirmando o padrão acima estabelecido, os teores de Hg são elevados, principalmente nos nódulos.

No perfil do Tartarugalzinho (Tab. 2), acima do nível da *stone-line* rica em quartzo, os teores de Hg são mais elevados, superiores a 100  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Abaixo, decrescem até atingirem 30  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  no horizonte de rocha alterada. Nesse perfil, a acumulação localizada de ferro não chega a formar nódulos, mas individualiza-se como manchas avermelhadas ricas em hematita, como é o caso da amostra A2, onde são encontrados os teores mais altos de Hg.

Da análise dos dados, fica claro que existe uma tendência de maior concentração de Hg nos horizontes mais superficiais dos solos estudados. Porém, ao contrário do que acontece nos solos de regiões temperadas e frias (Adriano, 1986), aqui o Hg não está ligado a uma maior concentração de matéria orgânica, que é muito escassa mesmo nos níveis mais superficiais dos solos. As maiores concentrações de Hg estão relacionadas às altas concentrações de Fe, principalmente nos nódulos ferruginosos.

Cálculos de balanço geoquímico foram efetuados para os dois perfis mais profundos da Serra do Navio, e para o perfil do Tartarugalzinho. Segundo o raciocínio isoFe utilizado nesses cálculos, a porcentagem de Hg correspondente ao enriquecimento absoluto pode ser interpretada como derivada de aporte externo por via atmosférica (Hg antropogênico). O complemento dessa porcentagem corresponde à parcela de Hg dos solos proveniente das rochas (Hg litogênico), que se acumula simplesmente porque acompanha o comportamento de Fe, que também se acumula durante a pedogênese laterítica. Os resultados mostraram que para os horizontes superiores dos solos de SN5 e SN102 a contribuição antropogênica é significativa (70 a 90% do Hg total) e que vai se tornando gradualmente menor com a profundidade, refletindo uma redistribuição vertical do Hg antropogênico depositado na superfície.

Comparando os teores de Hg em perfis de solo de região de intensa atividade garimpeira com aqueles encontrados nos solos da Serra do Navio, não se constata grande diferença, o que confirma a idéia de que o Hg provém principalmente da deposição atmosférica a longa distância, fenômeno razoavelmente uniforme em escala regional.

#### A LIBERAÇÃO DO Hg DOS SOLOS

Nas vertentes estudadas na Serra do Navio, nota-se uma evolução dos perfis de solo de montante para jusante. O horizonte encouraçado presente nos perfis dos topos encontra-se degradado para um horizonte nodular nas encostas. Com a finalidade de investigar o comportamento do Hg com a degradação dos solos, foram calculadas as cargas de Hg por unidade de área para os 4 perfis estudados na Serra do Navio (Tab. 3).

Os valores de Hg encontrados são da ordem de grandeza daqueles indicados por Roulet *et al.* 1997 para os primeiros 20 cm dos solos ferralíticos argilosos do Tapajós (10 000 a 30 000  $\mu\text{g/m}^2$ ) e da Guiana Francesa (60 000 a 70 000  $\mu\text{g/m}^2$ ), o que representa 10 vezes mais que os observados nas camadas superiores dos solos temperados e nórdicos. Nos perfis da vertente sul, SN100 e SN102, parece evidente uma perda de Hg na posição da base da vertente, com relação a seu topo, tanto considerando o intervalo de 0-20cm, quanto o de 0-70 cm. A mesma tendência, embora atenuada, pode ser observada para os perfis da vertente norte (SN10 e SN 5).

A perda de carga de Hg nos perfis de solo da base das vertentes pode estar relacionada ao processo natural de degradação das couças desencadeado por mudanças climáticas (Tardy, 1991). O desmantelamento do horizonte encouraçado é mais intenso nas encostas, e se dá por dissolução da hematita e goethita em meio levemente redutor. Subsistem apenas alguns nódulos ferruginosos numa matriz pulverulenta argilo-ferruginosa, como são os horizontes nodulares dos perfis SN5 e SN 102. Nessa situação em que o Fe é posto em solução, o Hg também é liberado, podendo atingir os ecossistemas aquáticos.



### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos lateríticos constituem reservatório natural para o Hg porque o acumularam, principalmente nas concreções ferruginosas, durante a pedogênese ferralítica, e porque, atualmente, servem de filtro para as águas que os atravessam, retendo esse elemento e retardando sua liberação para os ecossistemas aquáticos. O balanço geoquímico dos perfis de solo permitiu distinguir as parcelas de Hg correspondentes a cada um destes processos, e indicou que grande parte do Hg encontrado atualmente nos níveis superiores do solo tem origem externa ao perfil.

Os teores de Hg na superfície dos solos da Amazônia, geralmente superiores a 100  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , portanto bem acima dos valores considerados normais para solos não contaminados, representariam um *background* regional anômalo, resultado de múltiplos focos de contaminação por via atmosférica, atuantes por um longo período de tempo. Apenas em pontos muito localizados, onde se queima o amálgama, como nos arredores das lojas compradoras de ouro, teores

extremamente elevados, superiores a 1000  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  de Hg, podem ser encontrados nos solos (Rodrigues F<sup>o</sup> & Maddock, 1997).

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C. (1986) Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York Inc., 533p.
- LACERDA, L.D.; SALOMONS, W.; PFEIFFER, W.C.; BASTOS, W.R. (1991) Mercury distribution in sediment profiles from lakes of the high Pantanal, Mato Grosso State, Brazil. *Biogeochemistry*, **14**: 91-97.
- PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; SALOMONS, W.; MALM, O. (1993) Environment fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. *Environ. Rev.*, **7**:26-37.
- RODRIGUES F<sup>o</sup>, S. & MADDOCK, J.E.L. (1997) Mercury pollution in two gold mining areas of the Brazilian Amazon. *J. Geoch. Expl.*, **58**:231-240.
- TARDY, Y. (1993) *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. Masson, Paris, 459p.

Tabela 1. Composição mineralógica e teores de Hg e Fe nos solos de Serra do Navio, (n=nodulos; m=matriz), (+) traço, + presente, ++ moderado, +++ abundante

	Descrição	Quartzo	Goeth.	Hemat.	Caolin.	Mica	Hg $\mu\text{g.kg}^{-1}$	Fe $\text{g.kg}^{-1}$
<b>SN102(cm)</b>								
0-20	Cob. Argil.	+++	+	-	+	(+)	203	71
50-60 (n)	H.Nod.	+++	++	+	++	(+)	203	364
80-90 (m)	H.Nod.	+++	++	-	-	(+)	139	111
80-90 (n)	H.Nod.	+++	++	+	-	-	152	272
120-130	Z. Trans.	+	+	-	-	(+)	139	89
170-180	H. Mosq.	+	+	-	-	-	94	39
240-250	H. Mosq.	+	+	(+)	-	-	79	
360-370	H. Mosq.	+	+	-	-	-	29	189
<b>SN100(cm)</b>								
0-5	Cob. Argil.	+++	++	-	++	-	373	80
30-35	H.Nod.	+++	++	-	+++	-	311	81
65-70	H.Nod.	(+)	++	+	+++	(+)	634	142
<b>SN5 (cm)</b>								
0-20	Cob. Argil.	+++	++	+	++	(+)	260	230
40-50 (m)	H.Nod.	+++	++	+	+	-	312	175
40-50 (n)	H.Nod.	(+)	+++	++	++	(+)	373	345
140-150(m)	H.Nod.	+++	++	+	++	-	287	144
140-150 (n)	H.Nod.	(+)	+++	++	++	-	843	279
200-250	Z. Trans.	+++	++	+	+	(+)	306	180
250-300	Z. Trans.						325	155
300-350	H. Mosq.	(+)	++	-	+++	-	79	115
350-400	H. Mosq.	+++	++	(+)	+	(+)	78	207
400-450	H. Mosq.	++	++	++	+++	-	81	250
<b>SN10(cm)</b>								
0-20	Cob. Argil.	+++	+	-	++	-	197	82
60-70 (m)	H.Nod.						210	189
60-70 (n)	H.Nod.	++	++	+	+++	-	270	343
110-120 (m)	H.Nod.	(+)	++	+	+++	+	224	233
110-120 (n)	H.Nod.	(+)	+++	+	++	(+)	316	320



Tabela 2. Composição mineralógica e teores de Hg e Fe nos solos de Tartarugalzinho (n=nodulos; m=matriz)(+) traço, + presente, ++ moderado, +++ abundante

Cm	Descrição	Quartzo	Goeth.	Hemat.	Caolin.	Mica	Hg $\mu\text{g.kg}^{-1}$	Fe $\text{g.kg}^{-1}$
0-100	Cob. Argil.	+++	(+)	-	(+)	-	173	33
100-200	H. Mosq.	+++	(+)	+	(+)	(+)	212	124
200-300	H. Mosq.	+++	(+)	-	+	(+)	134	50
300-380	Stone Line	+++	(+)	(+)	(+)	(+)	100	26
380-400	H. Mosq.	+++	+	+	+	++	100	136
400-450	Saprolito	+++	-	-	+	+	68	10
450-550	Saprolito	++	-	-	+	+++	39	19

Tabela 3. Cargas de Hg nos solos de Serra do Navio

	0-20cm $\mu\text{g.m}^{-2}$	0-70cm $\mu\text{g.m}^{-2}$
SN 100 (topo)	73 200	272 880
SN 102 (base)	36 000	118 800
SN10 (topo)	49 200	217 440
SN5 (base)	44 880	182 160

## SUPORTES MINERALÓGICOS E MECANISMOS DE DISPERSÃO DO COBRE EM SOLOS CONTAMINADOS POR ANTIGOS TRABALHOS MINEIROS: UMA APLICAÇÃO DA EXTRACÇÃO QUÍMICA SELECTIVA SEQUENCIAL

C. PATINHA<sup>1</sup>; E. FERREIRA DA SILVA<sup>2</sup>; E. CARDOSO FONSECA<sup>3</sup>

1. cpatinha@geo.ua.pt. Bolseira PRAXIS XXI. Dep. de Geociências. Universidade de Aveiro. 3800 Aveiro. Portugal

2. eafsilva@geo.ua.pt. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro. 3800 Aveiro. Portugal

3. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro. 3800 Aveiro. Portugal

### INTRODUÇÃO

A maioria dos estudos existentes sobre a distribuição de elementos em sistemas naturais apoia-se nos valores das concentrações totais de um dado elemento. A utilização destes valores atribui, implicitamente, o mesmo impacto das diferentes componentes mineralógicas sobre o meio (Tessier et al., 1979).

Pretende-se com este trabalho determinar os suportes mineralógicos do Cu em amostras de solos e definir os mecanismos de dispersão deste elemento. Para a realização deste objectivo, baseamo-nos na sequência de extracção desenvolvida e proposta por Cardoso Fonseca (1982).

### GEOLOGIA E MINERALIZAÇÃO

A mina das Talhadas localiza-se no Complexo Tístico Grauváquico, na bordadura dum corpo intrusivo que desenvolve uma auréola de contacto (biotite + muscovite + estauroлите + quartzo + plagioclase) e existe filoniano granitoide adjacente (zona xisto-granítica-migmatítica, Ávila Martins, 1961). Trata-se de um granito homogéneo, binário, granular e de idade terciária (Cardoso Fonseca et al., 1984).

O filão principal orientado N70°E inclinado para norte, é constituído mineralogicamente por uma associação complexa de sulfuretos diversos, relacionados nos filões de quartzo que encaixam nos filões. A calcopirite é, geralmente, o minério mais

importante, seguido da galena, da esfalerite e da pirite. Na ganga quartzosa podem aparecer acidentalmente o cobre nativo, calcosite, malaquite e crisocola (Cardoso Fonseca et al., 1984).

### AMOSTRAGEM E TÉCNICAS DE ANÁLISE

Para a realização deste trabalho efectuou-se uma campanha de recolha de amostras de solo em perfis de malha quadrada (200 por 200 metros), orientados aproximadamente N70°E.

Na Extracção Química Selectiva Sequencial (EQSS) utilizou-se a seguinte sequência de reagentes: o Acetato de Amónio a pH 4.5, o Cloridrato de Hidroxilamina a pH 3.0, o reagente Tamm no escuro, o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, o reagente Tamm sob radiação UV e o ataque triácido (HCl-HNO<sub>3</sub>-HF) do resíduo (Cardoso Fonseca, 1982).

Para evitar a escolha arbitrária do tempo de extracção construíram-se curvas cinéticas cumulativas de dissolução definindo-se assim, os patamares de extracção para cada reagente: Acetato de Amónio – 16 horas; Cloridrato de Hidroxilamina – 31 hora e 30 minutos; reagente de Tamm no escuro – 47 horas; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – 20 horas e 30 minutos; reagente Tamm sob radiação UV – 20 horas.

O Cu, Fe e Mn foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atómica nos diferentes passos da sequência.