

## VI-127 – APLICAÇÃO DE TÉCNICA NUCLEAR NA AVALIAÇÃO DE PASSIVO AMBIENTAL DE CONTAMINAÇÃO MERCURIAL

**Peter Marshall Fleming<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia Civil (Geotecnia). Tecnologista Pleno da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN/CDTN.

**Carlos Alberto de Carvalho Filho**

Geólogo. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Tecnologista Sênior da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN/CDTN.

**Otávio Eurico de Aquino Branco**

Engenheiro Civil. Doutor em Engenharia Nuclear. Pesquisador Titular da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN/CDTN.

**Mauro Campos Trindade**

Engenheiro Químico. Mestre em Engenharia Química. Engenheiro Hidrólogo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (Goiânia).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Pres. Antônio Carlos, 6.627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3069-3240 - e-mail: [pmf@cdtn.br](mailto:pmf@cdtn.br)

### RESUMO

Após fortes chuvas ocorridas em dezembro de 2002, observou-se na zona rural do município de Descoberto, Minas Gerais, afloramento de mercúrio na vertente da margem direita do córrego Rico, afluente do ribeirão da Gramma. Após avaliação preliminar e confirmatória, o local foi caracterizado como Área Contaminada, resultando na interdição de 8.000 m<sup>2</sup> de área ao redor do afloramento de mercúrio e na suspensão da captação de água no ribeirão da Gramma. A investigação detalhada da contaminação e a implementação de medidas de controle emergenciais tiveram início no segundo semestre de 2003. Análises mineralógicas e por difratometria de raios X em amostras de solos e cascalhos, mostraram a presença de minerais pesados associados aos materiais analisados. Entre esses minerais encontra-se a monazita (Ce, La, Y, Th) PO<sub>4</sub>, mineral radioativo devido à presença do tório em sua composição. Em função dos aspectos descritos, foi realizado levantamento radiométrico da Área Contaminada, com a finalidade de avaliar a utilização dessa técnica na detecção do cascalho monazitico e, por conseguinte, na identificação dos locais de maior potencial de concentração de mercúrio. Conclui-se que a radiometria pode ser empregada como uma técnica auxiliar na prospecção de sítios contaminados por mercúrio, quando os cascalhos auríferos apresentarem minerais radioativos em sua composição. É uma técnica promissora que deve ser testada em outros sítios com características semelhantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Radiometria, mercúrio, Descoberto/MG, área contaminada, garimpo de ouro.

### INTRODUÇÃO

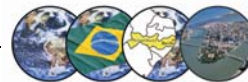
A presença de mercúrio e seus compostos no meio ambiente constituem-se em risco potencial à saúde pública e ao equilíbrio dos ecossistemas em decorrência de sua toxicidade (WHO, 1989; NASCIMENTO e CHASIN, 2001). No Brasil existem ocorrências de contaminação ambiental e ocupacional por mercúrio, muitas delas decorrentes de atividades de garimpo de ouro desenvolvidas no passado (CDTN, FEAM e UFMG, 2008).

O ouro foi intensamente explorado entre o final do século XVII e XIX. Em Minas Gerais existem diversas regiões suspeitas de contaminação pelo mercúrio utilizado na apuração de ouro em garimpos. Uma das regiões extensamente explorada por atividades de garimpo de ouro refere-se ao município de Descoberto/MG, conforme citado por *Langdorf* em 1824 (SILVA, 1997; FERREIRA, 1885).

O município de Descoberto, com 213,7km de área e população estimada em 4.524 habitantes, pertence à Mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais e à Microrregião de juiz de Fora, estando localizado a aproximadamente 338 km de Belo horizonte e 76 km de Juiz de Fora, por vias rodoviárias. Os municípios de Guarani, Astolfo Dutra, Rio Novo, Leopoldina e Itamarati de Minas são limítrofes ao município de Descoberto, que possui relevo com topografia predominantemente montanhosa, cobrindo 75% de seu território, e níveis altimétricos que variam entre 1.434m e 300m (IBGE, 1971).



A Área Contaminada está localizada próxima a um tributário (córrego Rico) da bacia do ribeirão da Gramma, afluente do rio Novo, pertencente à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Figura 2). De acordo com os trabalhos publicados de diagnóstico e caracterização da contaminação mercurial (FEAM, CDTN e CPRM, 2005; BRANCO et al., 2005; CARVALHO FILHO et al., 2005; TRINDADE et al., 2005; FEAM e CDTN, 2006) as amostragens de solos realizadas indicaram que a contaminação está predominantemente restrita a



porção superficial do solo (até 0,20m). Entretanto, em estreitas faixas localizadas nas estruturas denominadas condutos ou “canoas”, localizadas em profundidades superiores a 0,50m, existem concentrações de mercúrio superiores ao valor de intervenção estabelecido (10mg/kg). O foco da contaminação mercurial, onde as maiores concentrações de mercúrio foram registradas, ocorre em cascalhos dispostos nas canoas, onde, devido ao método adotado, era executada a lavagem do cascalho e apuração do ouro com uso do Hg (FEAM e CDTN, 2006). A contaminação no solo e cascalho perfaz 400m<sup>3</sup> (área aproximada de 800m<sup>2</sup>), apresentando valores acima de 1000ppm em diversos pontos e *background* de 0,30mg/kg. Os cascalhos ricos em mercúrio e dispostos nas canoas são os *mining hotspots* da Área Contaminada. A partir das canoas o mercúrio se dispersou no solo circunjacente, atingindo posteriormente o córrego Rico. Essa dispersão do mercúrio vem ocorrendo tanto por fenômenos naturais de transporte como devido à ação antrópica em razão de atividades agropecuárias e de abertura e manutenção de estradas de acesso.

Análises mineralógicas de amostras de solos realizadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM e pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN, os solos da região apresentam a seguinte composição mineralógica: >30%, Quartzo – SiO<sub>2</sub>; 30-10%, Goethita – FeO.OH e Caolinita – Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>; 10-3%, Gibbsita –  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O; <3%, Sillimanita – Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, Moscovita – KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub>, Microclina – KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, Albita – NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, Hematita – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ilmenita – FeTiO<sub>3</sub>, Magnetita – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Calcita – CaCO<sub>3</sub> (FEAM e CDTN, 2006).

Ensaios mineralógicos efetuados em amostras do cascalho, por meio da análise por difratometria de raios X, mostraram a presença de Monazita (Ce, La, Y, Th)PO<sub>4</sub> em sua composição. Em função das características radioativas da monazita foi realizado levantamento radiométrico da Área Contaminada com o objetivo de avaliar a utilização dessa técnica nuclear na detecção do cascalho monazítico e, por conseguinte, na identificação dos locais de maior potencial de concentração de mercúrio. O presente artigo tem por finalidade apresentar os resultados do levantamento radiométrico executado na Área Contaminada assim como avaliar sua aplicabilidade como ferramenta de prospecção de sítios contaminados por mercúrio em contexto semelhante ao de Descoberto/MG.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As medidas radiométricas foram realizadas com cintilômetro Gama SRAT SPP2, a cerca de 10 cm de altura da superfície do terreno. O levantamento radiométrico foi feito por caminhamento ao longo de uma malha retangular (8x7) implantada no terreno, conforme mostrado na Figura 2. Preferencialmente em cada interseção da malha foi registrada uma medida da taxa de contagem gama total, em contagens por segundo (cps). Eventualmente foram tomadas medidas fora das interseções da malha e mesmo em alguns pontos externos à malha, de modo a auxiliar nas interpolações subsequentes realizadas com os valores levantados. Para a tarefa de interpolação foi utilizado o código *Surfer*® (GOLDEN SOFTWARE, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 são apresentadas as curvas isoradas para a taxa de contagem gama total, resultantes da interpolação dos dados apresentados na Tabela 1.

Também na Figura 2 apresenta-se a distribuição espacial da contaminação mercurial no solo e cascalho, conforme estabelecida por FEAM e CDTN (2006). O valor encontrado para a taxa de contagem gama total natural no solo da região, *background*, foi de 40 a 60 cps.

A mancha radiométrica representa valores superiores a 60 cps, sendo que a maior contagem registrada foi de 400 cps sobre a Canoa 1, num ponto onde o cascalho aflora ao longo da estrada velha.

O eixo maior da mancha radiométrica apresenta direção SE-NW, coincidente com a direção principal dos cascalhos (canoas) e com a linha de concentração de 0,8 mg/kg de Hg. O afloramento do cascalho na estrada velha, nas imediações dos pontos C4 e D4, propiciou o espalhamento desse material ao longo dessa via no sentido de sua declividade (NW). Do eixo principal, sobre as canoas, a mancha possui prolongamentos para SW, coincidente com a declividade natural do terreno.

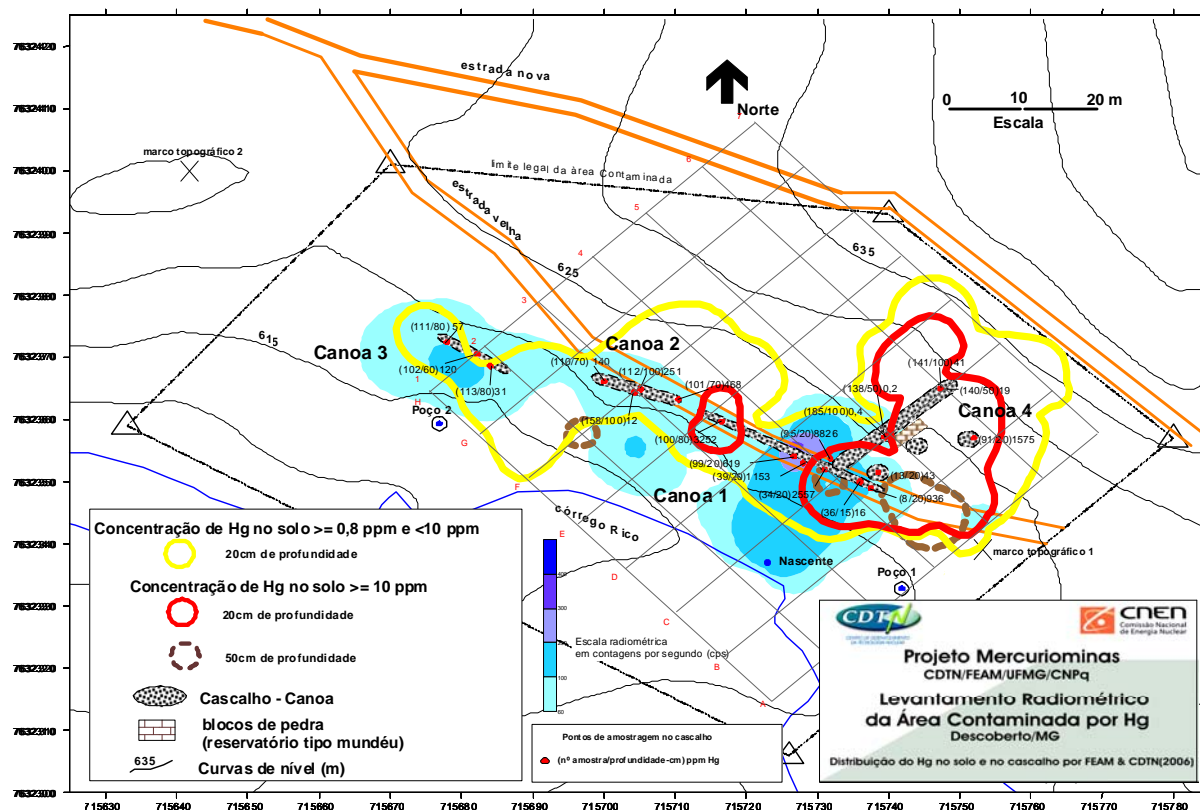


Figura 2. Levantamento radiométrico e características da Área Contaminada por mercúrio. Fonte: FEAM E CDTN (2006).

Tabela 1. Radiometria realizada na Área Contaminada; UTM Datum Córrego Alegre 23K.

Cota	Coordenada X	Coordenada Y	Ponto	Radiometria
m	UTM	UTM		cps
622	715747	7632336	A4	60
624	715754	7632343	A5	70
627	715762	7632350	A6	40
618	715732	7632336	B3	50
621	715739	7632343	B4	60
624	715747	7632350	B5	50
627	715754	7632357	B6	40
633	715760	7632364	B7	30
617	715726	7632343	C3	200
622	715732	7632350	C4	90
625	715740	7632357	C5	70
628	715747	7632365	C6	50
634	715754	7632371	C7	30
619	715718	7632350	D3	60
621	715725	7632357	D4	100
626	715732	7632365	D5	50
628	715739	7632371	D6	40
634	715747	7632379	D7	50



614	715705	7632355	E2	120
616	715709	7632356	E3	60
619	715714	7632360	E3/E4	70
622	715718	7632364	E4	40
626	715725	7632372	E5	40
615	715697	7632357	F2	50
620	715704	7632364	F3	70
613	715683	7632357	G1	50
617	715690	7632364	G2	60
621	715697	7632371	G3	60
613	715675	7632364	H1	70
616	715683	7632371	H2	70
N.D.	715738	7632333	Poço1	40
N.D.	715723	7632337	Nascente	180
N.D.	715687	7632372	X Y1	70
N.D.	715680	7632369	XY4	150
N.D.	715723	7632355	XY5	100
N.D.	715724	7632356	XY7	120
N.D.	715725	7632357	XY6	180
N.D.	715726	7632358	XY8	100
N.D.	715733	7632351	XY10	200
N.D.	715735	7632352	XY12	180
N.D.	715736	7632354	XY14	70
N.D.	715737	7632355	XY15	50
N.D.	715727	7632356	XY16	400
N.D.	715731	7632352	XY17	100
N.D.	715709	7632364	XY18	70
N.D.	715713	7632364	XY19	60
607	715625	7632355	Z1	50
607	715640	7632350	Z2	50
609	715660	7632341	Z3	50
611	715680	7632345	Z4	50
609	715625	7632340	Z5	40
609	715640	7632340	Z6	40
609	715660	7632340	Z7	50
624	715753	7632339	Z8	40
626	715642	7632400	Z9	40
626	715675	7632405	Z10	40
608	715653	7632347	Z13	50
609	715665	7632350	Z14	50
612	715677	7632359	Z21	40
609	715633	7632359	Z22	40
625	715670	7632401	Z23	40





638	715740	7632393	Z24	40
621	715726	7632306	Z26	40
613	715700	7632348	corr-5	50
614	715703	7632346	corr-16	50
616	715714	7632340	corr-33	50
616	715722	7632336	corr-18	50
618	715726	7632331	corr-34	50
619	715730	7632317	corr-21	50
620	715737	7632318	corr-38	50
N.D.	715669	7632412	pt1	50
N.D.	715683	7632392	pt2	50
N.D.	715686	7632377	pt3	50
N.D.	715675	7632382	pt4	50
N.D.	715661	7632376	pt5	50
N.D.	715661	7632364	pt6	50
N.D.	715707	7632379	pt7	50
N.D.	715717	7632360	pt8	70
N.D.	715718	7632359	pt9	70

O cascalho a montante deslocou-se para jusante pela ação de fenômenos naturais de erosão, transporte e deposição. Observa-se que em determinados locais a jusante das canoas (SW) a mancha radiométrica avança mais para SW que a curva de 0,8. Esse fato pode ser devido à alta capacidade de retenção do mercúrio pelos solos da região (FEAM e CDTN, 2006). Assim, enquanto no cascalho monazítico o Hg foi transportado a jusante do terreno, em direção ao córrego Rico, o mercúrio ficou retido no solo circundante ao cascalho.

## CONCLUSÕES

Os cascalhos monazíticos dispostos nas canoas de apuração do ouro (com Hg), anteriormente identificadas pelas sondagens executadas no terreno, foram corroboradas pelo levantamento radiométrico (gama total). A medição radiométrica em superfície pôde então indicar a localização dessas canoas, que ocorrem em média a 0,40m abaixo da superfície do terreno. Levantamentos mais detalhados deverão ser realizados na Área Contaminada, visando identificar outras estruturas utilizadas na apuração do ouro. Ressalta-se que a avaliação da aplicabilidade dessa técnica na área em estudo evidencia sua eficácia na identificação de fontes de contaminação semelhantes à estudada e ainda não observadas, possibilitando a execução de diagnóstico mais preciso de passivos ambientais e a adoção de medidas mais eficazes de controle ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANCO, O. E. A., CARVALHO FILHO, C. A., & TRINDADE, M. C Evaluation of Mercury Contamination In Soils: The Case of The Rural Area of The Municipality of Descoberto, State of Minas Gerais, Brazil. XIII Internatational Conference on Heavy Metals in The Environment (ICHMET), Rio de Janeiro – RJ, Brazil, 05-09 June 2005, p. 237.
2. CARVALHO FILHO, C. A., BRANCO, O. E. A., & TRINDADE, M. C – Contamination by Mercury From Past Gold Mining Activities at Descoberto, State of Minas Gerais, Brazil: Historical Reconstitution. XIII Internatational Conference on Heavy Metals in The Environment (ICHMET), Rio de Janeiro – RJ, Brazil, 05-09 June 2005, p. 192.
3. CDTN, FEAM e UFMG, Áreas Contaminadas por Mercúrio em Decorência de Atividades Pretéritas de Garimpo de Ouro em Minas Gerias: Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação de Passivo Ambiental,



- Relatório Técnico Final, Projeto CNPq 479867/2004-6, Rubens Martins Moreira (coordenador), CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG, 2008, 109p.
4. FEAM e CDTN – Diagnóstico da contaminação ambiental em Descoberto, Minas Gerais, em decorrência do afloramento de mercúrio em dezembro de 2002. Relatório Final, Belo Horizonte, 2006. 199p.
  5. FEAM, CDTN e CPRM. Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CNEN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, Diagnóstico da Contaminação Ambiental em Descoberto, Minas Gerais, em Decorrrência do Afloramento de Mercúrio em Dezembro de 2002. Relatório de Progresso - versão revisada, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, 2005.166p.
  6. FERREIRA, F. I. – Dicionario Geographico das Minas do Brazil. Imprensa Nacional, 1885, 100p.
  7. Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, Relatório de apresentação da primeira Lista de Áreas Contaminadas do Estado de Minas Gerais. FEAM-RT-GESOL-009/2007, Fundação estadual do meio Ambiente, Belo Horizonte, 2007 34p., disponível em: [http://www.feam.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=354&Itemid=354](http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=354&Itemid=354) , acessado em 18/05/2009.
  8. GOLDEN SOFTWARE, Surfer Version 8.05 – May 11 2004. Golden Software, INC, 1993-2004 Colorado, USA.
  9. IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas topográficas. Rio de Janeiro: IBGE. Escalas de 1:50.000. 1971.
  10. NASCIMENTO, E. S. e CHASIN, A. A. M., Série cadernos de referência ambiental. v. 1 - Ecotoxicologia do mercúrio e seus compostos. Salvador: CRA, 2001. 176 p.
  11. SILVA, D. G. B.(org.) – Os Diários de Langsdorff. Vol. I, RIO DE JANEIRO E MINAS GERAIS, 8 de maio de 1824 a 17 de fevereiro de 1825. Associação Internacional de Estudos Langsdorff, Casa de Oswaldo Cruz – FIOCRUZ, Editora FIOCRUZ, 1997. 400p.
  12. TRINDADE, M. C, BRANCO, O. E. A & CARVALHO FILHO, C. A. – Control Measures Implemented In Area Contaminated With Mercury from Past Gold Mining Activities in The State of Minas Gerais, Brazil. XIII Internatational Conference on Heavy Metals in The Environment (ICHMET), Rio de Janeiro – RJ, Brazil, 05-09 June 2005, p. 458.
  13. WHO – World Health Organization, Mercury-environmental aspects. Environmental health Criteria, 1989, 86. 115p.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Descoberto, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio dado ao desenvolvimento do trabalho.